Société Minière Yaou-Dorlin

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante
(séparation gravimétrique d'or primaire)
et pour la mise en place
d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère
(« UMTMA »)

au titre des ICPE (Code de l'Environnement - Art. L. 512-2)

TOME 2 : MEMOIRE TECHNIQUE

Mine d'or de Yaou

Commune de Maripasoula - Guyane Française (973)

Rapport n° R 14071105 – T2 – V3

Janvier 2017

GéoPlusEnvironnement
La gestion de l'environnement, la reconnaissance du sous-sol
et l'application de la réglementation au service de votre projet.

e-mail: geo.plus.environnement@wanadoo.fr
SARL au capital de 120 000 euros - RCS : Toulouse 435 114 129 - Code NAF: 7112B

Siège social et Agence Sud	Le Château	31 290 GARDOUCH	Tél : 05 34 66 43 42 / Fax : 05 61 81 62 80
Agence Sud-Est	Quartier Les Sables	26 380 PEYRINS	Tél : 04 75 72 80 00 / Fax : 04 75 72 80 05
Agence Centre et Nord	2 rue Joseph Leber	45 530 VITRY AUX LOGES	Tél : 02 38 59 37 19 / Fax : 02 38 59 38 14
Agence Ouest	5 rue de la Rôme	49 123 CHAMPTOCE SUR LOIRE	Tél : 02 41 34 35 82 / Fax : 02 41 34 37 95
Antenne Est	7 rue du Breuil	88 200 REMIREMONT	Tél : 03 29 22 12 68 / Fax : 09 70 06 74 23
Antenne PACA	St Anne	84 190 GIGONDAS	Tél : 06 88 16 76 78 / Fax : 05 61 81 62 80

Site Internet : www. geoplusenvironnement.com

PREAMBULE

La Société **Société Minière Yaou Dorlin (SMYD), filiale à 100% d'AUPLATA SA,** exploite, depuis plusieurs années, **une mine d'or au lieu-dit Yaou, sur le territoire de la commune de Maripasoula en Guyane Française (973)**. Cette exploitation fait aujourd'hui l'objet d'un permis d'exploitation (PEX) obtenu le 29 octobre 2009 et valide jusqu'au 29 octobre 2014. Une demande de renouvellement du permis d'exploitation a été déposée le 18 septembre 2014 et enregistrée par les Services de l'Etat le 24 septembre 2014.

SMYD dispose sur ce site depuis plusieurs années d'une importante infrastructure logistique, d'équipements et installations minières industrielles comprenant : une zone d'extraction du minerai d'or primaire, une installation de broyage et de concentration gravimétrique et des ateliers de maintenance pour les équipements.
Le site de Yaou est à l'arrêt, notamment depuis les attaques de 2013, mais fait l'objet d'un projet d'exploitation qui permettra de redynamiser le site et pérenniser l'activité.

AUPLATA, maison mère de SMYD, a investi des sommes importantes et conduit plusieurs études technico-économiques visant à revoir son plan de développement stratégique et à améliorer ses résultats d'exploitation.

Lesdites études ont démontré que le **taux de récupération de l'or par des procédés gravimétriques** n'est que de 25 à 30 % avec un tel procédé. Ainsi, près de 75% de l'or contenu dans le minerai se retrouvent aujourd'hui stockés dans les bassins de rejets du site de Yaou. Un axe important d'amélioration des résultats d'exploitation serait donc d'augmenter le taux de récupération de l'or.

AUPLATA a donc mené une réflexion sur la **mise en œuvre de procédés chimiques de lixiviation sur le site de Yaou** pour permettre un retraitement de ces bassins de rejets et, à terme, une mise en place d'un tel procédé en complément de l'usine de séparation gravimétrique, tout comme sur le site de Dieu Merci où une usine est en cours de construction.

AUPLATA a orienté sa réflexion vers l'utilisation d'une unité de lixiviation utilisant du **cyanure**. Le cyanure de sodium possède la propriété de dissoudre l'or contenu dans les minerais aurifères. Dans la grande majorité des gisements d'or du monde, le procédé de cyanuration est celui qui assure le meilleur taux de récupération du métal précieux.

SMYD désire mettre en œuvre, sur son site de Yaou, une usine modulaire permettant de traiter, par le procédé de cyanuration, le minerai d'or primaire et les rejets gravimétriques d'exploitations aurifères antérieures et futures : il s'agit d'une **Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)**.

Une telle usine, conçue pour fonctionner 24 h par jour et 300 jours par an, permettrait d'industrialiser le procédé de traitement du minerai aurifère et augmenterait grandement la production d'or, ainsi que les retombées économiques pour le Territoire de la Guyane.

Ce dossier concerne donc, au titre du Code de l'Environnement (ICPE) :

- une **Demande d'Autorisation pour la régularisation des installations et activités existantes** (usine de séparation gravimétrique d'or primaire, bassins de rejets gravimétriques, activités de carrière, base vie, ateliers et autres installations annexes).
- une **Demande d'Autorisation de mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA), des parcs à résidus ultimes décyanurés et des activités annexes associées**.

La durée de la demande est de 25 ans pour la seule rubrique 2510 de la nomenclature des ICPE et sans limite de durée pour les autres rubriques.

Par ailleurs, ce dossier de demande d'Autorisation vaut pour la **Loi sur l'eau**.

Ce tome constitue le mémoire technique de cette demande.

SOMMAIRE

PREAMBULE 2

1. DONNEES DE BASE SUR LE PROJET 9

1.1. LOCALISATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES ET PROJETEES 9
1.1.1. Localisation 9
1.1.2. Accès 9
1.2. ETAT DES LIEUX DES ACTIVITES PASSEES ET DES INSTALLATIONS, TRAVAUX ET PISTES EXISTANTS 11
1.3. ACTIVITES, INSTALLATIONS, TRAVAUX ET PISTES PROJETES 12
1.4. USINE DE TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE, OBJET DE LA DEMANDE DE REGULARISATION 15
1.4.1. Organes concernés 15
1.4.2. Capacité/production 18
1.4.3. Horaires/personnel 18
1.4.4. Récapitulatif chiffré de l'usine gravimétrique 18
1.5. LE PROJET COMPLEMENTAIRE A VENIR 19
1.5.1. Organes concernés 19
1.5.2. Alimentation en minerai de l'UMTMA 19
1.5.3. Capacité/production 22
1.5.4. Horaires/personnel 22
1.5.5. Récapitulatif chiffré de l'UMTMA 23

2. DETAILS TECHNIQUES DES PROCEDES ET INSTALLATIONS DE TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE (POUR REGULARISATION) 25

2.1. EXTRACTION ET ACHEMINEMENT DU MINERAI (CODE MINIER) 25
2.2. L'USINE GRAVIMETRIQUE ACTUELLE ET A VENIR (TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE) 25
2.2.1. Alimentation en minerai et broyage primaire 25
2.2.2. Concentration gravimétrique primaire 31
2.2.3. Broyage et concentration gravimétrique secondaires 33
2.2.4. Concentration gravimétrique finale 35
2.2.5. Fusion des lingots de doré 37
2.3. RECAPITULATIF DES ORGANES ET PUISSANCES ELECTRIQUES INSTALLEES (USINE GRAVIMETRIQUE POUR REGULARISATION) 39
2.4. INSTALLATIONS ANNEXES ASSOCIEES 39
2.4.1. Fourniture et distribution d'électricité aux installations existantes 39
2.4.2. Unités de pompage et alimentation en eau de l'usine gravimétrique 42
2.4.3. Maintenance 43

3. REFLEXIONS ENGAGEES PAR SMYD/AUPLATA POUR L'AMELIORATION DU TAUX DE RECUPERATION 44

3.1. TAUX DE RECUPERATION 44
3.2. PRINCIPE DE LA CYANURATION 44
3.2.1. Mise en solution cyanurée de l'or 44
3.2.2. Extraction de l'or de la solution cyanurée 45
3.2.3. Production du métal par électrolyse à partir de la solution d'élution 47
3.3. PROCEDE DE CYANURATION ENVISAGE SUR LE SITE DE YAOU 47
3.3.1. Origine des matériaux à retraiter 47
3.3.2. Destination des produits en sortie d'UMTMA 48
3.3.3. Destruction des cyanures par le procédé SO_2/air ou INCO 48

4. PROCEDE ET EQUIPEMENTS ASSOCIES A L'UMTMA 49

4.1. CONCEPTION DE L'UMTMA 49
4.2. DESCRIPTION DU PROCEDE DE CYANURATION 53

4.2.1. Préparation de la pulpe cyanurée *53*
4.2.2. Lixiviation *53*
4.2.3. Elution et électrolyse *54*
4.2.4. Lavage du charbon *54*
4.2.5. Régénération du charbon *55*
4.2.6. Ajout de charbon en cours d'opération *55*
4.2.7. Destruction des cyanures *55*
4.2.8. Epaississement des résidus décyanurés *57*
4.3. SYSTEME DE CONTROLE ET DE SUIVI 59
4.4. GESTION DU CYANURE 61
4.5. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS PREVUS 62
4.6. INSTALLATIONS ANNEXES ASSOCIEES 65
4.6.1. Fourniture d'électricité *65*
4.6.2. Alimentation en eau de process *65*
4.6.3. Maintenance *65*
4.7. TRAVAUX PREPARATOIRES A LA CONSTRUCTION DE L'UMTMA 66
4.7.1. Contexte géologique de l'emprise de l'UMTMA et mode de fondation envisageable *66*
4.7.2. Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté *67*

5. GESTION DES REJETS GRAVIMETRIQUES ACTUELS ET A VENIR 68

5.1. CARACTERISATION DES REJETS GRAVIMETRIQUES 68
5.1.1. Nature des rejets *68*
5.1.2. Caractéristiques et comportements physique à court et à long terme *68*
5.1.3. Caractéristiques et comportements géochimiques à court et à long termes *68*
5.1.4. Classification *79*
5.2. METHODE DE STOCKAGE ACTUELLE DES REJETS GRAVIMETRIQUES 79
5.3. GESTION A VENIR DES REJETS GRAVIMETRIQUES 80
5.4. CONSTITUTION DES DIGUES 84
5.4.1. Localisation *84*
5.4.2. Aménagement des futures digues *84*
5.5. PHASAGE A VENIR DU STOCKAGE DES REJETS GRAVIMETRIQUES 85
5.6. CARACTERISATION DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES AU REGARD DE LA « CATEGORIE A » DE L'ARRETE DU 19 AVRIL 2010 86
5.6.1. Définition de la catégorie A *86*
5.6.2. Niveau de risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage *86*
5.6.3. La quantité de déchets, substances et préparations dangereux présente dans le stockage *87*

6. GESTION DES FUTURS RESIDUS ULTIMES DECYANURES 88

6.1. CARACTERISATION DES FUTURS RESIDUS ULTIMES DECYANURES 88
6.1.1. Nature des déchets *88*
6.1.2. Caractéristiques et comportement physique, géotechnique et géochimique à court et à long terme *88*
6.1.3. Classification *91*
6.1.4. Description des substances chimiques utilisées lors du futur traitement par cyanuration *91*
6.1.5. Méthode de stockage et traitement prévus *92*
6.2. PHASAGE DE STOCKAGE DES RESIDUS ULTIMES DECYANURES 92
6.3. MODALITE DE STOCKAGE DES FUTURS RESIDUS DECYANURES 94
6.3.1. Caractéristiques des parcs à résidus décyanurés *94*
6.3.2. Contexte géologique de l'emprise des ouvrages projetés et mode de fondation envisageable *98*
6.3.3. Modalités de construction communes des « doubles digues » des parcs à résidus ultimes *99*
6.3.4. Création du fond de forme des parcs à résidus *102*
6.3.5. Modalités de construction des ouvrages spécifiques *103*
6.4. CARACTERISATION DES PARCS A RESIDUS DECYANURES PREVUS AU REGARD DE LA « CATEGORIE A » DE L'ARRETE DU 19 AVRIL 2010 103
6.4.1. Définition de la catégorie A *103*
6.4.2. Niveau de risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage *103*
6.4.3. La quantité de déchets dangereux présente dans le stockage *106*
6.4.4. La quantité de substances et préparations dangereuses présente dans les futurs parcs à résidus décyanurés *106*

7. CHRONOGRAMME DU PROJET MINIER 108

8. CARRIERES D'EMPRUNT 118

9. LA BASE VIE ET LES INSTALLATIONS ANNEXES COMMUNES 119

9.1. LES ATELIERS 119
9.2. LE MAGASIN 119
9.3. BASE VIE DU SITE DE YAOU 119

10. GESTION DES EAUX 120

10.1. GESTION DES EAUX AU NIVEAU DE L'USINE GRAVIMETRIQUE ET DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES 120
10.1.1. Gestion des eaux de procédé 120
10.1.2. Gestion des eaux pluviales 123
10.2. GESTION DES EAUX AU NIVEAU DE L'UMTMA ET DES FUTURS PARCS A RESIDUS DECYANURES 123
10.2.1. Gestion des eaux pendant les phases travaux 123
10.2.2. Gestion des eaux sur l'UMTMA 124
10.2.3. Gestion des eaux au niveau des futurs parcs à résidus décyanurés 127
10.2.4. Maîtrise des eaux de ruissellement sur les digues actuelles et à venir 131
10.3. ALIMENTATION EN EAU POTABLE 131

11. GESTION DES FLUIDES ET DE L'ENERGIE 132

11.1. STOCKAGE ET DISTRIBUTION DES CARBURANTS 132
11.1.1. Stockage des carburants pour véhicules 132
11.1.2. Ravitaillement des véhicules en carburant 132
11.1.3. Stockage des carburants (gasoil) pour les groupes électrogènes et les motopompes 133
11.2. STOCKAGES D'HUILES ET GRAISSES 134
11.3. STOCKAGE ET MELANGE DES REACTIFS ET PRODUITS CHIMIQUES 135
11.3.1. Pour la fusion (projet) 135
11.3.2. Pour l'UMTMA (projet) 135
11.4. STOCKAGE DE GAZ DIVERS 138
11.5. CONSOMMATION D'ENERGIE 138
11.5.1. Besoins en énergie 138
11.5.2. Choix énergétique du projet 139
11.6. TRANSPORT DES MATIERES DANGEREUSES AU NIVEAU DES INSTALLATIONS PROJETEES 139
11.6.1. Fréquence des approvisionnements 139
11.6.2. Modalités de transport et conditionnement des matières dangereuses transportées 141

12. GESTION DES DECHETS 143

12.1. GENERALITES 143
12.2. GESTION DES DECHETS (HORS RESIDUS DECYANURES) 144

13. MISE A L'ARRET DES INSTALLATIONS 145

13.1. PRINCIPE DE MODULARITE ET MISE A L'ARRET DE L'UMTMA 145
13.2. NEUTRALISATION DES INSTALLATIONS 145
13.3. DECONSTRUCTION DES SUPERSTRUCTURES 146
13.4. ENLEVEMENT DES INFRASTRUCTURES 146
13.5. EVACUATION DES DECHETS ISSUS DU DEMANTELEMENT 146
13.6. FERMETURE DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES ET DES PARCS A RESIDUS DECYANURES 147
13.7. PISTES 147
13.8. CONTROLE DE LA QUALITE DES SOLS ET DES EAUX 148
13.9. STRUCTURES LAISSEES EN PLACE 148

14. REAMENAGEMENT DU SITE DE YAOU DANS SON ENSEMBLE 149

14.1. OBJECTIFS DU REAMENAGEMENT 149
14.1.1. Mise en sécurité et accès 150
14.1.2. Vocation touristique, pédagogique et scientifique éventuelle 150
14.2. INSERTION DU SITE DANS SON ENVIRONNEMENT 150
14.2.1. Programme de lutte contre l'érosion des sols 151
14.2.2. Programme de réaménagement des parcs à résidus 151
14.2.3. Réaménagement des criques déviées 151

15. CALCUL DES GARANTIES FINANCIERES 152

15.1. FONDEMENT REGLEMENTAIRE 152
15.1.1. Stockage des déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive 152
15.1.2. Carrières d'emprunt 152
15.1.3. Autres ICPE 153
15.2. MONTANT DES GARANTIES FINANCIERES 154
15.2.1. Stockages déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive 154
15.2.2. Carrières d'emprunt 155
15.2.3. Mise en sécurité des ICPE (Usine gravimétrique, UMTMA et Goldroom) 156
15.2.4. Garanties financières totales 161

FIGURES

Figure 1 : Localisation du site au 1 / 50 000 et rayon d'affichage de 3 km 10
Figure 2 : Plan d'ensemble du site minier de Yaou : infrastructures ICPE et minières existantes et années d'exploitation 13
Figure 3 : Plan d'ensemble du site minier de Yaou : infrastructures ICPE et minières à venir 16
Figure 4 : Localisation des infrastructures actuelles et futures, détail au droit du périmètre ICPE 17
Figure 5 : Vue en plan de l'UMTMA 21
Figure 6 : Synoptique du processus de traitement gravimétrique du minerai 26
Figure 7 : Photographies de l'usine gravimétrique actuelle et de ses organes 27
Figure 8 : Schéma de principe d'un broyeur à marteaux 28
Figure 9 : Schéma de principe du séparateur magnétique 30
Figure 10 : Schéma de principe d'un concentrateur centrifuge de type Knelson 32
Figure 11 : Schéma de principe d'un hydrocyclone 34
Figure 12 : Schéma de principe d'un broyeur à boulets 36
Figure 13 : Les dernières étapes du traitement du minerai 38
Figure 14 : Localisation des installations annexes : plan global du site 40
Figure 15 : Localisation des installations annexes : base vie 41
Figure 16 : Schéma de procédé de cyanuration mis en place à Yaou 50
Figure 17 : Illustration de l'épaississement des résidus miniers par la technologie du « paste thickener » 58
Figure 18 : Systèmes manuel et automatique de dosage des cyanures 60
Figure 19 : Photographies et vues en 3D d'une UMTMA 63
Figure 20 : Zone d'implantation de l'UMTMA 64
Figure 21 : Localisation des points de prélèvement de rejets gravimétriques et de stériles miniers des campagnes BRGM, 2010 et GéoPlusEnvironnement 2010 et 2014 72
Figure 22 : Exemples de préconisations pour la création et le rehaussement de digues 81
Figure 23 : Exemples de méthodes de dépôt des pulpes de résidus en amont de la digue (dépôt linéaire (a), dépôt ponctuel (b)) 82
Figure 24 : Principe de construction des digues de rehausse des rejets gravimétriques 83
Figure 25 : Principe de construction des digues de rétention des résidus décyanurés et des eaux claires 95
Figure 26 : Vues en plan et en coupes du phasage général de reprise des anciens rejets gravimétriques et de stockage des futurs rejets gravimétriques et résidus décyanurés 111
Figure 27 : Phasage des opérations : Phase 1 (AP + 5 ans) 112
Figure 28 : Phasage des opérations : Phase 2 (AP + 10 ans) 113
Figure 29 : Phasage des opérations : Phase 3 (AP + 15 ans) 114
Figure 30 : Phasage des opérations : Phase 4 (AP + 20 ans) 115
Figure 31 : Phasage des opérations : Phase 5 (AP + 23 ans) 116
Figure 32 : Phasage des opérations : état final (AP + 25 ans) 117
Figure 33 : Bilan hydrique 2013 de l'usine gravimétrique et des rejets 121
Figure 34 : Gestion actuelle des eaux de procédé 122
Figure 35 : Gestion future des eaux de procédé de l'usine gravimétrique et de l'UMTMA 125
Figure 36 : Bilan hydrique de l'UMTMA et des parcs à résidus décyanurés 126
Figure 37 : Gestion à venir des eaux de ruissellement 128
Figure 38 : Illustration de l'acheminement des réactifs 140

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste, surfaces, années d'exploitation des installations, travaux et pistes déjà existants sur le site de Yaou 11
Tableau 2 : Liste, surfaces, années d'exploitation des installations, travaux et pistes projetés sur le site de Yaou 14
Tableau 3 : Récapitulatif chiffré de l'usine gravimétrique 18
Tableau 4 : Teneurs en or de 3 échantillons de rejets gravimétriques du site de Yaou 20
Tableau 5 : Récapitulatif chiffré de l'UMTMA 23
Tableau 6 : Organes et puissances électriques installées de l'usine gravimétrique 39
Tableau 7 : Liste des groupes électrogènes et puissances électrique 42
Tableau 8 : Critères de conception de l'UMTMA 52
Tableau 9 : Liste des grands postes d'équipement de l'UMTMA et puissances associées 62
Tableau 10 : Analyses des teneurs en métaux du minerai aurifère de Yaou (KCA, 1999) 69
Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques des prélèvements effectués par le BRGM sur le site de Yaou (BRGM, 2012) 71
Tableau 12 : Concentrations en métaux sur roche totale (en mg/kg) et sur lixiviat (en µg/L, analyse selon la norme NF EN 12457-2) des prélèvements effectués par le BRGM sur le site de Yaou (BRGM, 2012) 73
Tableau 13 : Phasage de stockage des rejets gravimétriques 85
Tableau 14 : Tonnages traités par l'UMTMA et volumes de résidus décyanurés stockés par phase quinquennale 93
Tableau 15 : Origine, destination et cubature des rejets gravimétriques repris et des futurs résidus décyanurés mis en stock 93
Tableau 16 : Chronogramme du projet minier de Yaou 110
Tableau 17 : Dimensionnement des bassins de décantation en sortie des canaux de dérivation des eaux pluviales extérieures aux parcs à résidus décyanurés 127
Tableau 18 : Bilan hydrique des futurs parcs à résidus décyanurés 129
Tableau 19 : Caractéristiques de l'effluent final des parcs à résidus décyanurés 130
Tableau 20 : Liste et capacités des stockages d'hydrocarbures du site de Yaou 134
Tableau 21 : Inventaire des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA 135
Tableau 22 : Consommations annuelles et quantités de réactifs chimiques stockées sur l'UMTMA 136
Tableau 23 : Modalités de stockage des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA 137
Tableau 24 : Tableau d'incompatibilité des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA 138
Tableau 25 : Fréquence et quantité moyennes prévisionnelles des approvisionnements en produits chimiques « dangereux » pour le site de Yaou 141
Tableau 26 : Fréquence et quantité moyenne des approvisionnements en» carburant pour le site de Yaou 141
Tableau 27 : Conditionnement des produits chimiques dangereux 142

ANNEXES

Annexe 1 : Cyanide detoxification INCO Sulfure dioxide.air process (USEPA, 1993)

Annexe 2 : Essais de dégradation du cyanure des rejets de cyanuration du minerai Dieu Merci (URSTM, 2013)

Annexe 3 : Metalliferous Mining – Processing, Elution and carbon reactivation, Resource Book

Annexe 4 : Detoxification of Cyanide in Gold processing waste water by hydrogen peroxide (A. KHODADADI et. al, 2005)

Annexe 5 : Brochures techniques sur les épaississeurs de type « paste thickener »

Annexe 6 : Détermination des concentrations en cyanures dans les solutions de procédés

Annexe 7 : Annonce officielle de l'adhésion d'AUPLATA au Code International de Gestion du cyanure et extrait de ce Code

Annexe 8 : Étude de faisabilité d'OSEAD (2013) sur l'emploi et le stockage de cyanure de sodium

Annexe 9 : Extraits d'études et d'analyses sur le minerai, les rejets et les stériles (KCA/GUYANOR, 1998 ; Wessling/SMYD, 2006, URSTM/SMYD, 2010 ; BRGM/SMYD, 2012)

Annexe 10 : Résultats des tests de potentiel de génération d'acidité réalisés sur les rejets de la gravimétrie (2014)

Annexe 11 : Rapport d'étude géotechnique : Construction du bassin n°1 de stockage des résidus ultimes issus du traitement par cyanuration. Site minier de Yaou (MINES & Avenir, 2014)

Annexe 12 : Note d'étude géotechnique : Construction des parcs à résidus décyanurés n°2 à 4. Site minier de Yaou (MINES & Avenir, 2014)

Annexe 13 : Principes de construction, gestion et surveillance des ouvrages de retenue des eaux et des résidus (IDM THETHYS, 2012)

Annexe 14 : Rapport d'étude géotechnique : Construction d'une usine modulaire de concentration d'or. Site minier de Yaou (MINES & Avenir, 2014)

Annexe 15 : Etude hydraulique

Annexe 16 : Note de calcul du bilan hydrique et du bilan massique des cyanures libres et autres polluants aqueux dans les parcs à résidus

Annexe 17 : Fiches données sécurité des produits chimiques qui seront employés sur l'UMTMA

Annexe 18 : Circulaire du 9 mai 2012 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières et au stockage des déchets de l'industrie extractive et Arrêté du 9 février 2004 modifié par l'arrêté du 24 décembre 2009 relatif à la méthode de calcul des garanties financières pour les carrières

1. DONNEES DE BASE SUR LE PROJET

1.1. LOCALISATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES ET PROJETEES

1.1.1. Localisation

Le site faisant l'objet de la présente demande se trouve au Nord-Est du territoire de la commune de Maripasoula, à environ 13 km du centre du bourg, en Guyane Française (*Cf. Figure 1*), sur le bassin versant de la Crique Yaou.

La commune de Maripasoula est située à environ 240 km au Sud-Ouest de la ville de Cayenne. Elle englobe un territoire d'environ 18 600 km² et a pour coordonnées géographiques (Mairie) : 03°38'40'' Nord / 54°02'02'' Ouest.

Les installations se trouvent dans le périmètre PEX de 52 km² de Yaou.

La base vie établie par le BRGM dans les années 1980 puis rénovée par SMYD est située dans la partie Nord du périmètre ICPE demandé en autorisation. Les coordonnées du bureau sur la Base vie sont les suivantes : **03°43'38'' N et 53° 57' 47'' W**.

Les travaux d'exploitation (Code Minier) et de traitement (ICPE) du minerai sont localisés autour de la base vie, dans un rayon de moins de 3 km.

L'installation de broyage et de concentration gravimétrique sera déplacée environ 1 km au nord, sur le versant de l'ancienne fosse d'extraction A (elle-même sera réemployée pour le stockage des rejets de la gravimétrie) (*Cf. Figure 4*).

L'UMTMA sera, quant à elle, implantée à environ 900 m au Sud-Ouest de la base vie à proximité des actuels parcs à résidus (bassins 2, 3 et 4) qui seront justement retraités sur l'usine (*Cf. Figure 4*).

1.1.2. Accès

Le site minier de Yaou est enclavé au milieu de la forêt, à 13 km au Nord-Est de Maripasoula. L'accès à Maripasoula est réalisable par avion ou par pirogue :

- par voie aérienne :
  - les personnes et le petit frêt sont transportés par vol quotidien de Cayenne à Maripasoula dans un petit avion de type Twin Otter. La commune de Maripasoula dispose d'une piste d'aviation de 1,5 km de longueur ;
  - les hélicoptères se posent directement sur la base vie de Yaou équipée d'une zone d'atterrissage adaptée ;
- par voie fluviale, seulement jusqu'à Maripasoula :
  - le Maroni est un fleuve officiellement non navigable. En raison des nombreux sauts et rapides, il n'est utilisable que par des pirogues en bois de 10 tonnes de charge maximum, mais qui, accouplées, peuvent néanmoins porter des charges atteignant 20 tonnes. Plusieurs engins de BTP et des pelles hydrauliques utilisés par les opérateurs miniers ont déjà été transportés sur le fleuve depuis Saint Laurent du Maroni jusqu'à Maripasoula ;
- par voie terrestre *:*
  - la route entre la côte et Maripasoula, bien que souvent évoquée, n'est toujours pas planifiée officiellement ;
  - une route de 17 km, utilisable par des véhicules tout-terrain, relie Maripasoula à la base vie de Yaou. Cette piste est entretenue par la société SMYD ;

Coordonnées ICPE (UTM 22 N - RGFG95)		
Point	X	Y
A	170 150	412 721
B	171 701	412 721
C	171 701	411 190
D	170 150	411 190

PAPAICHTON

A

B

C

D

Yaou Montagne couronnée

MARIPASOULA

Bicade

Winiwé

Tolinga

Papa Constant

Bourg de Maripasoula

Aérodrome de Maripasoula

Awassaï

Montagne Tigre

Boussoussa

Makanali

Aloïke

Télamali

Butte Sophie

Village

Florid

AMAZONIE EN DE GUYANE

Zone libre adhésion

N

0.5 0 0.5 1 1.5 2 km

Légende

Site minier de Yaou

- ICPE
- Rayon d'affichage de 3 km
- AOTM Yaou
- PEX Yaou

Infrastructures existantes

- Atelier
- Base vie
- Bassin de rejets
- Carrière d'emprunt
- Fosse d'extraction
- Parc Engins
- Usine
- Commune

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère

Mémoire technique

Localisation du site au 1 / 50 000 et rayon d'affichage de 3 km

Sources : IGN, SMYD

Figure 1

- une piste peut également être ouverte à partir de la nationale 2 pour accéder au site minier de Dorlin puis au site minier de Yaou. Il s'agit d'une piste à caractère temporaire susceptible d'être utilisée en convoi en saison sèche, mais l'expédition dure alors plusieurs semaines et est soumis à autorisation ONF.

Un réseau de pistes internes permet d'accéder à l'actuelle usine de traitement gravimétrique et aux différents bassins de rejets. Ce réseau desservira également l'UMTMA et les futures zones de stockage des résidus ultimes décyanurés ainsi que la future usine gravimétrique.

L'accès à l'usine gravimétrique et l'UMTMA se fera ensuite par le **réseau de pistes internes déjà existant sur le site de Yaou**. SMYD mettra en place son propre aérodrome, en hauteur, à proximité de la base vie (*Cf. Figure 3)*.

1.2. ETAT DES LIEUX DES ACTIVITES PASSEES ET DES INSTALLATIONS, TRAVAUX ET PISTES EXISTANTS

L'activité présente sur le site, jusque fin 2013, comportait deux composantes principales :

- une composante liée à l'extraction des minerais, rattachée au Code Minier : zone d'extraction, verses à stériles, pistes, stockage des sous-produits de minerai et circuit de l'eau pour partie ;
- une composante liée au traitement mécanique des minerais, rattachée à la réglementation ICPE (Code de l'Environnement) : usine de traitement gravimétrique, bassins de rejets, circuit de l'eau pour partie et carrière d'emprunt (fournissant les matériaux nécessaires à l'aménagement de merlons, digues, etc...) (*Cf. Figure 4*).

Le traitement des minerais était réalisé sur une **chaîne dite de séparation gravimétrique**, suivie d'une étape d'affinage (fusion de l'or) réalisé sur le site de Dieu Merci. Cette étape gravimétrique ne permet la récupération que d'environ 25 à 30 % de l'or libre.

Ce procédé de traitement est à l'origine de rejets de gravimétrie inertes qui ont été stockés dans quatre bassins (bassins 1 à 4) créés en contrebas de l'actuelle usine gravimétrique.

L'exploitation (ICPE et AOTM) du site minier de Yaou s'est déroulée de 2006 à 2013. Le tableau suivant synthétise l'historique des activités d'exploitation minière (extraction du minerai) et ICPE (traitement du minerai et stockage des rejets de traitement) de SMYD depuis 2006 :

Tableau 1 : Liste, surfaces, années d'exploitation des installations, travaux et pistes déjà existants sur le site de Yaou

Nomenclature	Surface (ha)	Type	Régime	Années d'exploitation
Atelier	0,78	Atelier	ICPE	2006 à aujourd'hui
Base vie	1,68	Base vie		avant 2006 (BRGM/GUYANOR) à aujourd'hui
Bassin 1	2,36	Bassin de rejets gravimétriques		2006-2013
Bassin 2	1,06			
Bassin 3	3,6			
Bassin 4	3,26			
Parc Engins	0,6	Parc Engins		2006 à aujourd'hui
Usine gravimétrique	1,21	Usine		2006-2013
-	1,37	Carrières d'emprunt		2006-2013

Nomenclature	Surface (ha)	Type	Régime	Années d'exploitation
B	0,65	Fosse minière	AOTM	2006-2007
A	9,54			2007-2011
BW, CL, CL Est	5,5			BW : 2007, 2009, 2013 / CL et CL Est : 2007-2008
Centrale	1,34			2010-2013
H	3,27			2011-2012
H Nord	0,44			2011-2012
K Sud-Est	11,14			2012
E	0,72			2013
I	1,33			2013
-	41,6	Pistes minières		avant 2006 (BRGM/GUYANOR) à 2013
-	25,76	Surfaces défrichées et terrassées autour des installations	ICPE/AOTM	avant 2006 (BRGM/GUYANOR) à 2013
Total	**117,21**			

La *Figure 2* localise les installations, travaux et pistes déjà existants à l'heure actuelle. La **surface totale défrichée** a été estimée informatiquement (à partir du modèle numérique de surface et de la photographie aérienne du site) à **117 ha**.

La présente demande d'autorisation au titre des ICPE a notamment pour objet de régulariser l'ensemble des installations ICPE existantes sur le site de Yaou (*Cf. Tableau 1*)

1.3. ACTIVITES, INSTALLATIONS, TRAVAUX ET PISTES PROJETES

Le présent projet prévoit :

1) De reprendre l'exploitation du minerai primaire du site de Yaou, au niveau des fosses BW, Centrale, H, H Est, H Nord, Pinheiro, M, I Sud, K Sud-Est, K Nord, E (demande d'AOTM instruite en parallèle du présent dossier ICPE). SMYD adaptera ses méthodes d'exploitation en extrayant de manière sélective la partie du gisement fortement concentrée (>3 g/t) et celle faiblement concentrée (<3g/t) pour les traiter de manière différente :
    a. le minerai riche, de teneur **supérieure à 3g/t,** sera envoyé directement vers l'**usine de traitement gravimétrique** (régularisation au titre des rubriques **2515** et **2546** des ICPE) et les rejets nouvellement produits seront **stockés** dans l'ancienne fosse A puis dans la fosse Centrale (rubrique **2516** des ICPE) ;
    b. le minerai pauvre, de teneur **inférieure à 3g/t,** sera **stocké temporairement** dans le fond des fosses BW, H, H Nord et I Sud (rubrique **2517** des ICPE) en attente de son traitement.
2) De construire une **Unité Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère par cyanuration (UMTMA)**, objet de la présente demande d'autorisation au titre des ICPE ;
3) D'extraire les anciens rejets de traitement gravimétrique stockés dans les bassins 2, 3 et 4 (demande d'AOTM instruite en parallèle du présent dossier ICPE) pour les re-traiter par cyanuration au niveau de l'UMTMA ;
4) De stocker définitivement les résidus ultimes (préalablement décyanurés et épaissis), produits par le nouveau procédé de cyanuration, au niveau des **futurs parcs à résidus ultimes (PARU1 à 4, rubrique 2720 des ICPE)** ;
5) La création d'un aérodrome pour accéder au site par avion, notamment pour le transport du cyanure de sodium.

Légende

Site minier de Yaou

- Périmètre ICPE
- Périmètre AOTM
- PEX de Yaou

Infrastructures existantes

- Atelier (ICPE)
- Base vie (ICPE)
- Bassin de rejets (ICPE)
- Carrière d'emprunt (ICPE)
- Parc Engins (ICPE)
- Usine (ICPE)
- Fosse d'extraction (AOTM)
- Réseau de pistes existant (AOTM et ICPE)
- Digue (ICPE)
- Bâtiments
- Chantiers alluvionnaires SMYD
- Secteurs replantés

Réseau hydrographique

- Ancien flat orpaillé (historique ou illégal)
- Réseau hydrographique

Altitude (m NGG)

295 m
275 m
250 m
225 m
200 m
175 m
150 m
125 m

170000 170500 171000 171500 172000 172500

413000 412500 412000 411500 411000 169000 169500 170000 170500

N

Fosse K Sud-Est (ou J-K) 2012

K Sud-Est

Fosse I 2013

I

Fosse A 2007-2011

Base vie

A

Fosse CL 2007-2008

CL Est

Fosse B 2006-2007

Fosse BW 2007, 2009, 2013

BW et CL

Bassin 1

Bassin 2

Bassins 3

Bassins 1 à 4 2006-2013

B

Centrale

D1

D'1

Usine

Atelier

Fosse Centrale 2010-2013

Parc Engins

Bassin 4

D2

E

SOGEMI Crique Bouteille

Fosse H 2011-2012

H

H Nord

100 0 100 200 300 400 m

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

GéoPlusEnvironnement

Plan d'ensemble du site minier de Yaou : infrastructures ICPE et minières existantes et années d'exploitation

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement, Modèle Numérique de Surface ALTOA 2012

Figure 2

Le tableau suivant synthétise les principales caractéristiques des travaux miniers et installations de traitement du minerai et de stockage des rejets gravimétrique et résidus décyanurés projetés.

Tableau 2 : Liste, surfaces, années d'exploitation des installations, travaux et pistes projetés sur le site de Yaou

Travaux miniers alimentant l'usine gravimétrique et l'UMTMA

Nomenclature	Type	Surface (ha)	Surface à défricher	Volume de minerai riche alimentant l'usine gravimétrique (m^3)	Volume de minerai pauvre alimentant l'UMTMA (m^3)	Volume de rejets gravimétriques alimentant l'UMTMA
BW	Fosse minière, puis plateforme de stockage temporaire de minerai pauvre à cyanurer	3.42	0.75	20 000	140 000	/
Centrale	Fosse minière, puis bassin de rejets gravimétriques	2.35	0.59	30 000	30 000	/
H	Fosse d'extraction	4.33	0	50 000	40 000	/
H Est	Fosse minière, puis plateforme de stockage temporaire de minerai pauvre à cyanurer	1.89	1.89	20 000	10 000	/
H Nord		2.93	2.42	40 000	25 000	/
M		1.33	1.33	40 000	3 000	/
Pinheiro	Fosse d'extraction	0.78	0.78	4 000	2 000	/
I Sud	Fosse minière, puis plateforme de stockage temporaire de minerai pauvre à cyanurer	4.06	4.06	30 000	120 000	/
K Sud-Est	Fosse d'extraction	3.01	0.98	7 000	50 000	/
K Nord		2.97	2.97	30 000	60 000	/
E		3.55	3.55	-	185 000	/
Verse BW	Verse à stériles	7.91	7.91	/	/	/
Verse H		7.32	7.32	/	/	/
Verse K		8.45	8.45	/	/	/
Verse E		5.88	5.88	/	/	/
Piste à créer entre les fosses K Sud-Est et K Nord		0,16	0,16	/	/	/
Bassin 2	Anciens bassin de rejets gravimétriques à ré-extraire	1,06	0	/	/	70 000
Bassin 3		3,6	0	/	/	390 000
Bassin 4		3,26	0	/	/	330 000

Usines de traitement du minerai et installations de stockage de rejets gravimétriques et de résidus décyanurés associées

Nomenclature	Type	Surface (ha)	Surface à défricher	Capacité de stockage (m3)	Année d'exploitation
Ancienne fosse A	Bassin de rejets gravimétriques	2	0	89 000	2018-2019
Centrale		2,35	0	147 000	2020-2023
PARU1	Parc à résidus décyanurés	4,46	0	470 000	2018-2023
PARU2-4		9,58	1,44	990 000	2023-2036
Bassin d'eau claire PARU1		0,27	0,27	6 000	/
Bassin d'eau claire PARU2-4		0,51	0,51	11 000	/
Aérodrome	Accès	2,7	2,7	/	/
UMTMA	Usine	1,05	0,89	/	/
Usine gravimétrique (correspondant à l'usine actuelle qui sera démontée et déplacée à l'Ouest de la fosse A)	Usine	0,66	0,36	/	/

La *Figure 3 et la Figure 4* localisent les travaux et installations projetés. La **surface à défricher** a été estimée informatiquement (à partir du modèle numérique de surface et de la photographie aérienne du site) à **52,4 ha dont 3,4 ha pour les installations ICPE et 49 ha pour les travaux miniers**.

La présente demande d'autorisation au titre des ICPE porte notamment sur la régularisation de l'usine de traitement gravimétrique existante et la mise en place de unité de cyanuration ou UMTMA, de 2 nouveaux bassins de rejets gravimétriques au niveau des fosses A et Centrale, et de 4 parcs à résidus décyanurés (*Cf. Tableau 2*)

1.4. USINE DE TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE, OBJET DE LA DEMANDE DE REGULARISATION

L'usine de traitement gravimétrique actuellement présente sur le site de Yaou sera démontée et déplacée un peu plus au Nord, juste à l'Ouest de la fosse A.

1.4.1. Organes concernés

Ce dossier a notamment pour but de régulariser les différentes installations présentes sur le site de Yaou, relevant du régime des ICPE, et entrant en jeu dans le nouveau projet d'exploitation.

Les principaux organes suivants sont donc concernés par la présente demande :

- installations de traitement par gravimétrie (broyage, valorisation de la pulpe…) ;
- gestion et stockage des rejets du traitement gravimétrique ;
- carrières d'emprunt pour les créations de digues et la réalisation de pistes ;
- unités de production d'électricité (groupes électrogènes) ;
- stockage et distribution de gazole ;
- installations annexes (base vie, pompages, ateliers, etc.).

Légende

Site minier de Yaou
- Périmètre ICPE
- Périmètre AOTM
- PEX de Yaou
- Réseau de pistes existant
- Secteurs replantés

Infrastructures futures
- Usine
- Bassin de rejets gravimétriques
- Parc à résidus décyanurés
- Stockage temporaire de minerai pauvre à cyanurer
- Fosse d'extraction
- Fosse remblayée avec des stériles d'extraction
- Verse à stériles
- Surface à défricher

Réseau hydrographique
- Flats orpaillés
- Réseau hydrographique

Altitude (m NGG)
295 m
275 m
250 m
225 m
200 m
175 m
150 m
125 m

170000 170500 171000 171500 172000 172500

N

413000 412500 412000 411500 411000

K Nord
Fosses K Sud-Est et K Nord 2019-2023
Verse K
Verse K 2019-2023
K Sud-Est
Fosse I Sud 2019-2022
I Sud
Futur aérodrome
Usine gravimétrique
Fosse A
Bassin de rejets fosse A 2018-2019
Fosse E 2029-2032
E
Fosse BW 2018
Fosse Centrale 2018-2023
Centrale
D1
D'1
PARU2
PARU3
PARU2 à 4 2023-2036
BW
Verse E 2029-2032
Verse E
Verse BW
Verse BW 2018-2019
PARU1
PARU1 2018-2023
PARU4
UMTMA
D2
Pinheiro
Fosses H, H Est, H Nord, Pinheiro et M 2019-2022
M
H
H Nord
H Est
Verse H
Verse H 2019-2022

110 0 110 220 330 440 m

169000 169500 170000 170500

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

GéoPlusEnvironnement

Plan d'ensemble du site minier de Yaou : infrastructures ICPE et minières à venir
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement, Modèle Numérique de Surface ALTOA 2012

Figure 3

Futur aérodrome

Base vie

Nouvel implantation de l'usine gravimétrique

Fosse A
Stockage des rejets gravitaires

Futur pompage (motopompe)

Bassin 1
Eau claire

D1
à conforter, étanchéifier

D1'
à remplacer

Stockage des résidus ultimes décyanurés issus du traitement sur UMTMA

PARU 2

PARU 3

D1"
à remplacer

Fosse centrale
Stockage des rejets gravitaires

Fosse BW
Stockage du minerai (< 3 g/t) en attente d'une cyanuration

Atelier

Stockage huiles, carburants

Mise en remblais des stériles d'extraction minière

Mise en remblais des stériles d'extraction minière

PARU 1

Stockage des résidus ultimes décyanurés issus du traitement sur UMTMA

PARU 4

Futur bassin de collecte des eaux d'exfiltration n°1

Crique Yaou

UMTMA

D2
à rehausser

D2
à remplacer

D4
à créer

Futur pompage (motopompe)

D3
à créer

Crique Matteo

Futur bassin de collecte des eaux d'exfiltration n°2

Crique Yaou

Légende

- Périmètre ICPE
- *Réseau hydrographique*
- Linéaire de la crique
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Piste
- Bassin d'eau claire
- Bassin de collecte des eaux d 'exfiltration des résidus décyanurés
- Une des futures zones de stockage du minerai <3 g/t
- Future plate-forme UMTMA et future usine gravimétrique
- Futurs parcs à résidus décyanurés
- Futurs bassins de rejets gravitaires

N

0 m 62,5 m 250 m

Echelle au 1 / 6 250

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Localisation des infrastructures actuelles et futures, détail au droit du périmètre ICPE (topographie projet à T0+20 ans)
Sources : GéoPlusEnvironnement, SMYD

Figure 4

1.4.2. Capacité/production

L'usine gravimétrique traite et traitera en moyenne environ 200 tonnes de minerai par jour, pour 330 jours travaillés par an, soit environ 70 000 tonnes par an. La production s'élèvera à une moyenne de 20 kg d'or par mois, soit environ 260 kg par an sous forme de lingots de « doré » (or non parfaitement pur, à 97 %)

1.4.3. Horaires/personnel

L'usine gravimétrique (broyage, valorisation de la pulpe), ainsi que le nettoyage et la maintenance des installations, fonctionne10 heures par jour, de 07H00 à 17H00.

Au niveau de la base vie, toutes les activités (atelier, pompages…) sont réalisées en période diurne, 14h/jour. Seul le groupe électrogène principal, fournissant toutes les habitations en électricité, fonctionne 24h/24.

L'activité de carrière, très occasionnelle (création ou rehaussement de digues et réfection des pistes internes) est, et restera réalisée exclusivement en période diurne.

1.4.4. Récapitulatif chiffré de l'usine gravimétrique

Le tableau ci-après résume les données chiffrées représentatives de l'activité de l'usine de traitement gravimétrique actuellement présente sur le site et qui sera démontée et déplacée à l'Est de la fosse A.

Tableau 3 : Récapitulatif chiffré de l'usine gravimétrique

Usine de traitement gravimétrique actuelle (prochainement déplacée)		
Densité	Densité du minerai aurifère	1,6
Teneurs	Teneur en or moyenne du minerai alimentant l'usine	3 à 6 ppm à l'avenir
Capacités	Rythme de traitement	200 t/j (330 j/an) 70 000 t/an
	Tonnage maximal d'or récupérable	30 kg/mois 400 kg/an
	Tonnage moyen d'or récupérable	20 kg/mois 260 kg/an
	Débit de la lance-monitor pour la mise en pulpe	70 m^3/h
	Capacité de chacun des 2 broyeurs à marteaux	30 m^3/h
Rejets gravimétriques	Rejets grossiers	45000 t/an
	Rejets fins	25000 t/an
	Rejets gravimétriques totaux	70 000 t/an

1.5. LE PROJET COMPLEMENTAIRE A VENIR

Le présent projet vise à **compléter le procédé gravimétrique** par l'implantation d'une **Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère** (**UMTMA**). Cette nouvelle unité, permettra un retraitement sur site des actuels bassins de rejets et des stocks de sables à un taux de récupération de l'or de plus de 95 % et une valorisation du minerai de teneur < 3 g/t, non exploitable jusqu'à présent. Il répondra ainsi à un objectif **d'optimisation de la ressource minérale guyanaise**.

1.5.1. Organes concernés

Les principaux organes du projet d'UMTMA sont les suivants (*Cf. Figure 5*) :

- un silo de stockage des rejets gravimétriques ou du minerai primaire de teneur < 3 g/t à traiter ;
- un **circuit de broyage** composé d'un broyeur d'un premier cyclone en opération et d'un second cyclone de rechange ;
- un **circuit de lixiviation** constitué de 8 cuves installées en cascade. Chaque cuve est équipée d'un tamis rotatif et d'un agitateur à hélices ;
- un réservoir d'élution et une cellule électrolytique en circuit fermé ;
- un réservoir de lavage du charbon ;
- un four de régénération du charbon ;
- un **épaississeur** utilisé avant la destruction des cyanures ;
- **3 réservoirs de destruction des cyanures** (et un second, en secours, en parallèle) ;
- **1 épaississeur de type « paste thickener »** *(Cf. Figure 17)* **éventuellement complété par une centrifugeuse** destinés à épaissir les résidus décyanurés ;
- **un système d'évacuation des résidus décyanurés épaissis** vers les parcs de stockage ;
- un **local de stockage des réactifs** associés ;
- quatre parcs de stockage des résidus décyanurés, résidus ultimes de ce nouveau procédé.

Le produit fini de l'UMTMA correspondra à la boue métallique très aurifère résultant du lavage des cathodes de la cellule électrolytique. La boue aurifère sera ensuite mélangée avec les fondants appropriés pour être affinée et coulée sous forme de lingots de doré.

Le plan d'implantation général de l'UMTMA et des locaux associés est présenté sur la *Figure 5*.

1.5.2. Alimentation en minerai de l'UMTMA

Deux sources d'alimentation de l'UMTMA seront utilisées sur le site de Yaou.

L'UMTMA sera utilisée, **dans un premier temps**, pour le traitement **des rejets gravimétriques** stockés dans les bassins B2, B3 et B4 pour lesquels des analyses ont montrés qu'ils sont caractérisés par des teneurs en ors relativement élevées.

Elle sera **aussi** utilisée pour le traitement du **minerai primaire** de teneur < 3 g/t qui sera **extrait sur les futures fosses d'exploitation**. Enfin, à plus long terme, le retraitement des rejets gravimétriques qui seront produits (issus du traitement du minerai primaire de teneur 3 – 6 g/t) pourra être envisagé si des analyses venaient à prouver des teneurs en or encore élevée (cette dernière étape n'est pas incluse dans la présente demande).

- *Les rejets gravimétriques*

Il n'existe pas de donnée précise sur les volumes totaux de rejets gravimétriques (tonnage et teneur) stockés sur les bassins à Yaou, à cause de l'absence de données de production journalière au début de l'exploitation (2005 – 2006).

Une estimation de ces réserves a été réalisée par modélisation 3D, par reconstitution du fond de la crique et un volume d'environ 800 000 m^3 a été obtenu.

Des analyses de la teneur en or ont été effectuées en laboratoire sur trois échantillons de rejets prélevés dans les bassins de rejets gravimétriques 2, 3 et 4 (*Cf. Figure 4 et Tableau 4*). Les concentrations mesurées sont ponctuelles mais tout de même représentatives des fortes teneurs en or caractérisant les rejets gravimétriques stockés sur les bassins au pied de l'actuelle usine.

Tableau 4 : Teneurs en or de 3 échantillons de rejets gravimétriques du site de Yaou

Echantillons		Teneur en or - 1ère coupure (en ppm Au)	Teneur en or - 2nde coupure (en ppm Au)
YSaPGI 1	Au pied de D1 (S1)	4,59	4,34
YSaPGI 2	Au pied de D1 (S2)	4,15	4,01
YSaPGI 3	Au pied de D1 matrice fine (S1)	0,81	0,81

A titre de comparaison avec le site minier de Dieu Merci sur lequel le minerai d'or a également été exploité pendant plusieurs années par traitement gravimétrique et les rejets stockés dans des bassins en attendant un procédé de traitement optimisant la récupération de l'or (cyanuration), les estimations de la teneur moyenne en or sur les rejets varient d'environ 1 g/t à 6 g/t (rapport d'AUPLATA (2008), rapport de C. DENIVELLE, AUPLATA (2012), société Hardrock (2012), B. TAQUET (2006)).

A partir de ces résultats d'analyse et des données de terrain (part des rejets grossiers et plus fins dans les bassins de stockage), **une teneur de 4 g/t Au a été retenue pour les bassins de rejets 2, 3 et 4** de Yaou et utilisée dans les critères de conception de l'UMTMA.

Suite à une mise à jour de la topographie en 2012 et d'une analyse de la topographie naturelle initiale du fond de la vallée où sont implantés les bassins 2, 3 et 4, une estimation des tonnages des rejets qui y sont contenus a pu être réalisée par modélisation 3D (logiciel *CORALIS*). Ainsi, les volumes de rejets gravimétriques ont été estimés à 800 000 m^3 maximum soit à 1 050 000 t.

La reprise de ces rejets gravimétriques relève du Code Minier et fait l'objet d'une demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers instruite parallèlement à ce dossier. Elle est malgré tout présentée dans ce tome (*Cf. § 7 et Figures 27 à 30*).

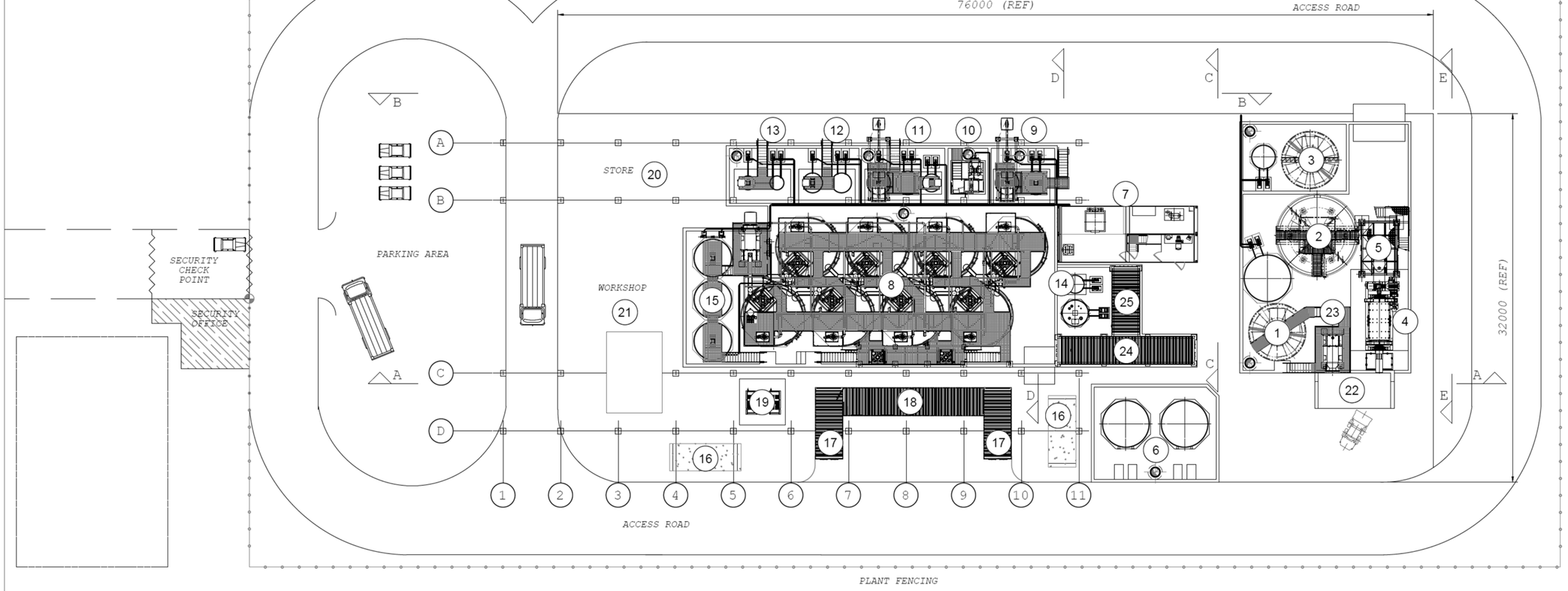
La durée de reprise et retraitement des rejets des bassins n° 2, 3 et 4 sera de l'ordre de 10 ans (2019 à 2029 en considérant un Arrêté Préfectoral d'autorisation en 2018).

- *Le minerai primaire*

L'extraction du minerai primaire relève du Code Minier et fait l'objet d'une demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers instruite parallèlement à ce dossier.

Le minerai faiblement concentré (<3 g/t) sera extrait de manière sélective sur chaque fosse et stocké sur une plateforme en attendant la fin de la phase de retraitement des rejets gravimétriques sur l'UMTMA.

PLANT NORTH



PLAN VIEW
SCALE 1:200

KEY PLAN

NO:	DESCRIPTION	AREA
1	Epaississeur alimentant le broyeur	C100 MILLING CIRCUIT
2	Epaississeur alimentant la cyanuration	E100 THICKENING & SCREENING
3	Epaississeur des résidus (paste thickener)	H120 DETOX RESIDUE THICKENING
4	Broyeur à boulets	C100 MILLING CIRCUIT
5	Batterie d'hydrocyclones	C100 MILLING CIRCUIT
6	Réserves d'eau potable et incendie	M100 SERVICES: WATER
7	Gold room	H210 REFINING CIRCUIT
8	Circuit de charbon en lixiviation (CIL)	E200 LEACHING CIRCUIT
9	Stockage de chaux	K120 REAGENTS
10	Stockage de floculant	K120 REAGENTS
11	Stockage de soude et de cyanure	K110 REAGENTS
12	Stockage de métabisulfite de sodium	K140 REAGENTS
13	Stockage de sulfate de cuivre	K140 REAGENTS
14	Zone d'electrolyse	K130 REAGENTS
15	Zone de détoxification des résidus (destruction des cyanures)	H100 CYANIDE DETOXIFICATION
16	Cuve de gazole	
17	Groupes électrogènes	
18	Armoires électriques	
19	Compresseurs	L100 COMPRESSOR AIR
20	STORE	
21	iBureau›	
22	Trémie d'alimentation du circuit de broyage	C100 MILLING CIRCUIT
23	Grille de pré-criblage de l'alimentation u circuit de broyage	C100 MILLING CIRCUIT
24	Zone d'élution	E300 ELUTION CIRCUIT
25	Salle de contrôle	

DRAWING NO.

CADD REFERENCE	
A20003M310001001	MODULAR GOLD PLANT – PLANT ELEVATIONS
A20003M310002001	MODULAR GOLD PLANT – PROCESS BUILDING
DRG NO	TITLE

REFERENCE DRAWINGS

REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHKD
0	19.07.16	ISSUED FOR FABRICATION AND CONSTRUCTION.	C.S	
E	11.07.16	AREA 7,14,15,24 & 25 UPDATED.	C.S	
D	29.06.16	AREA 1 & 6 UPDATED AND 25 REMOVED.	C.S	
C	03.05.16	ISSUE FOR CLIENT INFORMATION	C.S	
B	23.05.16	DRAWING UPDATED AND AREA'S RE-POSITIONED.	C.S	
A	11.05.16	ISSUED FOR PRELIMINARY COMMENT.	C.S	

REVISIONS

APPROVED BY			
DEPT	NAME	SIGN	DATE
MECH			
ELECT			
INSTR			
CIVIL			
STRUCT			
PIPING			
PROCESS			
PROJ ENG			
PSL			

DO NOT SCALE

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF SGS BATEMAN (PTY) LTD AND IT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR TRANSMITTED TO ANY THIRD PARTY WITHOUT OUR WRITTEN PERMISSION.

SGS BATEMAN (PTY) LTD
REG. 1980/003077/07

COPYRIGHT

REGISTERED ENGINEER			NAME	DATE
NAME:		DRAWN	C.S	11.05.2016
REG. No:		CHECKED		
SIGN:		SECT. LDR		

SGS BATEMAN

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Vue en plan de l'UMTMA au 1/200
Sources : AUPLATA et SGS BATEMAN

Figure 5

A1	SCALE: AS SHOWN	PROJ No: M7504	DWG No: A20003M210001001	REV: 0

Le minerai d'alimentation de l'UMTMA (rejets gravimétriques ou minerai primaire) ne pourra pas directement être traité sur l'UMTMA. Celle-ci requiert en entrée une teneur en eau et en matière sèche précise. Ainsi, un **épaississeur** sera installé afin de disposer d'un sable ressuyé (contenant 30 % d'eau, au minimum).

Ce matériau alimentera une trémie en entrée de l'UMTMA. La densité du matériau traité sera ajustée à l'aide d'un alimentateur à vitesse variable et par ajout d'eau.

Le stock tampon sera disposé sur une terrasse à proximité de l'UMTMA.

1.5.3. Capacité/production

Les **critères de conception de l'UMTMA** ne dépendent pas uniquement du tonnage de minerai à traiter, mais aussi et surtout de **la teneur en or du minerai**. En effet, la quantité de charbon nécessaire en usine pour adsorber l'or est fonction de la teneur des rejets. Il en est de même pour la concentration en cyanure de la solution d'attaque.

L'UMTMA traitera en moyenne environ **330 tonnes de minerai par jour**, pour **300 jours travaillés par an**, soit environ 100 000 tonnes par an.

D'après les résultats d'essais sur les **rejets gravimétriques à retraiter**, une **teneur moyenne de 4 g/t** peut être considérée. Ainsi, lors du retraitement des rejets gravimétriques et avec le rythme d'exploitation envisagé, la SMYD peut s'attendre à produire une moyenne de**1,4 kg/j** et **420 kg/an**.

Concernant le **minerai primaire**, faiblement concentré (< 3 g/t), qui sera traité sur l'UTMA, les résultats des sondages géologiques et analyses chimiques montrent des teneurs en or variant de 0,9 à 2,5 g/t. Proportionnellement aux tonnages estimés et aux différentes teneurs associées, une **teneur moyenne de 1,5 g/t** sera considérée.

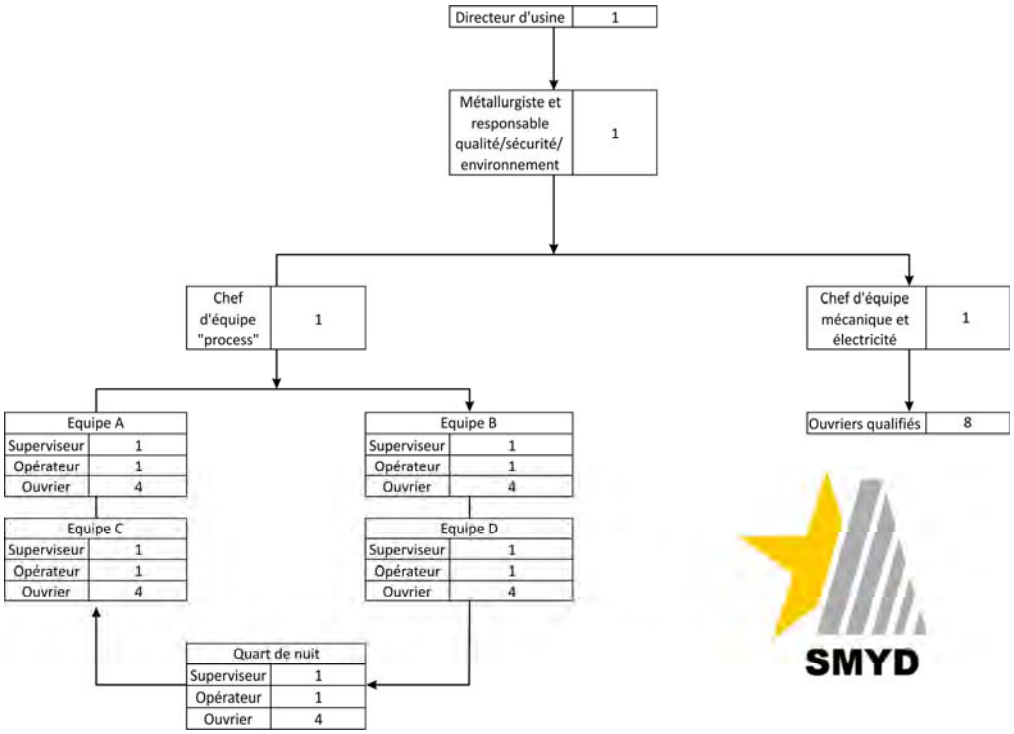
Ainsi, lors du traitement du minerai primaire et avec le rythme d'exploitation envisagé, la SMYD peut s'attendre à produire une moyenne de **300 à 400 kg/an**.

L'or sera ensuite, de la même manière que pour le concentré issu de la gravimétrie, fusionné sous forme de lingots (or non parfaitement pur, à 97 %).

1.5.4. Horaires/personnel

SMYD prévoit à l'avenir de sous-traiter les travaux d'extraction (reprise des anciens rejets de la gravimétrique ainsi que minerais primaire et alluvionnaire). SMYD fonctionnera pour cela par appel d'offre afin de sélectionner une entreprise présentant toutes les qualités techniques requises pour la réalisation de ces travaux.

SMYD continuera à assurer la production d'or primaire à partir du minerai extrait par la société sous-traitante. Cette production sera assurée par l'usine gravimétrique actuelle complétée par une unité de cyanuration à raison de 24 heures par jour, 300 jours par an. L'ensemble de la partie production comptera 42 employés répartis selon l'organigramme suivant :



1.5.5. Récapitulatif chiffré de l'UMTMA

Le tableau suivant résume les données chiffrées représentatives de l'activité de l'UMTMA.

Tableau 5 : Récapitulatif chiffré de l'UMTMA

UMTMA projetée			
Densité		Densité des rejets gravimétriques à retraiter	1,3
		Densité du minerai primaire de teneur < 3 g/t à traiter	1,6
Teneurs		Teneur en or des rejets gravimétriques (analyses SMYD)	4 g/t
		Teneur en or du minerai primaire à extraire *moyenne* *maximal*	 1,5 g/t 3 g/t
Rythme de traitement		Rythme de traitement sur l'UMTMA *Rythme journalier et annuel*	300 t/j (330 j/an) 100 000 t/an
Volumes/tonnages	**Retraitement des rejets gravimétriques**	Volume total de rejets gravimétriques à retraiter	**800 000 m^3**
		Tonnage total de rejets gravimétriques à retraiter	**1 050 000 T**
		Volume journalier et annuel des rejets gravimétriques à retraiter	230 m^3/j 75 000 m^3/an
		Tonnage d'or récupérable par cyanuration	1,4 kg/j 420 kg/an

(…)

(…)

UMTMA projetée			
Volumes/tonnages	**Traitement du minerai primaire de teneur < 3g/t**	Volume total à traiter	**665 000 m^3**
		Tonnage total à retraiter	**1 000 000 T**
		Volume journalier et annuel de minerai primaire retraité	200 m^3/j 65 000 m^3/an
		Tonnage d'or récupérable par cyanuration	495 g/j 150 kg/an
% massique solide		Rejets gravimétriques à retraiter	85%
		Pulpe traitée par cyanuration	40 %
		Résidus décyanurés épaissis	**60%**
Concentrations		Concentration en cyanure dans la solution de lixiviation	0,05% (500 ppm ou 0,5g/L)
		Concentration en cyanure dans la solution d'élution	0,1% (1 000 ppm ou 1g/L)
		Concentration potentielle maximale en cyanures facilement libérables dans les résidus décyanurés	10 ppm
Consommations		Consommation de cyanure de sodium (NaCN)	0,11 kg/t de matériaux traités 33 kg/j 12 t/an
		Consommation d'eau	216 m^3/j (appoint pompé à partir des bassins d'eau claire existants sur le site)

2. DETAILS TECHNIQUES DES PROCEDES ET INSTALLATIONS DE TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE (POUR REGULARISATION)

2.1. EXTRACTION ET ACHEMINEMENT DU MINERAI (CODE MINIER)

Les installations de traitement actuelles étaient, jusqu'alors alimentées par le minerai issu du gisement d'or primaire de Yaou et le resteront, pour la suite de l'exploitation du site.

Une partie du gisement extrait sur les futurs chantiers miniers (volume le plus fortement concentré) sera traité par l'installation gravimétrique.
La future zone d'extraction du minerai (zone relevant du Code Minier) représente une superficie d'environ 26 ha (= fosses BW, Centrale, H, H Est, H Nord, M, Pinheiro, I sud, K Sud-Est, K Nord et E).

L'usine gravimétrique sera déplacée avant de redémarrer le traitement du gisement primaire.

2.2. L'USINE GRAVIMETRIQUE ACTUELLE ET A VENIR (TRAITEMENT GRAVIMETRIQUE)

L'usine gravimétrique permet d'effectuer la préparation du minerai et sa valorisation :

- la **préparation du minerai** regroupe les phases de **mise en pulpe** et **fragmentation** ;
- la **valorisation** est une étape d'enrichissement au cours de laquelle le minerai est séparé en une **phase concentrée** (or et minéraux lourds) et une **phase appauvrie en or**.

Au cours de ces deux étapes, le minerai est successivement mis en pulpe, broyé (réduction de la granulométrie), puis enrichi (par concentration gravimétrique). La *Figure 6* présente le schéma de l'usine gravimétrique du site de Yaou.

Pour mémoire, l'usine actuellement présente sur le site de Yaou sera démontée et déplacée à l'Est de la fosse A (*Cf. Figure 4 p 17*).

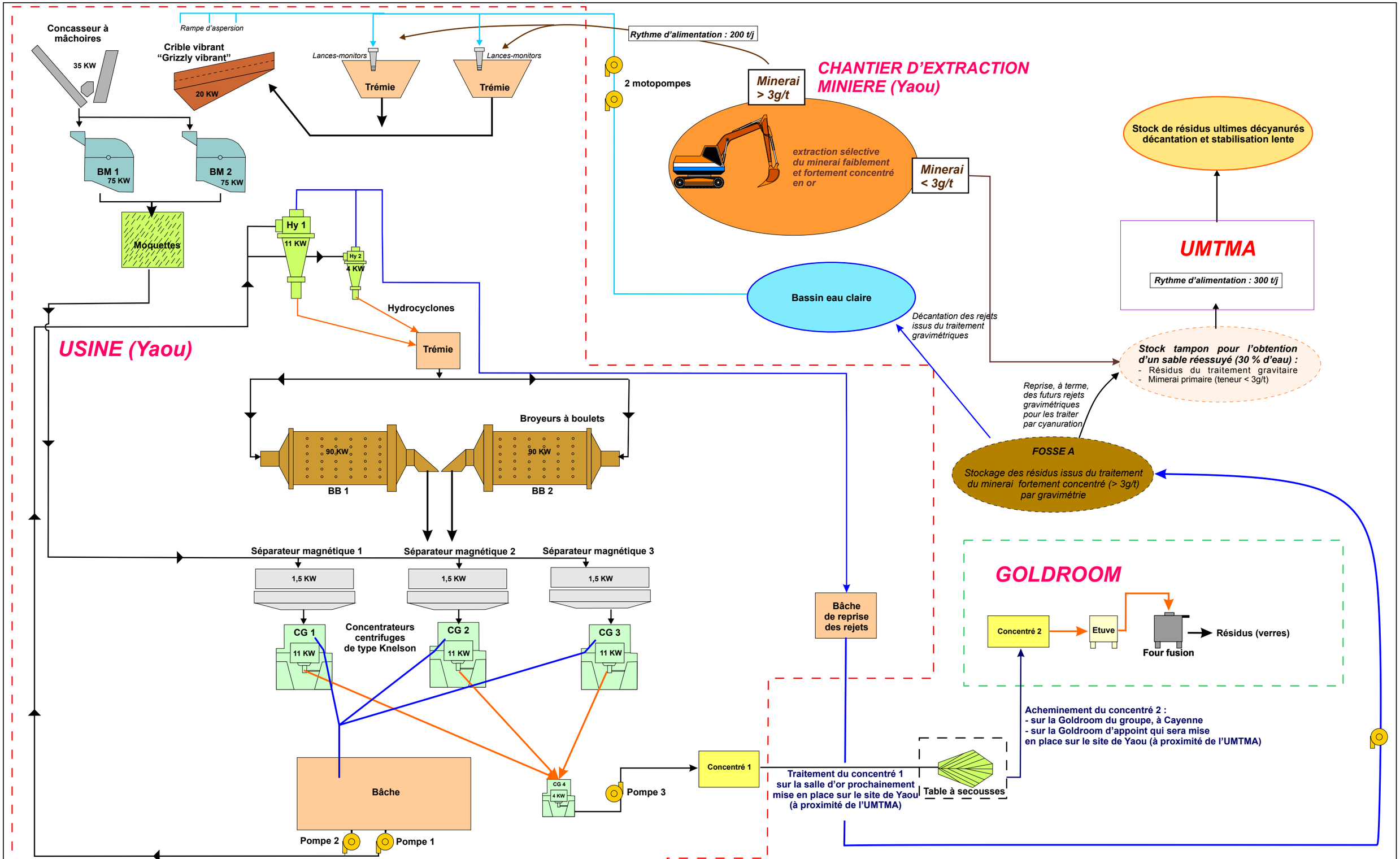
2.2.1. Alimentation en minerai et broyage primaire

L'usine sera alimentée par le minerai primaire fortement concentré (teneur >3 g/t) issu des nouvelles ressources identifiées au cours des travaux d'exploration menés la SMYD : futurs chantiers d'exploitation minière projetés à l'Ouest de la base vie (fosses M, Pinheiro, H Nord, H Est, H et E), à l'est (fosses K Sud Est, K Nord, I Sud) et en partie centrale (fosses BW et Centrale).

L'extraction du minerai de teneur supérieur et inférieur à 3 g/t sera réalisée de manière sélective sur chacune des fosses. La part plus faiblement concentrée sera stockée sur une plateforme dédiée et la part fortement concentrée (> 3 g/t) directement envoyée sur l'installation de traitement gravimétrique.

Cette exploitation sera toutefois conditionnée par les cours de l'or et de l'énergie.

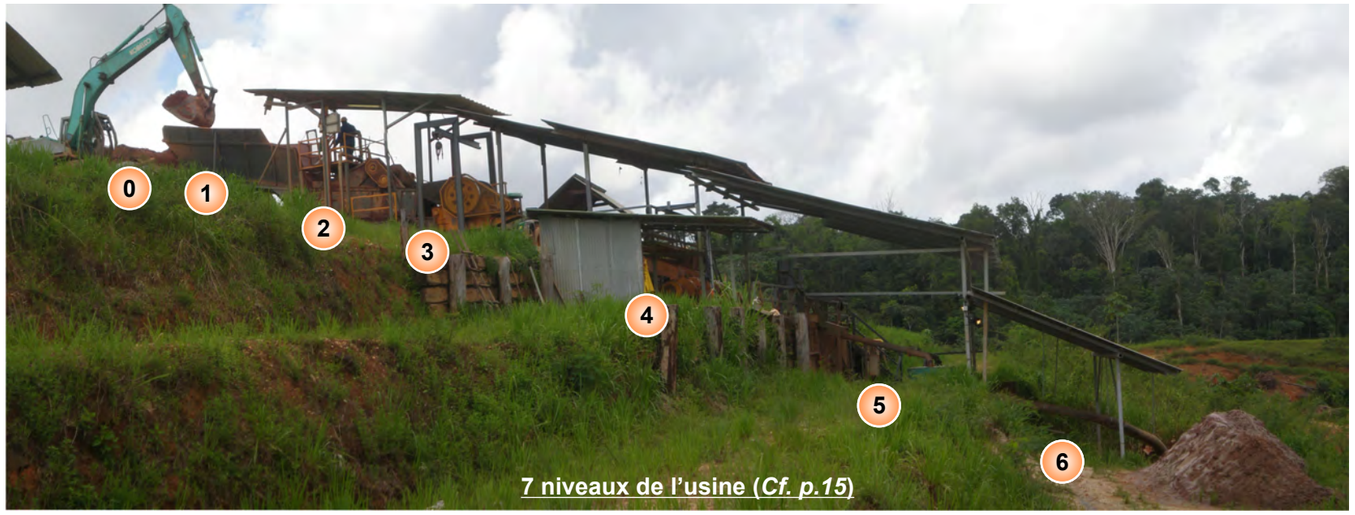
Dans tous les cas, l'alimentation de l'usine se fera en continu à un rythme d'environ 20 t/h, soit une moyenne de 200 t/j et de 70 000 t/an de produits traités.

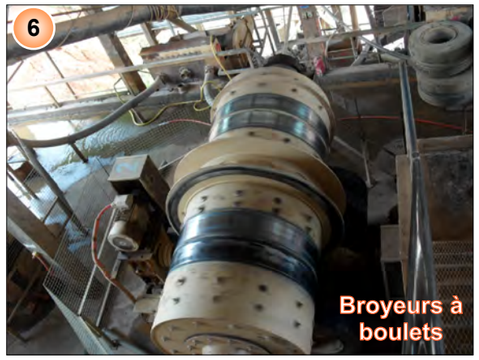


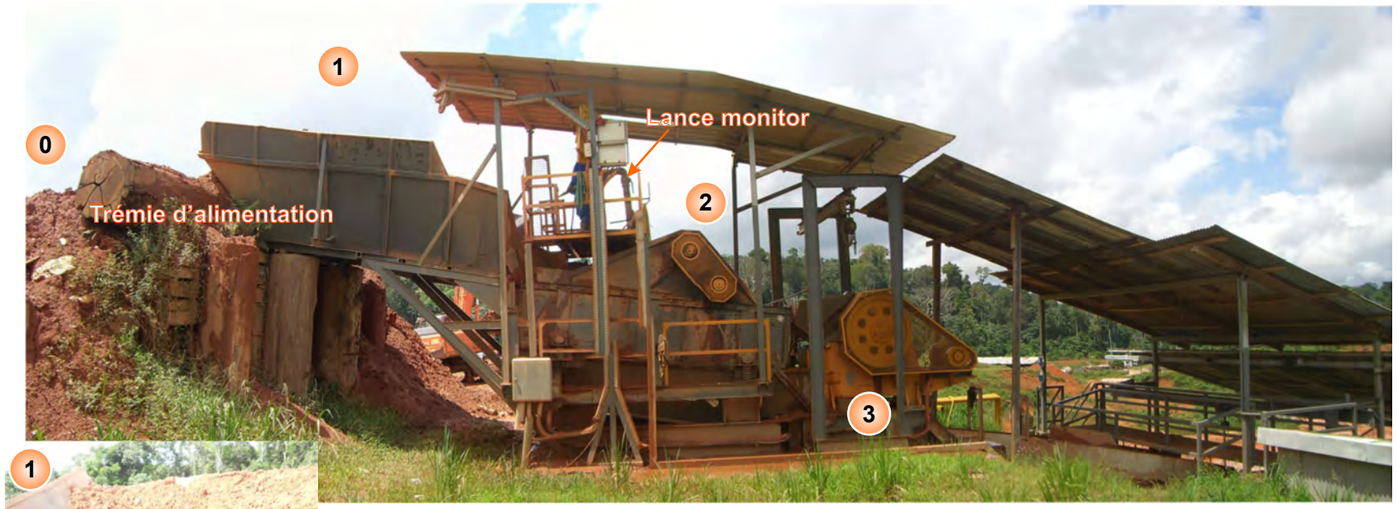
SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

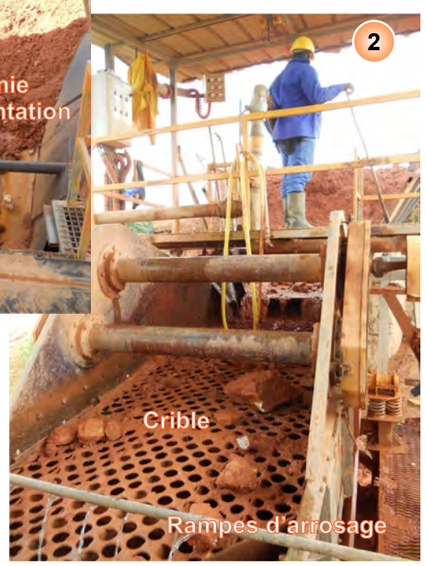
Synoptique du processus de traitement du minerai
Source : SMYD / GéoPlusEnvironnement

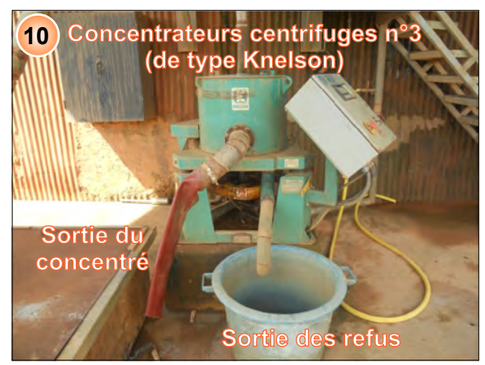
Figure 6









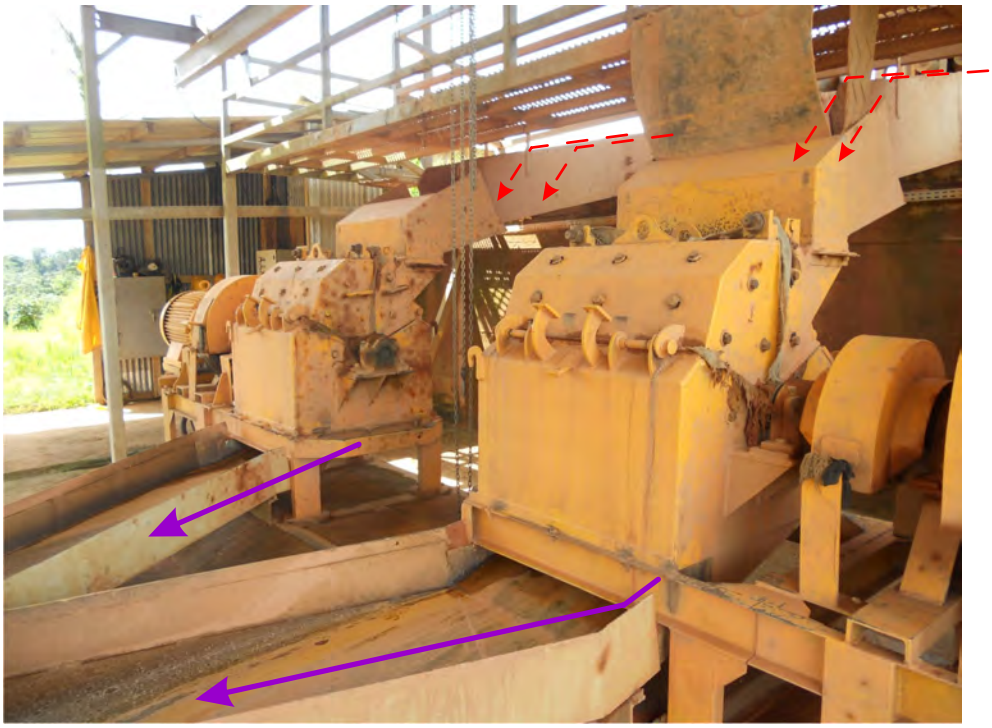


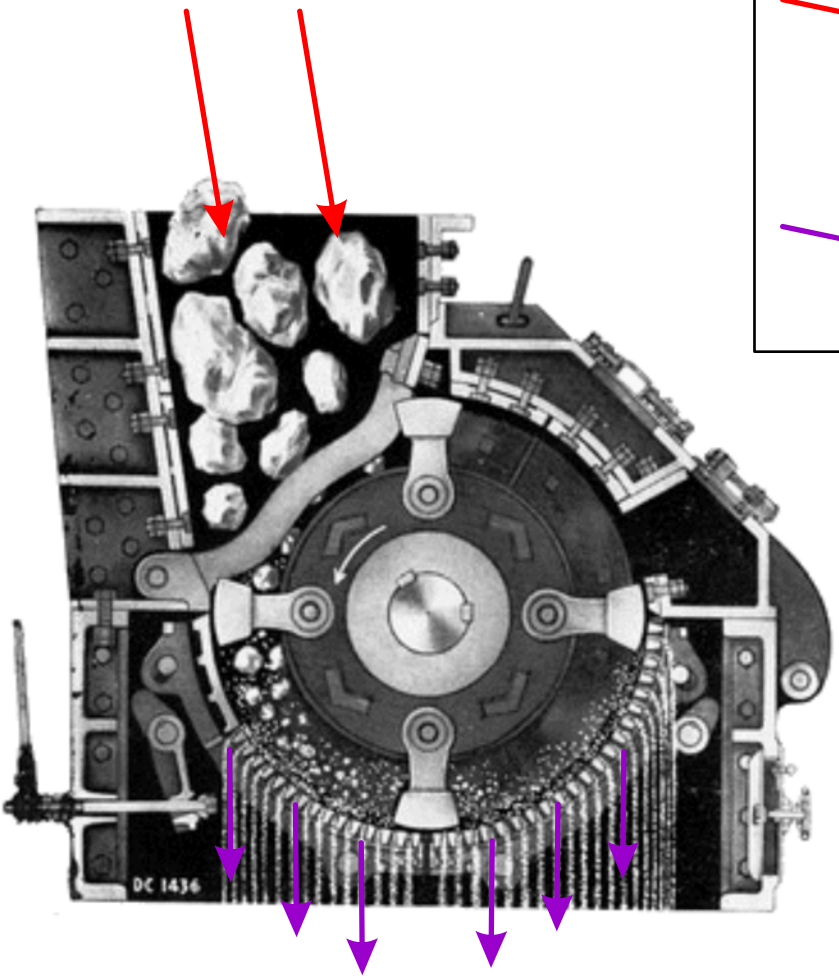
GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Photographies de l'usine actuelle et de ses organes
Sources : GéoPlusEnvironnement, SMYD

Figure 7





Alimentation en minerai (granulométrie inférieure à 60 mm : passants de l'étage 60 mm du crible et du concasseur (< 40 mm))

Sortie du minerai (granulométrie inférieure à 1,5 mm)

Schéma de principe d'un broyeur à marteaux
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Organe	Alimentation de l'usine gravimétrique
Rythme	20 t/h en moyenne
Engins	1 pelle hydraulique 1 chargeur sur pneus
Personnel	1 conducteur de pelle hydraulique

Cette unité de traitement gravimétrique est composée de différents organes présentés en Figures 6 et Figure 7.

Son objectif est d'amener le minerai à une granulométrie permettant la libération de l'or grossier afin de permettre une récupération par concentration gravimétrique, et de produire un premier « concentré », qui sera séché et fondu, pour obtenir au final les lingots de « doré ».

Cette installation de traitement relève de la rubrique 2515-1 (Broyage, concassage, criblage) et 2546 (Traitement des minerais non ferreux, élaboration et affinage des métaux et alliages non ferreux) de la nomenclature des ICPE.

2.2.1.1. Mise en pulpe

Dans la trémie d'alimentation, le minerai saprolitique est mis en pulpe afin de pouvoir être acheminé par gravité dans le reste du circuit. La mise en pulpe se fait à l'aide d'une lance-monitor, délivrant un débit maximum d'environ 70 m^3/h d'eau (*Cf. Figure 6*).

L'alimentation en eau de cette unité est réalisée par 2 motopompes (pompes thermiques), récupérant actuellement les eaux canalisées depuis l'aval des bassins de rejets (*Cf. Figure 6*). Elles alimentent les lance-monitors, dirigés vers les trémies d'alimentation de l'usine (mise en pulpe) et les rampes d'aspersion, positionnées au dessus du crible vibrant (« grizzly). Ces deux premières étapes avec le passage ensuite sur le concasseur à mâchoires permet la préparation d'une pulpe grossière mais sans blocs.

A terme, les bassins de rejets gravimétriques seront vidés (rejets traités sur UMTMA) et réutilisés pour stocker les résidus ultimes, décyanurés. Les motopompes seront donc déplacées dans le bassin d'eau claire n°1, situé à l'aval du futur stockage des résidus gravimétriques dans la fosse A.

Ce système fonctionne ainsi en **circuit fermé**. Deux pompes, dont une de secours, seront mises en place au niveau du bassin n°1.

Organes	Motopompe 1 (circuit fermé)	Motopompe 2 (circuit fermé)	Lances monitor
Puissance installée équivalente	81 kW (6 cylindres) 110 CV	81 kW (6 cylindres) 110 CV	0
Engins	0	0	0
Personnel	0	0	2

2.2.1.2. Broyage primaire

Cette unité est composée de **2 broyeurs à marteaux** de marque SILSAN (*Cf. Figures 6 et 8*). Elle a pour objectif de réduire la taille des particules par écrasement. Ces appareils, d'une capacité d'environ 30 m^3/h chacun, amènent les matériaux à une granulométrie de 0/2,5 mm.

Organes	Broyeur à marteaux 1 (BM1)	Broyeur à marteaux 2 (BM2)
Puissance électrique installée	75 kW	75 kW
Engins	0	0
Personnel	1 (maintenance)	

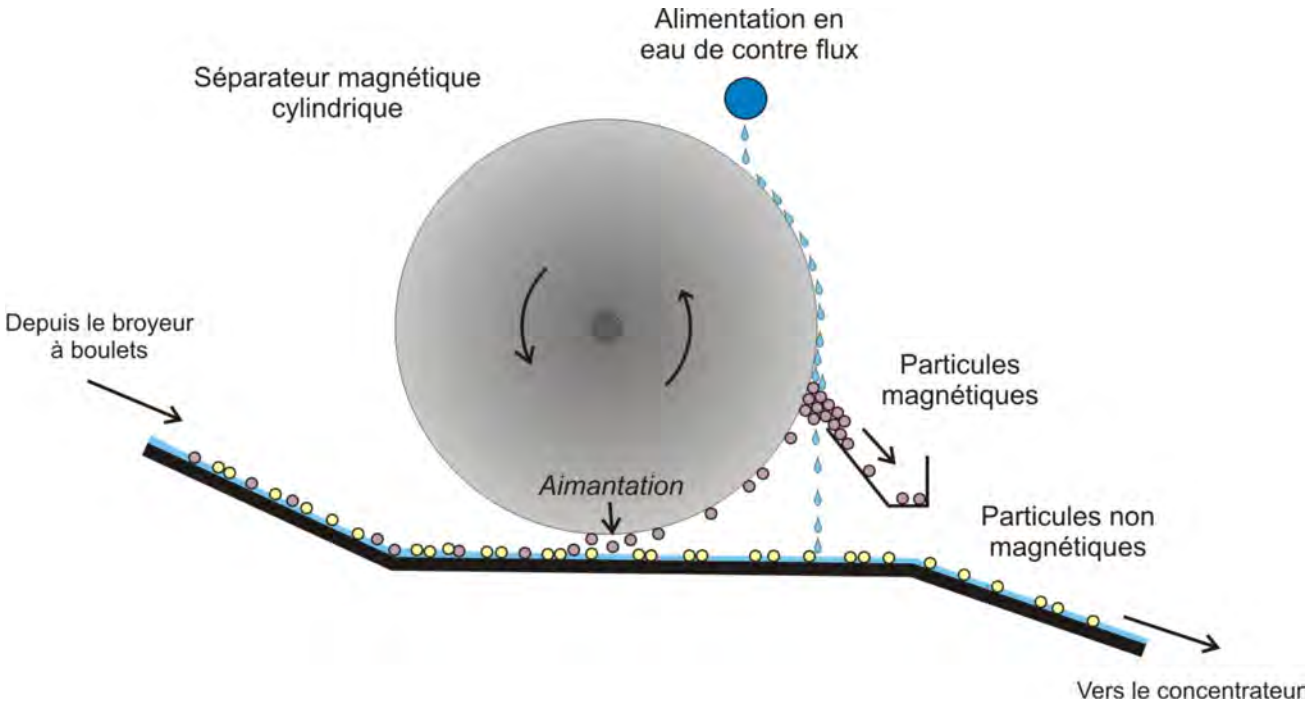


Schéma de principe d'un séparateur magnétique
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 9

2.2.2. Concentration gravimétrique primaire

2.2.2.1. Piégeage gravimétrique

Une fois le minerai réduit à une maille de 0/2,5 mm, il est acheminé vers 1 table équipée de moquettes 3 M.

La récupération de l'or se fait sur la propriété de **densité de l'or, qui est très élevée par rapport aux autres minéraux présents dans le minerai**. La pulpe ruisselle sur le tapis, et les particules d'or, plus denses sont piégées par les fibres.

La pulpe est ensuite traitée par les concentrateurs centrifuges Knelson.

2.2.2.2. Séparation magnétique

Un séparateur magnétique est placé avant chaque concentrateur centrifuge.

Celui-ci récupère les particules magnétiques qui se collent à sa surface. Il s'agit essentiellement de minéraux magnétiques présents dans le minerai au départ (magnétite) et de résidus d'usure des consommables de broyeurs (acier de boulets et des marteaux). Par percolation d'eau sur la surface du cylindre, les particules sont stoppées et s'agrègent entre elles (*Cf. Figure 9)*.

Au bout d'un certain temps, l'agrégat de particules magnétiques est suffisamment conséquent pour que, sous l'effet de la diminution du pouvoir magnétique par éloignement, les magnétiques tombent sur une plaque inclinée sur laquelle elles glissent vers une rigole de collecte. Enfin, ce rejet est amené vers la caisse finale de rejets.

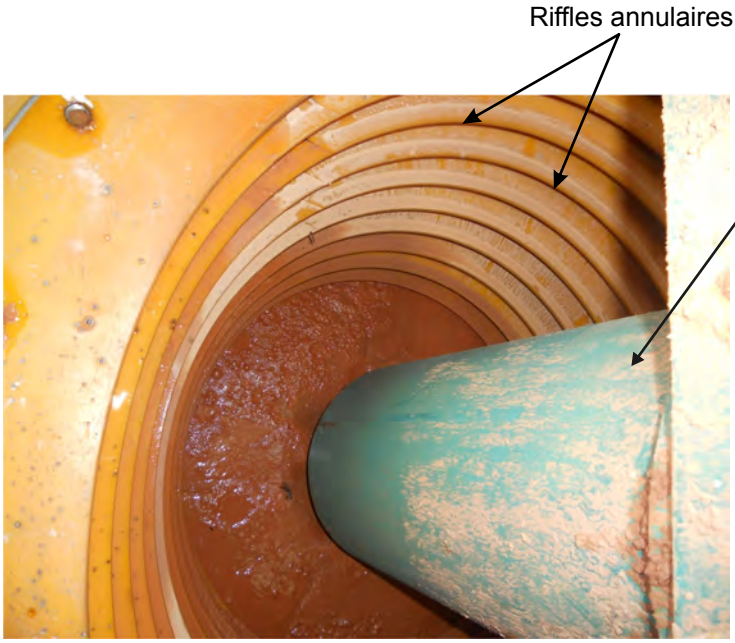
Organes	Séparateur magnétique 1	Séparateur magnétique 2	Séparateur magnétique 3
Puissance électrique installée	1,5 kW	1,5 kW	1,5 kW
Engins	-	-	-
Personnel	1 (maintenance)	1 (maintenance)	1 (maintenance)

2.2.2.3. Concentration gravimétrique

Les particules non magnétiques font ensuite l'objet d'une valorisation par concentration gravimétrique. Les appareils utilisés sont 3 concentrateurs centrifuges de type Knelson.

La séparation se fait au moyen de l'utilisation d'un lit fluidisé sous une gravité additionnelle créée par la rotation bol en forme de cône à l'intérieur de l'appareil. Le schéma de principe est présenté en *Figure 10*.

Le concentrateur est constitué d'un bol tronconique placé dans un caisson cylindrique. La face interne du bol est garnie de riffles annulaires horizontaux qui divisent le bol en chambres annulaires. L'eau est injectée sous pression entre le caisson et le bol, dans la chambre à eau, et sort par des petits trous percés au fond des chambres annulaires. L'ensemble « caisson et bol » est en rotation autour d'un axe commun vertical.
La pulpe de minerai est introduite au niveau de la partie inférieure du bol. Sous l'effet de la force centrifuge générée par la rotation, la pulpe est projetée contre la paroi du bol et remplit les espaces inter-riffles.
En réglant la pression d'injection de l'eau, la fraction légère (gangue du minerai) se fluidise. Les particules denses, non fluidisées, se frayent un passage entre les particules fluidisées par l'effet de la pesanteur artificielle. Elles s'accumulent au fond des espaces inter-riffles. Les particules légères sont quant à elles entraînées hors du bol par l'eau de contre pression.



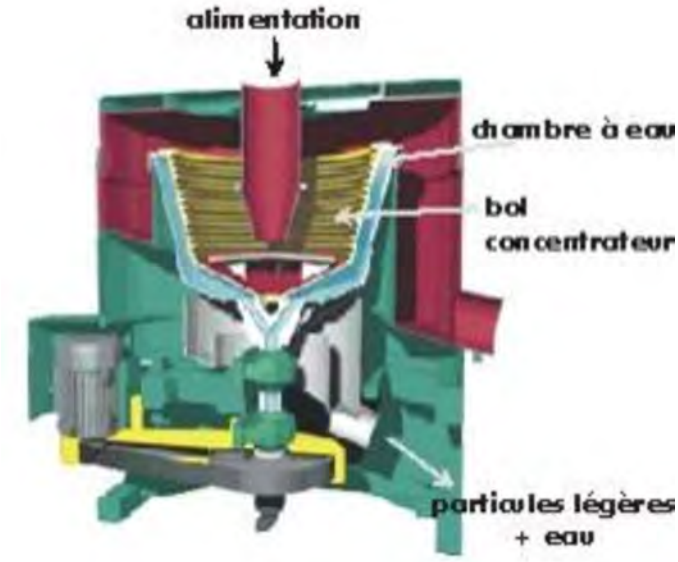


Schéma de principe d'un concentrateur centrifuge de type Knelson

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 10

Trois concentrateurs sont ici utilisés. Les concentrés issus de ces 3 Knelson alimentent un quatrième concentrateur centrifuge, plus petit, qui réalise le nettoyage final. L'objectif est d'augmenter la teneur et de réduire le volume des concentrés : concentration finale.

Organes	Concentrateur 1	Concentrateur 2	Concentrateur 3
Puissance électrique installée	11 kW		
Engins	-		
Personnel	1 (maintenance)		

2.2.3. Broyage et concentration gravimétrique secondaires

2.2.3.1. Hydrocyclonage

Les **rejets des concentrateurs centrifuges** Knelson sont dirigés vers **deux hydrocyclones**.
Les hydrocyclones permettent de réaliser une classification granulométrique du matériau. Leur principe de fonctionnement est exposé en *Figure 11.*

L'hydrocyclone est constitué d'un cylindre court prolongé vers le bas par un cône.
La pulpe est injectée tangentiellement à la partie supérieure de l'appareil et suit, sous l'effet de la pesanteur, une trajectoire en spirale descendante.

Sous l'effet de la force centrifuge créée par le mouvement de rotation, les particules les plus denses sont plaquées sur la paroi et s'écoulent vers le bas jusqu'à l'apex aussi nommé *underflow* et que l'on traduit par sous-verse. La fraction de particules légères est forcée de remonter, du fait du rétrécissement du cône, sous la forme d'un vortex dans l'axe de l'appareil, et est évacuée au sommet du cylindre à *l'overflow*, traduit par surverse.

La taille de coupure est fonction de la dimension des deux orifices de sortie, du débit et de la teneur en solide de l'alimentation et du diamètre du tube plongeur.

Pour ces deux hydrocyclones, la **sous-verse,** plus dense (résidus « solide »), est dirigée vers les **broyeurs à boulets** (**broyage secondaire**), afin que l'or, encore associé à la gangue, soit libéré par une nouvelle fragmentation des particules. Ces matériaux sont ensuite à nouveau traités sur les séparateurs magnétiques et les concentrateurs centrifuges Knelson. Les particules les plus grossières (surverse des concentrateurs) sont traitées en circuit fermé sur l'ensemble broyeurs à boulets/séparateur gravimétrique/concentrateurs centrifuges.
Les particules plus légères, mélangées à l'eau, sont acheminées vers une étape de concentration finale.

La **surverse des hydrocyclones,** moins dense (résidu « liquide »), est considérée comme **rejets gravimétrique** et envoyés vers les bassins de stockage.

Organes	Pompe 1	Pompe 2	Hydrocyclone n°1	Hydrocyclone n°2
Puissance électrique installée	30 kW	30 kW	0	0
Engins	0	0	0	0
Personnel	1 (maintenance)			

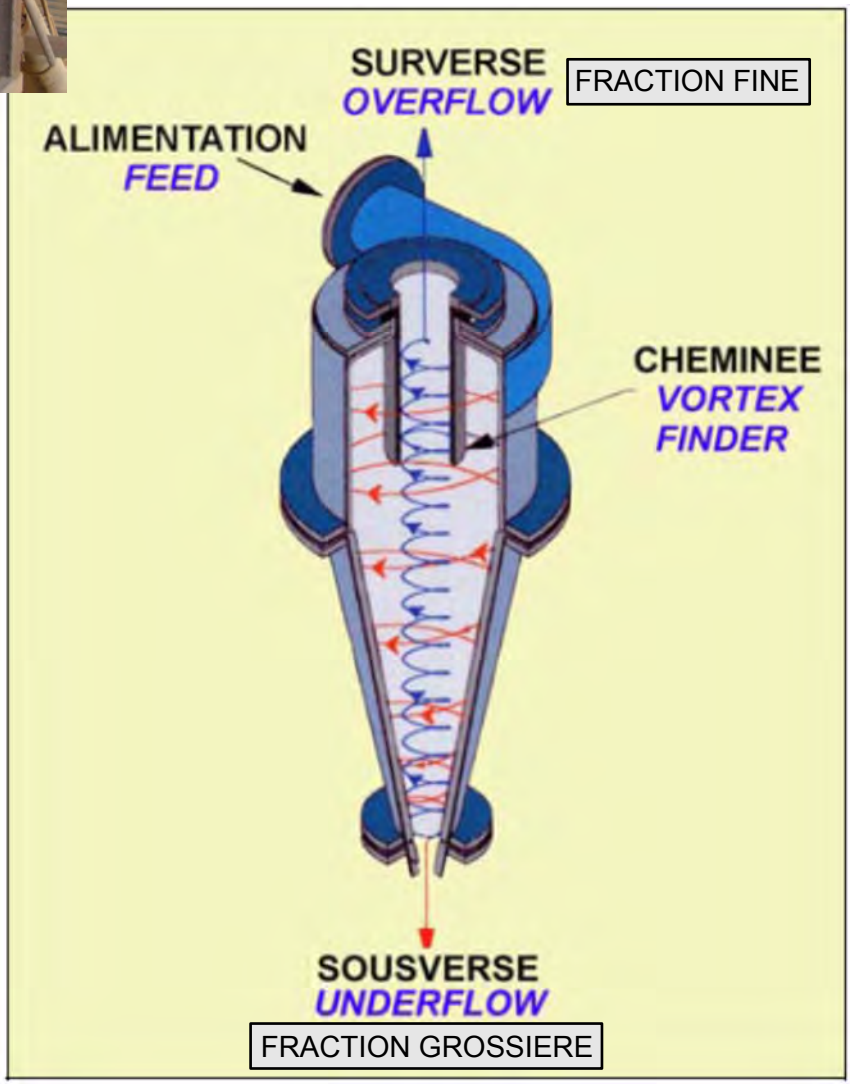


Schéma de principe d'un concentrateur centrifuge de type Knelson

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 11

2.2.3.2. Broyage secondaire

Le principe du broyage secondaire est de réduire la granulométrie des particules par impact et attrition avec des corps broyants. Dans notre cas, ces corps broyants sont des boulets en fonte.

Un broyeur à boulets est constitué d'un tambour cylindrique ou cylindro-conique à axe horizontal (*Cf. Figure 12*). Le tambour est rempli à peu près au tiers de son volume par la charge broyante (ici les boulets).

Il tourne autour de son axe à une vitesse de rotation précise. Si celle-ci est trop lente, les boulets roulent les uns sur les autres en fond de l'appareil. Si elle est trop rapide, les boulets restent collés à la paroi sous l'action de la force centrifuge.

Les boulets utilisés ont une taille variant de 2 à 5 cm, en fonction de la finesse de broyage désirée et de leur usure.

Ces broyeurs, de 2 mètres de diamètre pour 4 mètres de longueur et de marque *NEYRTEC,* sont équipés de moteurs électriques.

Organes	**Broyeur à boulets n°1 (BB1)**	**Broyeur à boulets n°2 (BB2)**
Puissance électrique installée	90 kW (2 moteurs)	
Engins	-	
Personnel	1 (maintenance)	

2.2.4. Concentration gravimétrique finale

Comme détaillé ci-dessous, la sous-verse des trois premiers concentrateurs centrifuges (phase légère et aqueuse) sera dirigée vers un quatrième et dernier concentrateur Knelson.

Le principe de fonctionnement de ce concentrateur, de plus petite puissance, est identique aux trois autres.

Organes	**Concentrateur 4 (CG 4), de finition**	**Pompe 3**
Puissance électrique installée	4 kW	3,5 kW
Engins	-	-
Personnel	1 (même employé réalisant la maintenance sur CG 1, 2 et 3)	-

Le produit de cette dernière étape de concentration (appelé concentré des Knelson) sera évacué vers un bac, puis dirigé vers une table à secousses.

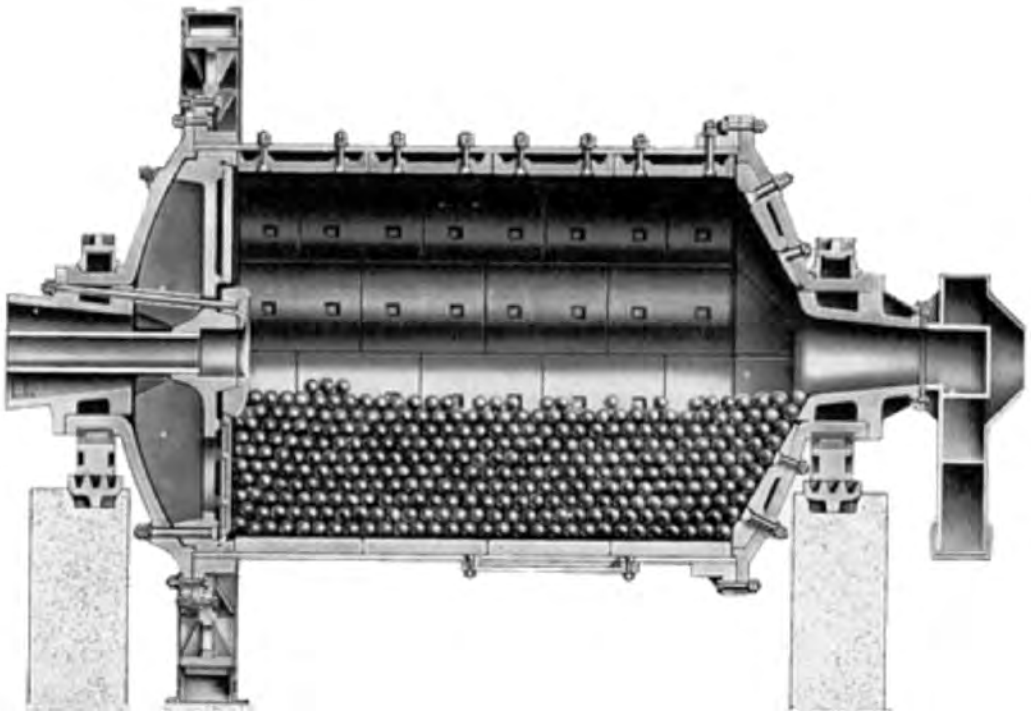


Schéma de principe d'un broyeur à boulets
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 12

2.2.4.1. Séparation gravimétrique finale

La table à secousses fonctionne sur le principe de la différence de comportement des grains de masses volumiques différentes lorsqu'ils sont soumis à l'écoulement d'une lame d'eau sur un plan rugueux.

La table de marque Gemeni présente des riffles disposés « en arrêtes de poisson » de part et d'autre de son axe central (*Cf. Figure 13*). Une alimentation en eau sur toute la longueur se fait par de petits robinets. L'eau s'écoule perpendiculairement à l'allongement de la table. Un moteur anime l'ensemble des secousses asymétriques longitudinales. L'alimentation en pulpe se fait à l'extrémité supérieure de la table.

Les grains sont soumis à deux forces :

- la force d'entraînement créée par la lame d'eau dirigée selon la ligne de plus grande pente,
- la force d'entraînement créée par les secousses dans l'allongement de la table.

Sous l'effet de ces deux forces, les particules se classent par taille et par densité entre les riffles, le long desquelles elles progressent. Les particules échappées d'un riffle par les secousses sont reprises par le film d'eau et amenées par le courant au riffle suivant où le même phénomène de classement se reproduit. Les particules les plus légères suivent pratiquement la direction du courant d'eau. Les particules les plus denses cheminent le long des riffles sur toute leur longueur avant d'être libérées à l'autre extrémité de la table. Les particules intermédiaires sortent en position diagonale par rapport au point d'alimentation. Sur le pourtour de la table, des casiers sont présents pour collecter chacune des trois fractions qui se séparent.

Organes	Table à secousses
Puissance électrique installée	1 kW
Engins	0
Personnel	1

2.2.5. Fusion des lingots de doré

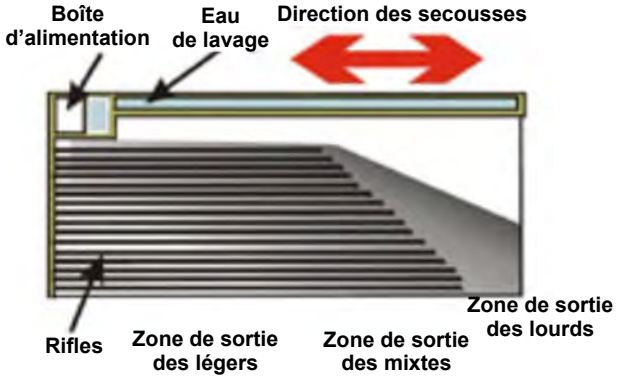
Une fois l'or extrait du concentré, à l'aide de la table à secousses, le métal est passé à l'étuve, puis fondu et façonné sous forme de lingots (dénommés « **dorés** » car non parfaitement purs). La fusion se fait à l'aide d'un four électrique à induction, de modèle F5-D/400 (*Cf. Figure 13*). La poudre d'or est placée dans un creuset avec du borax et de la silice (« fondants ») pour être fondue à une température de 1200°C. Lorsque l'état liquide est atteint, le métal est coulé dans un moule. Une fois la solidification de la matière réalisée après complet refroidissement, le lingot doré ainsi obtenu constitue l'actuel produit fini et est commercialisé en l'état.

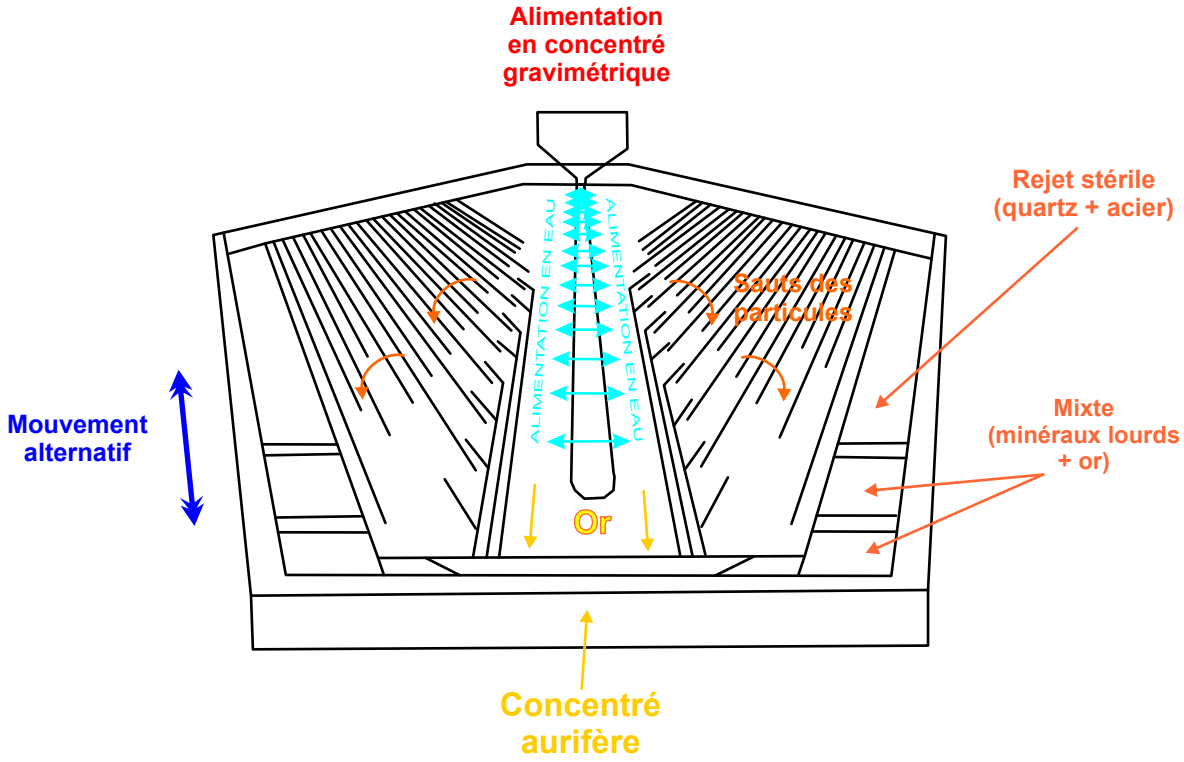
Le site de Yaou sera équipé d'une Goldroom, mise en place à proximité de l'UMTMA, zone du site clôturée et surveillée 24h/24.

Organes	Etuve	Four à induction
Puissance électrique installée	2 kW	7 kW
Engins	0	0
Personnel	1	

N.B. : Jusqu'en 2012, les concentrés de table étaient transportés puis fondus sur le site de Dieu Merci.

TABLE A SECOUSSES





Etuve

2.3. RECAPITULATIF DES ORGANES ET PUISSANCES ELECTRIQUES INSTALLEES (USINE GRAVIMETRIQUE POUR REGULARISATION)

Le tableau ci-après fournit un récapitulatif des puissances électriques associées aux activités de traitement gravimétrique du minerai aurifère.

Tableau 6 : Organes et puissances électriques installées de l'usine gravimétrique

	Appareil	Usage	Quantité	Puissance unitaire installée (kW)	Puissance totale installée (kW)
Usine / Goldroom	Motopompe (circuit fermé)	alimentation en eau globale	2	80	160
	Lance monitor	Mise en pulpe du minerai	2	0	0
	Grizzly vibrant	Criblage	1	20	20
	Concasseur à mâchoires	concassage	1	35	35
	Broyeur à marteaux	Fragmentation	2	75	150
	Pompe à pulpe	Relevage de la pulpe vers le petit hydrocyclone	2	30	60
	Hydrocyclone	Valorisation de la pulpe	1	0	0
	Broyeur à boulets	Fragmentation	2	90	180
	Séparateur magnétique	Nettoyage de la pulpe	3	1,5	4,5
	Concentrateurs centrifuges 1 à 3	Valorisation de la pulpe	3	11	33
	Concentrateur centrifuge 4	Valorisation de la pulpe	1	4	4
	Pompe à pulpe 2	Sortie des résidus vers le stock	1	3,5	3,5
	Compresseur d'air	Nettoyage	1	2	2
	TOTAL Usine				**652**
	Etuve	Séchage du concentré	1	2	2
	Four à induction	Fusion des lingots de « doré »	1	7	7
	Table GEMENI	séparation	1	2.5	2.5
	Divers	-	1	1	1
	TOTAL Goldroom				**12,5**
TOTAL					**664,5**

2.4. INSTALLATIONS ANNEXES ASSOCIEES

Les installations annexes associées aux activités de traitement gravimétrique sont localisées sur la *Figure 14* et la *Figure 15*.

2.4.1. Fourniture et distribution d'électricité aux installations existantes

2.4.1.1. Production d'électricité

Du fait de son isolement, le site de Yaou est **éloigné de tout réseau électrique collectif**. L'électricité, indispensable au fonctionnement du site, doit donc être produite sur place, à l'aide de groupes électrogènes.

5 groupes électrogènes sont actuellement en fonctionnement sur le site :

- 2 groupes d'une puissance de 400 kW ou 400 kVA (800 KW au total) chacun alimentent l'usine ;
- 2 groupes électrogènes insonorisés d'une puissance de 25 KVA chacun alimentent la base vie dont les logements, bureaux, cartothèque, magasin, le réfectoire, les sanitaires, la laverie, etc... ;
- 1 groupe d'une puissance de 70 KW alimentant l'atelier mécanique.

Groupe électrogène et citerne de gasoil de la base vie

Cuve de gasoil 30 m³ de l'atelier + aire étanche de ravitaillement des engins reliée à un séparateur à hydrocarbures

Stockage gasoil (groupe électrogène atelier)

Stockage essence pour quad et gasoil pour engins

Huiles et graisses usagées (atelier)

Mirador de surveillance

Mirador de surveillance

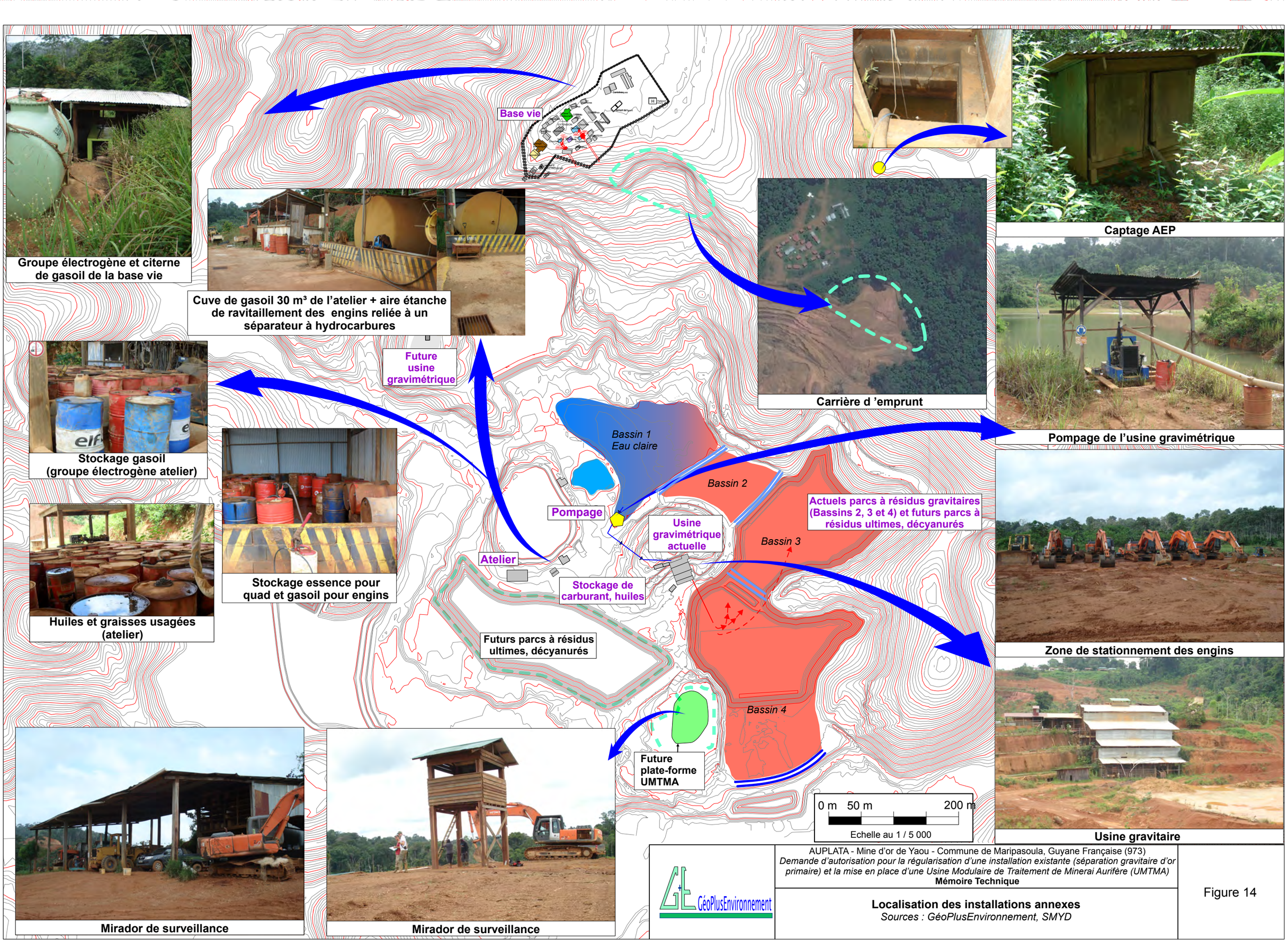
Captage AEP

Carrière d 'emprunt

Pompage de l'usine gravimétrique

Zone de stationnement des engins

Usine gravitaire



GéoPlusEnvironnement

AUPLATA - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

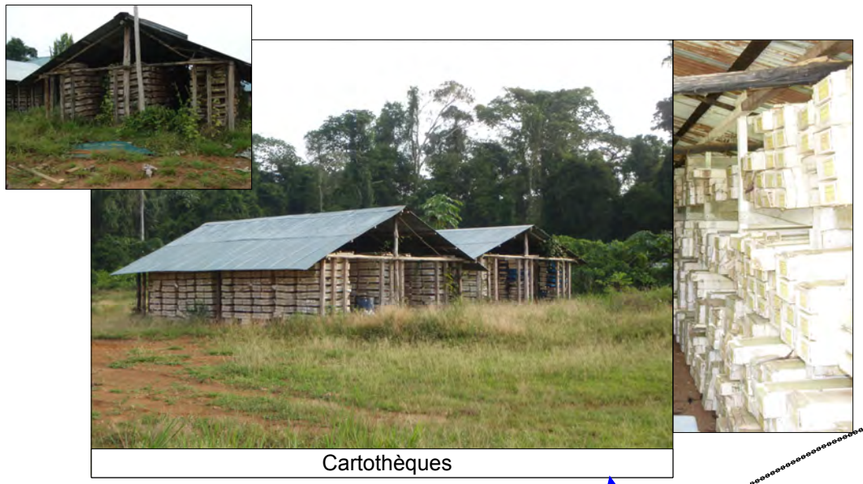
Mémoire Technique

Localisation des installations annexes

Sources : GéoPlusEnvironnement, SMYD

Figure 14

Réfectoire



Cartothèques

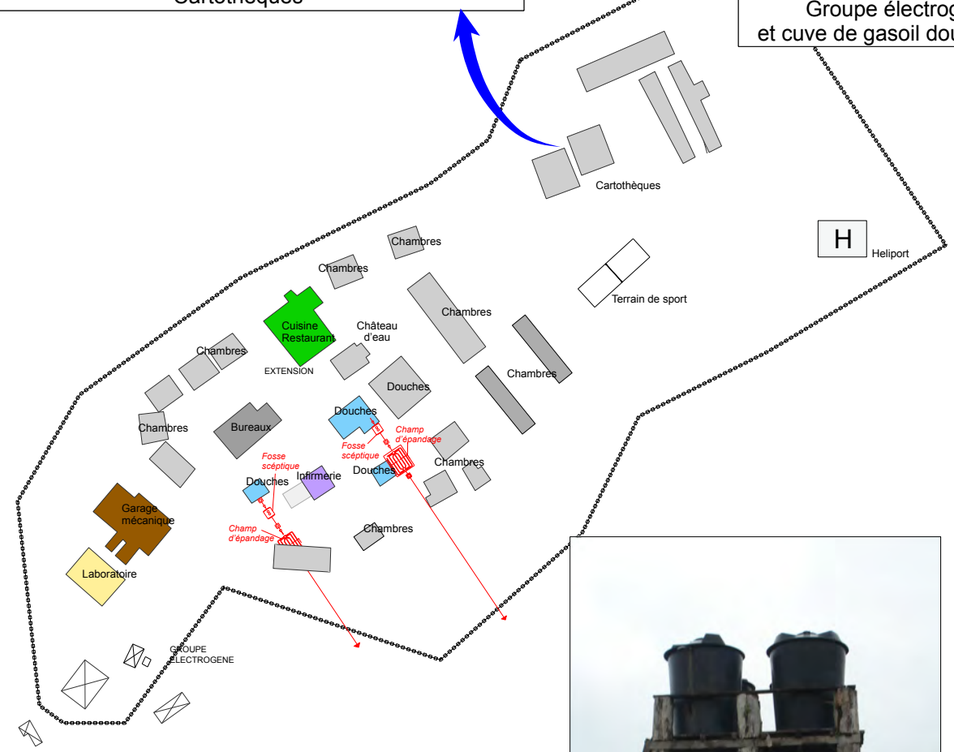
Groupe électrogène
et cuve de gasoil double peau

0 m 15 m 60 m
Echelle au 1 / 1 500

N

Salle de détente

Carbet : buanderie



Carbet détente

Magasin

Carbet : chambres

Châteaux d'eau

Carbet : Stockage échantillon de sol

GéoPlusEnvironnement

AUPLATA - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Localisation des installations annexes : base vie
Sources : GéoPlusEnvironnement, SMYD

Figure 15

Un 6ème groupe électrogène sera mis en place pour alimenter la future unité mobile de traitement du minerai aurifère (UMTMA) ainsi que la future Goldroom, installations associées à la finition du traitement du minerai d'or. Le tableau suivant résume les utilisations et puissances de ces différents groupes électrogènes (GE) :

Tableau 7 : Liste des groupes électrogènes et puissances électrique

Appareil	Usage	Puissance électrique (kW)
GE 1 Usine	Alimentation en électricité de l'usine	400
GE 2 Usine	Alimentation en électricité de l'usine	400
GE 3 Base vie	Alimentation en électricité diurne de la base vie.	20
GE 4 Base vie	Alimentation en électricité nocturne de la base vie.	20
GE 5 Atelier	Alimentation électrique ponctuelle dans l'atelier	70
GE 6 UMTMA	Alimentation électrique diurne et nocturne de l'UMTMA	1 365
TOTAL		2 275

Les groupes électrogènes sont arrêtés ponctuellement tous les dimanches ainsi que 3 semaines par an pour des opérations de maintenance.

2.4.1.2. Distribution d'électricité

Les groupes électrogènes sont situés à proximité des infrastructures qu'ils alimentent afin de permettre un raccordement direct (une armoire électrique est présente au niveau de chacun des groupes) et éviter les pertes de charge.

Au niveau de la base vie, un réseau de distribution aérien permet de fournir les différents logements, le réfectoire et les bureaux en électricité.

Chaque générateur est associé à un réservoir de carburant dont le volume est adapté aux besoins de l'appareil. Ces stockages sont décrits en détail au *§ 11.1* ci-après.

2.4.2. Unités de pompage et alimentation en eau de l'usine gravimétrique

Le fonctionnement du site ne peut se passer d'eau. Pour cela, celle-ci doit être produite directement sur le site, puisqu'il faut rappeler que Yaou est un lieu isolé au milieu de la forêt, **non relié à un réseau public d'alimentation en eau**.

Actuellement, il existe **3 unités de pompage d'eau superficielle** sur le site de Yaou (*Cf. Figure 14*) :

- un pompage d'eau, constitué de **2 motopompes**, permettant d'alimenter l'usine en routine (circuit fermé). Celui-ci est localisé en contrebas, au nord, de l'actuelle usine gravimétrique, à l'extrémité sud du bassin n°1. Ce pompage permet de réutilisé dans le *process* de l'usine, la part d'eau contenue dans les rejets du traitement gravimétrique une fois qu'elle a été décantée dans les deux bassins mentionnés ;
- une vidange de la fosse A (ancienne fosse d'extraction minière) en cas de fortes pluviométries : ce pompage est constitué d'une **motopompe** au niveau du fond de la fosse et refoulant les eaux dans le bassin n°4.

A terme, le pompage lié au circuit fermé des eaux de fonctionnement de l'usine gravimétrique sera déplacé. **Le futur pompage principal (circuit fermé) de l'usine gravimétrique** sera mis en place

à l'aval du canal de dérivation des eaux de décantation des rejets gravimétriques dont la première surverse de secours est dirigée vers le bassin d'eau claire n°1.
Enfin, il existe **1 pompage dans les eaux souterraines** pour l'alimentation en eau potable et les sanitaires, localisé au nord de la base vie et effectué directement dans la nappe d'un criquot au Nord-Est de la base vie (*Cf. Figure 14*). Celui-ci restera inchangé. Le tableau suivant résume les utilisations et puissances de ces pompes qui seront mises en place :

Appareil	Usage	Débits	Puissance électrique (kW)
Motopompe 1 circuit fermé	Alimentation générale en eau de l'usine gravimétrique	70 m^3/h	80
Motopompe 2 circuit fermé	Alimentation générale en eau de l'usine gravimétrique	70 m^3/h	80
Pompe AEP	Alimentation de la Base vie en eau claire	Au maximum 10 m^3 par jour	0,72
Pompe sanitaires	Alimentation de la Base vie en eau pour sanitaires		2

2.4.3. Maintenance

2.4.3.1. Atelier mécanique, magasin et stockages

Le site de Yaou est équipé d'**un atelier mécanique principal** localisé sur la plate-forme située à l'Ouest de l'Usine et au nord des futures zones de stockage des résidus décyanurés. Cet atelier d'une surface d'environ 400 m² sert aux opérations de soudure, peinture, stockage de pièces mécaniques, entretien et maintenance des engins et véhicules du site (*Cf. Figure 14*). Il est équipé :

- d'1 aire bétonnée pour les véhicules en maintenance et/ou réparation ;
- d'1 espace pour la soudure ;
- d'1 réserve de pneus est installée à proximité de l'usine et de l'atelier ;
- d'1 aire de stockage sur rétention pour les huiles et graisses neuves et usagées ;
- d'1 aire de stockage sur rétention pour les bidons de carburant servant à l'alimentation du groupe électrogène de l'atelier ;
- une partie dite « magasin », d'une superficie de 50 m^2, dédiée au stockage des pièces mécaniques détachées.

D'autres installations annexes liées au ravitaillement en carburant des engins et motopompes sont présentes sur le site :

- à environ 40 m au nord de la base vie : **stockage** sous abris et sur rétention du groupe électrogène de la base vie ;
- à environ 50 m au nord de l'atelier mécanique principal, à flanc de colline : **stockage** sous abris et sur rétention, de l'essence, pour le ravitaillement des quads, et du gasoil, pour le ravitaillement des engins et mise à disposition d'une **aire de ravitaillement** en carburant, étanche, avec récupérateur des égouttures et reliée à un séparateur à hydrocarbures ;
- au point de pompage actuel des eaux d'alimentation de l'usine gravimétrique, au nord, en contrebas de l'usine : **stockage** de carburant servant aux motopompes, sous abris et sur rétention ;
- à côté de l'actuelle usine gravimétrique : **stockage** sous abris et sur rétention d'une citerne de gasoil servant à l'alimentation des groupes électrogènes de l'usine.

Le stockage de carburant associé aux motopompes du circuit fermé de l'usine gravimétrique sera très probablement déplacé, toujours sur le bassin n°1 (futur bassin de décantation à l'aval de la fosse A), comme le point de pompage, pour se rapprocher de la future usine gravimétrique.

De même la citerne de gasoil permettant le ravitaillement des groupes de l'usine sera déménagée avec l'ensemble. Toutefois les conditions de rétention seront maintenues.

3. REFLEXIONS ENGAGEES PAR SMYD/AUPLATA POUR L'AMELIORATION DU TAUX DE RECUPERATION

3.1. TAUX DE RECUPERATION

La société minière AUPLATA et ses filiales exploitent actuellement plusieurs sites miniers de production d'or en Guyane Française : Dieu Merci, Elysée et Dorlin et Yaou. Ces premiers trois sites sont dotés d'une usine de concentration du minerai aurifère et utilisent exclusivement des procédés gravimétriques (broyage puis concentration gravimétrique par centrifugation).

Par traitement gravimétrique, le **taux de récupération moyen de l'or n'est que de 25 à 30 %.**

Par conséquent, **plus de 70 % de l'or se retrouve dans les bassins de rejets**, ce qui représente la principale problématique d'AUPLATA.

SMYD/AUPLATA a donc réalisé des études et travaux dans le but d'améliorer ses résultats d'exploitation (pilote thiosulphate par exemple) et d'atteindre une meilleure récupération et donc un meilleur seuil de rentabilité. Il en résulte que la principale solution identifiée pour résoudre ladite problématique consiste à utiliser un **procédé de cyanuration** pour traiter les rejets actuels et futurs provenant de l'usine de concentration gravimétrique.

Dans le cadre de sa politique industrielle et consécutivement à l'obtention fin 2015 de l'autorisation ICPE pour l'unité industrielle de cyanuration de Dieu Merci après trois années de développement et d'instruction, AUPLATA met en œuvre, depuis début 2016, un plan de transformation stratégique de son modèle économique visant à se concentrer sur le déploiement généralisé de la technique de cyanuration sur l'ensemble de ses sites de production, dont le site SMYD de Yaou.

3.2. PRINCIPE DE LA CYANURATION

Elle fut brevetée au Royaume-Uni par J.S. MacArthur et les frères W. et R.W. Forrest le 19/10/1887. Les premières utilisations de la cyanuration eurent lieu en Nouvelle Zélande, puis sur les minerais du Witwatersrand en 1890. De nombreux minerais, jugés non rentables lorsqu'ils étaient traités par gravité et/ou par amalgamation, le devenaient lorsque l'on appliquait la voie chimique. L'utilisation du charbon actif pour la récupération de l'or mis en solution fut pratiquée à partir de 1952 et permit de s'affranchir des faibles concentrations en or des liqueurs d'attaque, et d'envisager la lixiviation en tas de minerais titrant moins de 2,5 g/t Au.

La cyanuration se déroule en deux étapes :

1. la mise en solution cyanurée de l'or ;
2. l'extraction de l'or à partir de la solution cyanurée.

3.2.1. Mise en solution cyanurée de l'or

Les ions cyanures forment des complexes très stables avec non seulement l'or, mais encore avec l'argent et les autres métaux qui peuvent l'accompagner (Cu, Zn, Ni, Co, ...). Les solutions alcalines de pH > 10 ont l'avantage de favoriser une action de dissolution préférentielle de l'or et de l'argent, sans que l'emploi du cyanure ne présente le danger de formation de gaz toxique (HCN). La mise en solution est une réaction ionique, selon l'équation d'Elsner qui est en général acceptée sous la forme suivante :

$$4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O = 4[AuCN_2]^- + 4HO^-$$

La cinétique réactionnelle dépend de la concentration en NaCN et de l'alcalinité de la solution :

- la concentration en cyanure de sodium doit au moins être de **350 mg/L** ;
- le **pH optimal est de 10,3** (ce pH basique favorise la cinétique de la mise en solution de l'or, mais il empêche également la formation d'HCN, gaz toxique.

La concentration en oxygène dans la solution est également un paramètre important.

Pour que les réactions précédentes aient une cinétique acceptable, industriellement, il faut que :

- ✓ l'or soit libre, sous forme de particules fines présentant des **surfaces propres** ;
- ✓ le minerai ne contienne **pas de substances cyanicides**, ou des impuretés susceptibles de détruire le cyanure ou d'inhiber la réaction de dissolution par fixation de l'oxygène. La passivation de l'or par la formation supposée de formes polymères de AuCN ou la formation d'hydroxyde d'or peuvent être évitées par des sels de plomb ou d'autres métaux lourds, à condition qu'il n'y ait pas formation d'hydroxyde de plomb sur la surface de l'or ;
- ✓ l'**apport d'oxygène** soit assuré pendant tout le temps de la mise en solution. Si nécessaire, l'eau oxygénée peut être utilisée comme vecteur de l'oxygène. Cette méthode a été mise en œuvre dans des usines d'Australie, d'Amérique du Nord et d'Afrique du Sud. Les récupérations ont pu être augmentées de 10 à 20% et les consommations en cyanure réduites de 50 %.

Les minerais qui en général n'offrent pas de difficultés à la **mise en solution cyanurée de l'or** répondent à trois types principaux :

- ✓ les minerais oxydés à or disséminé ;
- ✓ les minerais sulfurés où le métal précieux n'est pas intimement associé aux minéraux sulfurés ;
- ✓ les minerais issus de placers ou de filons contenant de fines particules d'or, dont la surface est importante par rapport à leur masse.

Les rejets gravimétriques de Yaou constituent un minerai secondaire oxydé à or disséminé. La récupération de l'or contenu dans ces rejets par mise en solution cyanurée est donc particulièrement adaptée.

3.2.2. Extraction de l'or de la solution cyanurée

Il existe plusieurs méthodes pour extraire l'or à partir des solutions de lixiviation au cyanure :

- ✓ la cémentation sur poudre de zinc ;
- ✓ l'adsorption sur charbon actif ;
- ✓ l'adsorption sur résines échangeuses d'ions ;
- ✓ l'extraction par solvant.

La cémentation sur poudre de zinc et l'adsorption sur charbon actif sont les principales méthodes utilisées industriellement. Sur le site de Yaou, il est prévu de mettre en place une unité de cyanuration avec extraction de l'or **par adsorption sur charbon actif**, c'est donc le principe de cette méthode qui sera détaillé par la suite.

Le charbon actif est obtenu par carbonisation d'écorce de noix de coco ou de noyaux de pêches, aux environs de 700 à 800°C, en présence de vapeur d'eau. L'adsorption du complexe aurocyanure sur les particules poreuses de charbon actif résulte de la superposition simultanée d'un ensemble de facteurs : la diffusion de l'aurocomplexe dans les pores, l'existence de sites actifs, l'adsorption de l'or sur ces sites.

La qualité du charbon actif est essentielle. Seuls, des essais industriels permettent de faire un choix. De façon générale, les charbons actifs commercialisés doivent répondre aux exigences suivantes :

- ✓ la taille des grains doit se situer dans l'une des deux tranches granulométriques suivantes : [– 6 ; +16] mesh correspondant à [-3 327 ; +981] µm, et [– 12 ; +30] mesh correspondant à [–1 397 ; +535] µm ;
- ✓ une surface spécifique comprise entre 1 050 et 1 150 m2/g ;
- ✓ une masse spécifique égale à 0,85 g/cm^3 ;
- ✓ un pourcentage de vide égal à 40 %, lorsque le produit est tassé dans une colonne.

Cette récupération de l'or à partir d'une solution cyanurée comporte classiquement trois étapes principales :

- ✓ l'étape d'adsorption sur les particules de charbon ;
- ✓ l'étape d'élution (réextraction) : l'or est désorbé par une solution basique de pH > 10 ou, si cela est nécessaire, par une solution concentrée de cyanure à pression atmosphérique ou sous pression ;
- ✓ la récupération de l'or à partir de la solution concentrée par électrolyse ou par cémentation sur de la poudre de zinc.

Trois méthodes d'adsorption sur charbon actif sont couramment employées :

1) **Le charbon en colonne (*Carbon In Column ou CIC*)**.

Le flux de la solution d'aurocyanure est dirigé de bas en haut de la colonne, de sorte que la colonne se dilate verticalement. Le procédé est parfois qualifié de procédé en lit de charbon expansé (*Expanded Carbon Bed).*

2) **Le charbon en pulpe (*Carbon In Pulp*)**.

Ce procédé permet d'extraire l'or sur les particules de charbon, directement à partir de la pulpe cyanurée. Ainsi, après mise en solution cyanurée de l'or, l'adsorption de l'or sur le charbon a lieu à contre courant dans une série de cuves agitées. Les particules de charbon actif chargées en or sont ensuite extraites de la pulpe par simple criblage ou tamisage. Le CIP est bien adapté aux petites comme aux grandes installations. La cinétique est relativement lente (5 à 10 h).

3) **Le « charbon en lixiviation » (*Carbon In Leach ou CIL*)**.

Il diffère du CIP par le fait que la charge de charbon actif est placée directement dans les cuves de lixiviation. Les opérations de dissolution et d'adsorption de l'or se déroulent donc simultanément. On se passe ainsi des cuves d'adsorption présentes en fin de circuit de lixiviation dans le procédé CIP, d'où une économie sur l'investissement. Le procédé permet le traitement des minerais à matière charbonneuse, qui est toujours un problème avec le procédé CIP. **C'est cette méthode qui sera mise en œuvre à Yaou**.

Lors de **l'élution**, les colonnes d'extraction reçoivent la solution d'élution cyanurée préalablement chauffée et le charbon chargé en or, pour en extraire le complexe cyanuré de métaux précieux. On opère dans des colonnes dont la hauteur est 3 à 6 fois le diamètre. Le charbon épuisé est repompé et retourné vers le circuit d'adsorption. Les quantités d'or adsorbées sont de 5 à 7 kg/t de charbon, mais le charbon peut aussi avoir adsorbé des complexes cyanurés de cuivre, de mercure et de zinc.

On distingue deux grandes classes de procédés d'élution :

1) **Les Procédés Zadra-Heinen** :

   Le procédé Zadra au sens strict met en œuvre une solution titrant 1 % NaOH et 0,1 % NaCN, à environ 100°C, sous pression atmosphérique. La durée de l'élution est de l'ordre de 50 à 70 h, pour obtenir un charbon épuisé. Le procédé n'est pas attractif pour de petites installations.

   Le procédé Zadra modifié met en oeuvre une solution semblable sous une pression de 690 kPa à une température de 148°C. L'utilisation de la pression diminue considérablement la durée d'élution.

2) **Le procédé Heinen** utilise un éluant titrant 1 % NaOH et 20 % en volume d'éthanol, soit à la pression atmosphérique et à 77°C, soit sous une pression de 240 à 275 kPa. D'autres alcools peuvent être utilisés pour éviter les dangers d'incendie en employant l'éthanol : les glycols sont ininflammables, mais les vapeurs d'éthylèneglycol sont nocives. Leur limite (50 ppm dans l'air) nécessite une aération efficace, de sorte que son emploi présente un coût deux fois supérieur à celui de l'éthanol.

Dans tous les cas, le volume de la solution éluante doit être relativement faible pour des raisons économiques.

Sur l'éluat, on opère l'électrolyse directe ou la précipitation au zinc.

3.2.3. Production du métal par électrolyse à partir de la solution d'élution

L'électrolyse directe extrait l'or à partir d'une solution d'élution titrant de 150 à 2 000 ppm d'Au. Le rendement approche 100% pour quelques dizaines de ppm. La cathode est constituée d'un métal conducteur, à surface développée, ayant une conductivité élevée et une bonne tenue mécanique. L'anode est généralement en acier inoxydable afin de résister à l'oxydation. Dans certaines dispositions, les parois de la cellule peuvent servir d'anode ; dans d'autres cas, l'anode est une plaque perforée. Les anodes alternent avec les cathodes.

3.3. PROCEDE DE CYANURATION ENVISAGE SUR LE SITE DE YAOU

Le projet retenu consiste à construire une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère par cyanuration (UMTMA) à Yaou, site minier important de SMYD. Le procédé de cyanuration qui sera employé sera le **procédé de charbon en lixiviation** (CIL; « Carbon in Leach »).

3.3.1. Origine des matériaux à retraiter

Cette UMTMA permettra de retraiter les rejets issus des précédents traitements gravimétriques et actuellement stockés dans 3 bassins échelonnés dans la vallée d'axe Nord-Sud, à l'Est de l'actuelle usine de traitement gravimétrique (*Cf. Figure 2 p 13 et Figure 4 p 17*). Dans chacun de ces bassins, les rejets sont retenus par une digue.

D'amont en aval, ces bassins de rejets sont désignés comme suit (*Cf. Figure 4*) :

- bassin n°2 : élévation de 106 à 120 mètres NGG ;
- bassin n°3 : élévation de 107 à 120 mètres NGG ;
- bassin n°4 : élévation de 103 à 116 mètres NGG.

A terme, et une fois ces bassins rejets, la partie du minerai extrait sur les futurs fosses, faiblement concentré en or (< 3 g/t), sera également traitée sur l'UMTMA.

3.3.2. Destination des produits en sortie d'UMTMA

Les rejets présents dans ces bassins seront **repris et transportés dans la nouvelle UMTMA**, où ils seront traités pour en extraire l'or. L'UMTMA utilisera le **procédé de charbon en lixiviation** (CIL; « Carbon in Leach »). Les résidus de l'UMTMA seront soumis à un procédé de **destruction des cyanures**, afin d'abaisser la teneur en cyanures et en métaux solubles à un niveau acceptable pour l'environnement. Après cette opération, ils seront dirigés vers des zones dédiées au stockage des **résidus ultimes décyanurés**.

Le produit final de l'usine sera la boue métallique issue du lavage des cathodes de la cellule électrolytique. La boue aurifère sera en suite séchée et affinée par fusion pour produire des lingots de doré vendus à un comptoir de commercialisation.

3.3.3. Destruction des cyanures par le procédé SO_2/air ou INCO

Les résidus de cyanuration obtenus lors des essais de cyanuration réalisés par l'URSTM (Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale, Université de Rouyn-Noranda, Quebec) ont été soumis à des essais de destruction des cyanures par la **méthode SO_2/air ou INCO**.

Cette méthode est reconnue mondialement comme étant la plus efficace pour détruire les cyanures dans les résidus en pulpe (mélange d'eau et de roche broyée) des usines de concentration de minerai d'or (Demopoulos et Cheng, 2004). Elle peut être utilisée sur les solutions et sur les pulpes.

La technologie utilise généralement du dioxyde de soufre gazeux ou des substituts sous différentes formes : sulfite de sodium, métabisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$), SO_2 liquide ou SO_2 gazeux à partir de combustion de soufre élémentaire.

Le processus de destruction des cyanures implique les équations suivantes :

$$CN^- + SO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow OCN^- + H_2SO_4$$

Dans la réaction suivante, le SO_2 est substitué par le métabisulfite de sodium :

$$CN^- + ½\ Na_2S_2O_5 + O_2 + ½\ H_2O \rightarrow ½\ Na_2SO_4 + OCN^- + ½\ H_2SO_4$$

Le cyanate (CNO) est un produit intermédiaire, qui s'hydrolyse ensuite en carbonate et en ammoniac, selon la réaction suivante :

$$OCN^- + H^+ + 2\ H_2O \rightarrow HCO_3 + NH_4^+$$

Tel qu'illustré précédemment, l'oxydation du cyanure produit un cyanate (OCN^-) et également un peu d'acide sulfurique. Conséquemment, le pH tend à s'abaisser en cours de réaction et le maintien du pH au niveau souhaité doit être régulé par ajout de chaux hydratée $Ca(OH)_2$. À ce niveau de pH, l'acide sulfurique réagit avec la chaux hydratée selon la réaction suivante :

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 * 2H_2O$$

Le procédé SO_2/Air oxyde les cyanures libres (CN^-) et tous les complexes cyanurés avec les métaux suivants : cuivre, nickel, zinc, argent et cadmium. Ce procédé exige un ajout d'ions solubles de cuivre (Cu^{2+}), qui agit ici comme catalyseur de la réaction. Le sulfate de cuivre ($CuSO_4\ 5H_2O$) est normalement utilisé comme source de cuivre, à moins que la pulpe à traiter en contienne déjà suffisamment.

À mesure que le cyanure est oxydé, les métaux complexés avec lui se libèrent et sont ensuite précipités sous forme d'hydroxydes, selon l'une ou l'autre des réactions suivantes :

$$Me^{+} + OH^{-} \rightarrow MeOH$$

$$Me^{2+} + 2\ OH^{-} \rightarrow Me(OH)_2$$

Les complexes cyanurés sous forme de complexes forts (Fe, Co ou Au) ne sont pas oxydés par le procédé SO_2/Air. Les complexes cyanurés d'or sont généralement récupérés dans le procédé et ne posent pas de problèmes à ce niveau. L'élimination des complexes cyanurés de fer et de cobalt se fait par précipitation avec le cuivre ou le zinc, en fonction de l'une ou l'autre des réactions suivantes :

$$2\ Me^{+} + Fe(CN)_6^{-4} \rightarrow Me_2Fe(CN)_6$$

$$2\ Me^{2+} + Co(CN)_6^{-4} \rightarrow Me_2Co(CN)_6$$

Généralement, le procédé SO_2/Air possède une meilleure efficacité dans la plage de pH comprise entre 8 et 9. Les essais de laboratoire permettent normalement de préciser le pH optimal.

L'Annexe 1 et l'Annexe 4 fournissent des références techniques sur ce procédé

4. PROCEDE ET EQUIPEMENTS ASSOCIES A L'UMTMA

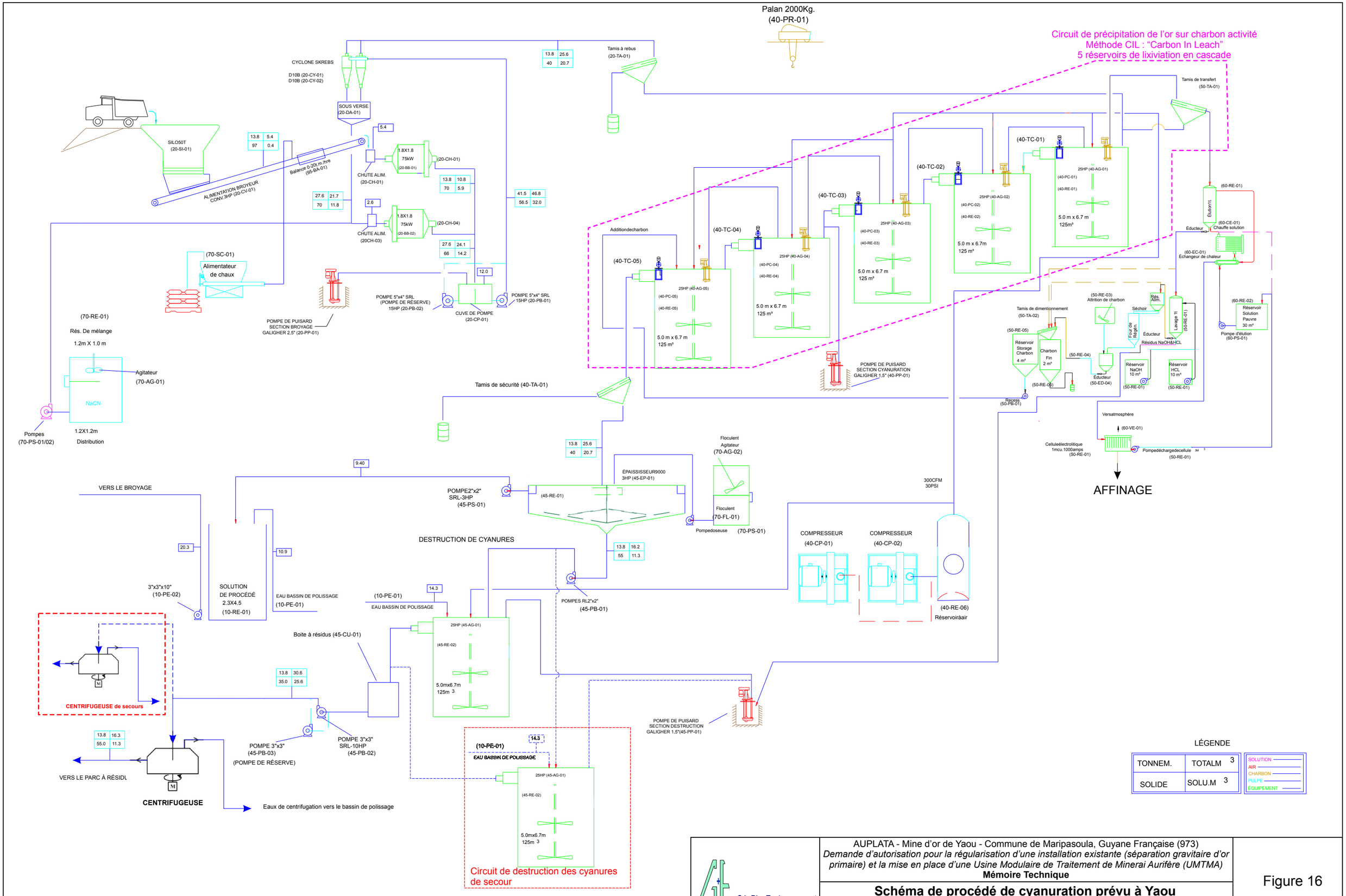
En plus des procédés de traitement gravimétrique déjà en place et qui continueront d'être appliqués tels que décrits au *§ 2*, une unité supplémentaire sera créée afin de permettre la récupération de l'or très fin présent dans les bassins de rejets gravimétriques actuels et irrécupérable par voie gravimétrique (soit 70 % environ de l'or présent dans le minerai en entrée d'usine gravimétrique) et l'or primaire présent dans le minerai faiblement concentré qui sera extrait sur les fosses.

Cette **Unité Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)** mettra en œuvre un procédé de traitement classique de type CIL (« Carbon In Leach » ou charbon en lixiviation).

Le schéma de procédé de l'UMTMA est présenté sur la *Figure 16*.

4.1. CONCEPTION DE L'UMTMA

La nouvelle UMTMA, qui complétera l'usine gravimétrique existante, aura une **capacité de traitement de 330 tonnes par jour sur 300 jours/an**. Les rejets de l'usine gravimétrique stockés dans les bassins 2, 3 et 4 seront entièrement repris et soumis à la cyanuration directe, avec précipitation de l'or sur du charbon activé (méthode CIL : « Carbon in Leach »).



AUPLATA - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

Schéma de procédé de cyanuration prévu à Yaou
(voire figure suivante pour la référence des équipements)

Source : SMYD - AUPLATA

GéoPlusEnvironnement

Figure 16

	Équipements		Capacité /
	Description:	kW	Dimension
Section # 10 alimentation d'eau:			
10-PE-01	Pompe pour eau fraîche	15.00	Flight 2140
	H.G. avec moteur		
10-RE-01	Réservoir d'eau de procédé		2300 X 4500
10-PE-02	Pompe d'eau de procédé	7.50	3" x 3" x 14" 1485
10-PE-03	Pompe d'eau pour éducteur et gland de pompe	7.50	2" x 1-1/2" x 10" 1735
Total alimentation d'eau:		**30.00**	
Section # 20 Broyage:			
20-S I-01	Silo à minerais, blindé avec de la plaque résistant à l'usure		50 Tonnes
20-CV-01	Convoyeur alimentation Broyeur primaire	7.50	600 X 12 000 long
20-CH-01	Chute d'alimentation		
20-CH-03	Chute d'alimentation		
20-CP-01	Cuve de pompes alimentation des cyclones		1,50 m3
20-PB-01	Pompe d'alimentation des cyclones, SRL-C	11.25	125 X 100 V.V.
	complète avec moteur		
20-PB-02	Pompe d'alimentation des cyclones, SRL-C	11.25	125 X 100 V.V.
	complète avec moteur		
20-CY-01	Cyclone Kreb		D10B
20-CY-02	Cyclone Kreb		D10B
20-BB-01	Broyeur à boulets/moteur et blindage	75.00	1,8m X 1,8m
20-BB-02	Broyeur à boulets/moteur et blindage	75.00	1,8m X 1,8m
20-CH-02	Chute de décharge du broyeur à boulets		---
20-Ch-04	Chute de décharge du broyeur à boulets		---
20-DA-01	Dalles de sortie des cyclones souverse		selon dessin
20-TA-01	Tamis vibrant à rebus	2.25	,6 X 1,2
20-PB-03	Pompe d'alimentation d'épaississeur ou lixiviation	7.50	75mm X 75mm 1485 tpm
20-PB-04	Pompe d'alimentation d'épaississeur ou lixiviation	7.50	75mm X 75mm 1485 tpm
20-PP-01	Pompe de puisard, complète avec moteur - SALA	5.60	60mm - 1085 tpm
	VASA G 234 (zone broyeur)		
Total Broyage:		**202.85**	

	Équipements		Capacité /
	Description:	kW	Dimension
Section # 45 destruction de cyanures/ Épaississeur:			
45-EP-01	Épaississeur, mécanisme, moteur et valves	2.25	Mécanisme/râteaux
45-RE-01	Réservoir		9,0m dia. 3,6m
45-PB-01	Pompe souverse épaississeur vers la destruction de	2.25	50 X 50 SRL V.V.
	cyanure ou la lixiviation avec moteur		
45-PS-01	Pompe surverse épaississeur vers le réservoir	2.25	50 X 50 SRL V.V.
	d'eau de procédé avec moteur		
40-PP-01	Pompe de puisard, complète avec moteur - SALA	5.60	60mm - 1085 tpm
	VASA G 234 (zone broyeur)		
45-AG-01	Agitateur de destruction de cyanure		
45-RE-02	Réservoir de destruction de cyanure		
45-PB-02	Pompe alimentation destruction de cyanure (SRL)	3.75	75mm X 75mm 1485 tpm
45-PB-03	Pompe alimentation destruction de cyanure (SRL)	3.75	75mm X 75mm 1485 tpm
45-CU-01	Cuve de pompe à rejets		0,75 m3
45-PB-04	Pompe pour rejets (SRL)	7.50	75mm X 75mm 1485 tpm
45-PB-05	Pompe pour rejets (SRL)	7.50	75mm X 75mm 1485 tpm
	Centrifugeuses	2x75	
Total: Destruction de cyanures/ Épaississeur:			
Secteur # 50Traitement du charbon:		**34.85**	
50-TA-01	Tamis de transfert	2.25	,6 X 1,2
50-RE-02	Vaisseau de lavage à l'acide c/a tamis		1,0 tonnes fibre
50-ED-01	Éducteur		S.S 50mm
50-FR-01	Four à régénération complet à l'huile	0.50	25 kilos/heure
50-RE-03	Réservoir d'attrition		1,5m³
50-AG-01	Agitateur d'attrition	0.05	
50-RE-04	Réservoir Quench		1,0m³
50-ED-02	Éducteur de transfert de charbon		Acier 50mm
50-TA-02	Tamis vibrant de classification de charbon	2.25	,6 X 1,2
50-RE-05	Réservoir d'entreposage de charbon		1,5m³
50-RE-06	Réservoir de charbon fin		1,5m³
50-PB-01	Pompe à charbon SRL	2.25	50mm X 50mm
50-PR-01	Pont roulant	1.50	2 tonnes
Total # 60 Traitement du charbon		**8.80**	

	Équipements		Capacité /
	Description:	kW	Dimension
Section # 40 Lixiviation:			
40-AG-01	Agitateur, complet avec mécanisme d'agitation,	18.80	
	d'aération et moteur		Hélice 2 300
40-TC-01	Tamis statique (Kemex)		Capacité débit 50m³/hr
40-RE-01	Réservoir d'acier c/a plateformes		5.5m x 6,7m 158m³
40-PC-01	Pompe de transfert de charbon	2.25	38mm
40-AG-02	Agitateur, complet avec mécanisme d'agitation,	18.80	
	d'aération et moteur		Hélice 2 300
40-TC-02	Tamis statique (Kemex)	2.25	Capacité débit 50m³/hr
40-RE-02	Réservoir d'acier c/a plateformes		5.5m x 6,7m 158m³
40-PC-02	Pompe de transfert de charbon	2.25	38mm
40-AG-03	Agitateur, complet avec mécanisme d'agitation,	18.80	
	d'aération et moteur		Hélice 2 300
40-TC-03	Tamis statique (Kemex)	2.25	Capacité débit 50m³/hr
40-RE-03	Réservoir d'acier c/a plateformes		5.5m x 6,7m 158m³
40-PC-03	Pompe de transfert de charbon	2.25	38mm
40-AG-04	Agitateur, complet avec mécanisme d'agitation,	18.88	
	d'aération et moteur		Hélice 2 300
40-TC-04	Tamis statique (Kemex)	2.25	Capacité débit 50m³/hr
40-RE-04	Réservoir d'acier c/a plateformes		5.5m x 6,7m 158m³
40-PC-04	Pompe de transfert de charbon	2.25	38mm
40-AG-05	Agitateur, complet avec mécanisme d'agitation,	18.80	
	d'aération et moteur		Hélice 2 300
40-TC-05	Tamis statique (Kemex)	2.25	Capacité débit 50m³/hr
40-RE-05	Réservoir d'acier c/a plateformes		5.5m x 6,7m 158m³
40-PC-05	Pompe de transfert de charbon	2.25	38mm
40-TA-01	Tamis de sécurité	2.25	,6 X 1,2
40-PP-01	Pompe de puisard, complète avec moteur - SALA	3.75	38mm - 1085 tpm
	VASA G 234 (zone broyeur)		
40-CP-01	Compresseur	55.00	8,5m³ minute 200 kPa
40-CP-02	Compresseur de réserve	55.00	8,5m³ minute 200 kPa
40-RE-06	Réservoir à air		2300 litres
40-PP-01	Pompe de puisard, complète avec moteur - SALA	5.60	60mm - 1085 tpm
	VASA G 234 (zone broyeur)		
Total Lixiviation:		**235.93**	

	Équipements		Capacité /
	Description:	kW	Dimension
Désorption/Électrolyse/Affinage:			
60-RE-01	Vaisseau d'élution		1 000 kilos
60-CE-01	Chauffe eau	150.00	
60-EC-01	Échangeur de chaleur		7m² surface X 2
60-PS-01	Pompe d'élution	2.25	3m³/hr
60-RE-02	Réservoir de solution pauvre		15m³ 2500 x 3500
60-CE-01	1 cellule électrolytique		1,0m³
60-CE-01-B	1 redresseur de courant 200 A	15.00	
60-VE-01	Ventilateur	2.25	
60-PA-01	Palan au dessus de la cellule	0.50	1 tonne
60-PS-03	Pompe de décharge de la cellule	0.75	3m³/hr
60-PN-01	Panne pour lavage de cathodes		
60-SC-01	Séchoir pour le concentré	7.50	
60-VE-01	Ventilation	2.25	c/a tuyauterie
Total Désorption/Électrolyse/Affinage		**181.60**	**NON INCLUS**
Secteur # 70 Distributeur à réactifs:			
70-SC-01	Système de distribution de chaux	1.00	Capacité de 6 poches
70-AG-01	Agitateur floculant	1.10	300mm
70-FL-01	Réservoir floculant		1,5m³ double
70-PM-01	Pompes de distribution		Doseuse
70-AG-02	Agitateur NaOH	1.10	300mm
70-RE-02	Réservoir NaOH		1,5m³ double
70-PS-02	Pompe de distribution NaOh	0.75	Magnétique 1"
70-RE-03	Réservoir acide HCL		3,0m³ fibre de verre simple
70-PS-03	Pompe de distribution d'acide	0.75	Magnétique 1"
70-AG-04	Agitateur sulfate de cuivre		300mm
70-RE-04	Réservoir sulfate de cuivre		1,5m³ fibre de verre double
70-PS-04	Pompe de distribution sulfate de cuivre	0.75	Doseuse
70-AG-05	Agitateur métabisulfite		300mm
70-RE-05	Réservoir métabisulfite		1,5m³ fibre de verre double
70-PS-05	Pompe de distribution nétabisulfite	0.75	Doseuse
70-RE-06	Réservoir Cyanure		1,5m³ double
70-AG-06	Agitateur de cyanure	1.10	300mm
70-PS-06	Pompes de distribution de cyanure	0.50	Doseuse
70-PS-06-B	Pompes de distribution cyanure	0.50	Doseuse
70-PP-01	Pompe de puisard, complète avec moteur - SALA	1.50	38mm - 1085 tpm
	VASA G 234 (zone broyeur)		
Total Distribution de Réactifs		**9.80**	

GéoPlusEnvironnement

AUPLATA - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

Références des équipements de l'UMTMA

Source : AUPLATA

Figure 16

L'UMTMA est conçue pour fonctionner 24 heures par jour et 300 jours par année. Afin d'atteindre l'objectif de 300 tonnes usinées par jour en moyenne annuelle, sa capacité a été établie à 13,9 tonnes à l'heure (330 t/j à raison de 300 j/an). À un taux de disponibilité de 90 % (en tenant compte des bris et des entretiens programmés), elle atteindra cet objectif :

$$13{,}9\frac{tonnes}{heure}\ x\ 24\frac{heures}{jours}\ x\ 90\% = 300\ \frac{tonnes}{jour}$$

Pour une teneur moyenne d'alimentation de 4 g/t Au (la teneur des rejets) et un taux de récupération de 95 %, l'usine produira environ 380 kg d'or supplémentaires par année :

$$330\frac{tonnes}{jour}\ x\ 300\frac{jours}{année}\ x\ 4\frac{g}{t}\ Au\ x\ 95\% = 380\ \frac{kg}{année}$$

Les critères de conception détaillés de l'UMTMA sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 8 : Critères de conception de l'UMTMA

Élément du procédé	Quantité et unité
Trémie de rejets	50 tonnes
Capacité l'usine	330 tonnes/jour à raison de 300 jours/an
Taux d'humidité des rejets gravimétriques	14 %
Capacité d'usinage	13,8 tonnes/heure
Granulométrie de l'alimentation	28 % <75 microns
Teneur en or des rejets gravimétriques	4 g/tonne
Charge circulante	200 %
Indice de broyabilité à 28 % < 75µ	14,0 kWh/tonne
Finesse du produit final	P80 = 80 µm
Lixiviation (densité de la pulpe)	40 % solide
Temps de lixiviation	24,0 heures
Concentration du charbon en pulpe	±15 g/litre
Taux de récupération de l'or	95 %
Teneur en or du charbon chargé d'or	±4,7 kg/tonne
Capacité du réservoir d'élution	1,0 tonne
Temps d'élution	12,0 heures à un débit de 3 m^3/heure
Capacité du four de régénération du charbon	4,0 kilos/heure
Capacité de l'épaississeur	0,19 m^2/tonne/jour
Destruction de cyanures, procédé SO_2/Air (densité de la pulpe)	55 % solide en entrée, 30-40% en sortie
Temps de rétention dans le réservoir de destruction de cyanure	160 min

La *Figure 2* montre l'arrangement général de l'UMTMA pour la mine de Yaou. Cette nouvelle unité occupera une superficie d'environ 2 000 m^2 (le bâtiment de l'UMTMA, à lui seul, fait 52 mètres de longueur par 33 mètres de largeur).

Les groupes électrogènes, la station électrique et les transformateurs seront situés à proximité de l'UMTMA, mais à l'extérieur de la future zone sur rétention qui ne concerne que les unités chimiques.

4.2. DESCRIPTION DU PROCEDE DE CYANURATION

Les étapes de préparation de la pulpe cyanurée, de lixiviation, de lavage, de régénération du charbon, d'élution, d'électrolyse et de destruction des cyanures auront lieu à l'intérieur de l'UMTMA. L'étape d'affinage aura lieu dans la future Goldroom qui sera mise en place sur le site de Yaou.

4.2.1. Préparation de la pulpe cyanurée

Selon leur compacité et leur teneur en eau, les anciens rejets seront soit directement pompés, soit remobilisés puis pompés jusqu'à l'UMTMA, soit repris à la pelle et acheminés par tombereaux jusqu'à l'UMTMA.

Le minerai primaire faiblement concentré (< 3 g/t) sera repris à la pelle sur les plateformes de stockage et acheminé par tombereaux jusqu'à l'UMTMA.

Quelque soit leur origine, les rejets seront déversés dans un silo de 50 T de capacité alimentant **le circuit de broyage** via un alimentateur à bande à vitesse variable. Le circuit de broyage sera constitué de 1 **broyeurs à boulets** et de 1 cyclones.

La décharge des deux broyeurs sera mélangée avec de l'eau pour obtenir la densité requise, puis pompée dans le cyclone. Le cyclone permettra de sélectionner la granulométrie requise du minerai en pulpe qui sera ensuite acheminée vers le circuit de lixiviation.

Les rejets ainsi broyés auront une granulométrie inférieure à **80 µm**, et seront mis en pulpe par ajout d'eau. De la **chaux** aura préalablement été ajoutée au mélange, au niveau de l'alimentation du broyeur, pour faire monter le **pH** de la pulpe.

L'épaississeur est conçu et installé à l'intérieur de l'UMTMA de façon à pouvoir être utilisé avant la lixiviation ou avant la destruction des cyanures. La quantité de particules fines peut varier considérablement dans l'alimentation en minerai et causer un problème de contrôle de la densité dans les cyclones. Dans ce cas, on devra utiliser l'épaississeur pour corriger la situation.

Une pompe à vitesse variable est installée à la sousverse de l'épaississeur pour contrôler la densité de la pulpe. Si cette mesure ne suffit pas, du floculent peut également être ajouté afin d'obtenir la densité de pulpe voulue. D'autre part, une pompe installée à la surverse de l'épaississeur récupère la solution cyanurée et la retourne au système de broyage.

4.2.2. Lixiviation

Le circuit de charbon en lixiviation comportera 5 cuves installées en cascade, afin de permettre un écoulement par gravité de l'une dans l'autre. Chaque réservoir sera muni d'un agitateur à hélices pour maintenir la pulpe en suspension et la distribution du charbon uniformément et d'un tamis rotatif pour laisser passer la pulpe et empêcher le charbon de transférer de réservoir en réservoir en cascade.

La lixiviation de l'or s'effectue par ajout de cyanure de sodium en solution dans le circuit de broyage, ainsi que dans le premier réservoir de lixiviation. La concentration de cyanure sera maintenue initialement à environ 500 ppm. Cette concentration pourrait être réduite après la période de rodage. Le pH est contrôlé entre 11,5 et 12,0 par ajout de chaux, sous forme solide, sur le convoyeur qui alimente le broyeur primaire.

De l'air comprimé à basse pression est injecté, à travers l'arbre des agitateurs, dans la pulpe des réservoirs de lixiviation afin de favoriser la dissolution de l'or. Quant aux agitateurs, ils ont pour

fonctions de favoriser l'oxygénation, de maintenir la pulpe en suspension et d'assurer une distribution uniforme du charbon dans la pulpe.

L'or en solution est adsorbé sur le charbon activé (écale de noix de coco) en concentration d'environ 15 grammes par litre de pulpe dans les réservoirs. Cette concentration de charbon doit permettre un taux de récupération de l'or en solution supérieur à 99 % pour cette étape.

Le charbon activé, lorsqu'il atteint une charge d'or préétablie, est transféré à contre-courant (du réservoir n 8 jusqu'au réservoir n 1) par une pompe centrifuge submersible installée dans chacun des réservoirs. À la sortie du réservoir n 1, le charbon chargé d'or (environ 150 onces par tonne) circule à travers un tamis pour en retirer la pulpe et le laver avant d'être acheminé dans le réservoir d'élution.

4.2.3. Elution et électrolyse

Pour des raisons de sécurité, les opérations d'électrolyse et d'affinage seront effectuées dans une salle séparée du reste du procédé.

L'élution du charbon chargé d'or s'effectue à l'aide d'une solution de cyanure de sodium (concentration de moins de 0,1 %) et de soude caustique (concentration d'environ 2,5 %). L'élution se fait sous une pression de 550 kPa et à une température de 140°C, dans un réservoir en acier inoxydable.

La solution à haute teneur en or est acheminée vers la cellule électrolytique où l'or se plaque sur des cathodes en acier inoxydable après avoir traversé deux échangeurs de chaleur, pour en abaisser la température sous le point d'ébullition.

Le réservoir d'élution et la cellule électrolytique sont en circuit fermé en passant par les réservoirs de solution riche et de solution pauvre. Par conséquent, la solution utilisée pour l'élution se contamine graduellement en métaux lourds et en carbonate de calcium. Après chaque élution, il est donc nécessaire de saigner de 10 à 15 % de la solution vers le circuit de broyage et de la remplacer par de l'eau fraîche afin de la régénérer.

La solution du réservoir de solution pauvre re-circule à travers le réservoir d'élution et de la cellule électrolytique jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus que de faibles concentrations d'or.

Les cathodes sont retirées de la cellule électrolytique et lavées avec de l'eau. Les boues métalliques aurifères résultant de ce lavage seront séchées, mélangées avec des fondants appropriés et affinées pour en produire des lingots de doré.

Le descriptif technique théorique de l'étape d'élution est précisé en ***Annexe 3***.

4.2.4. Lavage du charbon

Lors du procédé de cyanuration, il peut arriver que les surfaces actives du charbon se chargent en polluants inorganiques (hydroxydes métalliques, carbonate de calcium, hexacyanoferrate ($^{II}Fe(CN)_6$) ou silice), bloquant ainsi les sites d'adsorption des complexes auro-cyanures, diminuant d'autant l'efficacité du charbon actif.

Un lavage du charbon avec de l'acide chlorhydrique (concentré à environ 5%) suivi d'une de neutralisation avec une solution de soude caustique pourra ainsi s'avérer nécessaire. La solution d'acide chlorhydrique permet de dissoudre instantanément 70 à 90% des polluants inorganiques adsorbés sur le charbon actif (*Cf. Annexe 3, p 12*).

Le lavage s'effectuera dans un réservoir prévu à cet effet. Ce réservoir sera fabriqué en fibre de verre, pour éviter le problème de corrosion par l'acide chlorhydrique.

4.2.5. Régénération du charbon

Une autre source de pollution du charbon sont les matières organiques qui peuvent également s'adsorber sur la surface active du charbon. Ces polluants organiques sont issus de toutes les matières organiques utilisées dans l'usine (huiles, graisses, réactifs de laboratoire…).

L'élimination de ces composés se fait par chauffage lors de l'étape de régénération du charbon :

- séchage à des températures à 200°C ;
- vaporisation des polluants organiques volatiles entre 200 et 500°C ;
- craquage thermique des polluants organiques non volatiles entre 500 et 700°C ;
- vaporisation des résidus de craquage à 750°C.

Le descriptif technique théorique de l'étape de régénération du charbon est fourni en *Annexe 3, p 13 à 18*.

La régénération du charbon s'effectuera dans un four rotatif chauffé à l'huile, d'une capacité de 4 kilogrammes à l'heure. Ce four rotatif est de type mobile, monté sur une structure dont tous les éléments sont pré assemblés.

Les complexes cyanurés auront été préalablement désorbés de la surface du charbon lors de l'étape précédente de lavage à l'acide chlorhydrique. Ainsi **aucune trace de cyanure ne sera présente lors de l'étape de régénération du charbon**.

De plus les gaz qui s'échappent du four sont utilisés pour assécher le charbon qui se prépare à entrer dans le four. En ce qui concerne les possibles contaminants dans les gaz, ils seront majoritairement absorbés par le charbon.

Le système de récupération d'impuretés de l'émanation des gaz du four de régénération (composés organiques volatiles notamment) permettra également de piéger le mercure éventuellement présent.

4.2.6. Ajout de charbon en cours d'opération

Du charbon devra être ajouté dans le circuit de lixiviation afin de remplacer le charbon chargé d'or. Afin de maintenir la concentration de charbon constante dans les réservoirs de lixiviation, il sera nécessaire d'ajouter soit du charbon récupéré directement suite à l'élution, soit du charbon lavé et régénéré, soit du charbon frais.

Le charbon ajouté dans le circuit de lixiviation sera transféré par une pompe du réservoir de stockage de charbon au réservoir de lixiviation numéro 5. Avant son arrivée dans le réservoir de stockage, le charbon a préalablement été calibré à l'aide d'un tamis vibrant installé à cet effet.

4.2.7. Destruction des cyanures

Le traitement prévu pour la pulpe cyanurée est le **procédé SO_2/air** (*Cf. § 3.3.3, p 48,* Annexe *1 et Annexe 2*). La pulpe sortant du dernier réservoir de lixiviation sera transférée dans un réservoir ventilé, muni d'un couvercle et situé dans l'UMTMA. Dans ce réservoir agité, seront ajoutés du sulfate de cuivre, du métabisulfite de sodium et de l'air injecté dans l'arbre de l'agitateur.

La réaction de destruction des cyanures se développe en présence de cuivre soluble qui agit comme catalyseur. Le pH requis varie entre 8,0 et 9,0 ce qui nécessite l'apport de soude pour neutraliser les ions hydrogènes produits. L'oxydation produit des ions cyanates (CNO^-) et les ferrocyanures présents (réaction entre le minerai et le cyanure) se transforment en complexes fort de ferrocyanures.

Les réactions qui se produisent peuvent être décrites comme suit :

$$Na_2S_2O_5 + 2O_2 + H_2O + 2CN^- \rightarrow 2\ CNO^- + 2NaHSO_4$$

$$Cu^{2+} + Fe(CN)_6^{4-} \rightarrow Cu_2Fe(CN)_6$$

Pendant la période d'ajustement du procédé, avant que le dosage des réactifs (métabisulfite, sulfate de cuivre et injection d'air) soit bien établi, du **peroxyde d'hydrogène** (concentration 50%, **procédé DEGUSSA,** *Cf. Annexe 4*) sera préalablement ajouté, afin d`'abaisser la teneur en cyanure de la pulpe et en métaux lourds à un niveau conforme à la réglementation, avant son rejet dans le parc à résidus ultimes.
Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant puissant permettant de détruire les cyanures plus rapidement selon la réaction :

$$H_2O_2 + CN^- = H_2O + CNO^-$$

Ainsi les résidus à stocker ne contiendront que de **faibles quantités de cyanures non solubles, sous forme de complexes forts en très grande majorité** (éventuelles traces de cyanures libres et d'ions cyanates).

Dans le cadre des études préalables à ce projet, des essais minéralurgiques qui comprenaient des tests d'élimination des cyanures par le procédé SO_2/air ont été effectués (*Cf. Annexe 2*) :

- pour de faibles rapports SO_2/cyanures dissociables (9,65 et 12,3), les teneurs en cyanures ont été réduites de 199 à 52 ppm (essai DM-1) et de 212 à 15 ppm (essai DM-2). Ces résultats dépassent donc les seuils de la norme française de 10 ppm pour les résidus qui seront dirigés vers les parcs à résidus ultimes ;
- pour un rapport SO_2/CNd plus élevé (21,9) et un pH de 8,05, la teneur en cyanures disponibles a été abaissée de 265 à 3,05 ppm (essai DM-4) ;
- **les meilleurs résultats ont été obtenus pour des rapports SO_2/CNd élevés et des pH élevés (8,20 et 8,75).** Pour ces conditions, les **teneurs en cyanures** disponibles ont été réduites de 212 à **0,29 ppm** (essai DM-3) et de 265 **à 0,35 ppm** (essai DM-5). Pour ce dernier essai, la teneur en cyanures totaux s'élevait à **1,67 ppm.**
- L'application de rapports SO_2/CNd élevés à des pH élevés permet donc d'obtenir des teneurs en métaux largement inférieures aux seuils réglementaires français, comme illustré dans le tableau ci-après :

Eléments	Concentration (ppm) après traitement SO_2/Air	Seuil à appliquer pour un stockage en Installation de stockage de déchets inertes (en mg/kg de matière sèche, sur lixiviat, Arrêté du 28/10/10)
As	0,01	0,5
Cu	0,24	2
Fe	0,07	-
Ni	0,01	0,4
Pb	<0,0003	0,5
Zn	<0,001	400 à 1600

Les derniers essais réalisés par SGS au Chili ont permis d'évaluer la **concentration en cyanures de l'effluent aqueux final** après destruction des cyanures dans les résidus : **cyanures totaux<0,1 mg/L, cyanure à acide facilement dissociable (CNwad)<0,1 mg/L, cyanures libres<0,07 mg/L)**.

L'application du procédé SO_2/Air aux résidus cyanurés de Yaou permettra de réduire les concentrations en cyanure et en métaux dans les résidus de cyanuration à des niveaux acceptables et à un seuil inférieur ou égal à la norme française de 10 ppm en cyanures facilement libérables (Arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets non inertes et non

dangereux issus de l'industrie extractive, limite de rejet en cyanures facilement libérables au point de déversement des résidus dans un bassin).

Ce procédé permettra également d'atteindre des **concentrations en cyanures totaux dans l'effluent aqueux final inférieures au seuil réglementaire de 0,1 mg/L** (Arrêté du 2 février 1998).

La décyanuration se fera en continu. Par mesure de sécurité, **le circuit de destruction des cyanures sera doublé** (respect des meilleures techniques disponibles sur la gestion des stériles et résidus des activités minières).

4.2.8. Epaississement des résidus décyanurés

Une fois les cyanures détruits ou complexés, **la pulpe décyanurée sera épaissie puis éventuellement centrifugée,** ce qui permettra d'abaisser son **humidité résiduelle à 30-40%** (autrement dit, une teneur en matières solides de 60-70 %). Le système d'épaississeur mis en œuvre sera de type « paste thickenner » illustré dans la *Figure 17* et en *Annexe 5*.

La fraction claire (liquide) récupérée, comprenant des traces éventuelles de cyanures libres, d'ions cyanates (CNO^-) et de cyanures faiblement complexés, sera intégralement recyclée dans le circuit de cyanuration.

Les résidus décyanurés épaissis et éventuellement centrifugés auront ainsi la consistance d'une pâte, se rapprochant de la texture du dentifrice, et non plus de boues comme habituellement. Ils seront déversés directement sur les zones de stockage ou pourront être repris à la pelle mécanique et transportés par tombereaux ou bandes transporteuses vers les zones de stockage (ou parcs) à résidus ultimes. Les résidus seront ensuite étalés par couches sur la zone de stockage, pour permettre une déshydratation supplémentaire qui associe drainage et évaporation. Les zones de stockage seront équipées en fond de chenaux de drainage des lixiviats vers un bassin de rétention.

Les principaux avantages de cette technique sont :

- ✓ la **récupération et le recyclage d'une bonne partie de la fraction liquide de la pulpe décyanurée** (comprenant des traces éventuelles de cyanures libres, d'ions cyanates (CNO^-) et de cyanures faiblement complexés) avant stockage définitif des résidus ;
- ✓ le **stockage des résidus sous forme quasi solide** : faible susceptibilité à la liquéfaction, donc meilleure stabilité mécanique, réduisant ainsi considérablement les risques de fuites dans le milieu naturel et l'épanchement des résidus en cas de rupture de digue ;
- ✓ la **diminution du risque d'infiltrations** dans les sols avoisinants ;
- ✓ les **travaux de remise** en état pourront être effectués plus rapidement car les résidus seront plus rapidement stabilisés, et les engins de terrassement pourront intervenir plus rapidement que sur des résidus boueux (temps de décantation et de consolidation).

Il faut souligner que le procédé de destruction des cyanures détruira les cyanures libres et faiblement complexés avant les étapes d'épaississement/centrifugation et de stockage des résidus. Ainsi, grâce à la destruction des cyanures par le procédé SO_2/air combinée au recyclage, par épaississement/centrifugation, de 60% de la fraction liquide, les **résidus stockés** ne renfermeront que très peu de **cyanures résiduels fortement complexés ne pouvant être dissociés qu'à des pH très acides (2-3)**. Les dégagements d'HCN et la libération de cyanures dans le milieu naturel sera donc quasi inexistante.

Illustration de l'épaississement des résidus miniers par la technologie du « paste thickener »

Illustration d'installations d'épaississage de résidus miniers par « paste thickener » et texture des résidus épaissis en sortie (source : FLSMIDTH)

Schéma de principe du procédé d'épaississage de résidus miniers par « paste thickener »

4.3. SYSTEME DE CONTROLE ET DE SUIVI

L'UMTMA a été conçue selon les technologies les plus récentes en matière de traitement du minerai d'or. Le système informatique de contrôle (PLC) de l'UMTMA servira à assurer le contrôle des normes et des consignes prescrites en donnant de manière continue l'information aux opérateurs de l'UMTMA, telle que la valeur du pH, les niveaux des boites de pompes, la vitesse des pompes et des alarmes sur toute anomalie qui pourrait survenir. Tous les équipements seront démarrés et contrôlés à partir d'une des deux interfaces localisées dans la salle de contrôle de l'UMTMA et en position centrale à l'intérieur de l'UMTMA.

Au regard de la sécurité entourant le cyanure : des détecteurs de gaz seront installés dans les endroits stratégiques reliés au PLC, avec des alarmes à différents niveaux. De plus, à l'endroit où les détecteurs seront localisés, un système de lumière par exemple en trois couleurs (verte, jaune et rouge) et une alarme lorsque la lumière devient jaune, sera installé. Des détecteurs de multi gaz portatifs seront en tout temps disponibles pour les opérateurs de l'UMTMA.

Un manuel de procédure de contrôle sera développé. Il comprendra par exemple des tournées d'inspection à effectuer toutes les deux heures par les opérateurs avec :

- ✓ mesure de la concentration de cyanure en laboratoire (*Cf. Figure 18 et Annexe 6*) ;
- ✓ des prises de contrôle manuelles ou automatiques de pH et de densité aux endroits stratégiques ;
- ✓ des vérifications visuelles de tous les équipements, incluant les points d'additions de produits chimiques.

Des systèmes d'analyse de la concentration en cyanure et du pH des solutions de process seront également mis en place.

Il existe sur le marché différentes méthodes pour les déterminations de concentrations en cyanures dans les procédés industriel. Le type de méthode dépend des niveaux de concentration des solutions à étudier.

Pour les fortes teneurs en cyanures des solutions d'élution (1 000 ppm), il est possible de réaliser des analyses par titrage potentiométrique soit avec un titreur potentiométrique de laboratoire (type Ti Touch 916 de METROHM), soit avec un appareil de contrôle en continu dans le process (type Applikon ADI 2016 de METROHM). Il existe une solution intermédiaire avec des appareils pour lesquels l'opérateur présente l'échantillon dans un contenant quelconque et l'appareil réalise la prise d'essai puis l'analyse (type PROCESS LAB de METROHM). L'échantillon doit être placé en milieu alcalin avec de la soude par exemple, puis est titré par une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$). Ces opérations peuvent être automatisées dans les trois cas de figure.

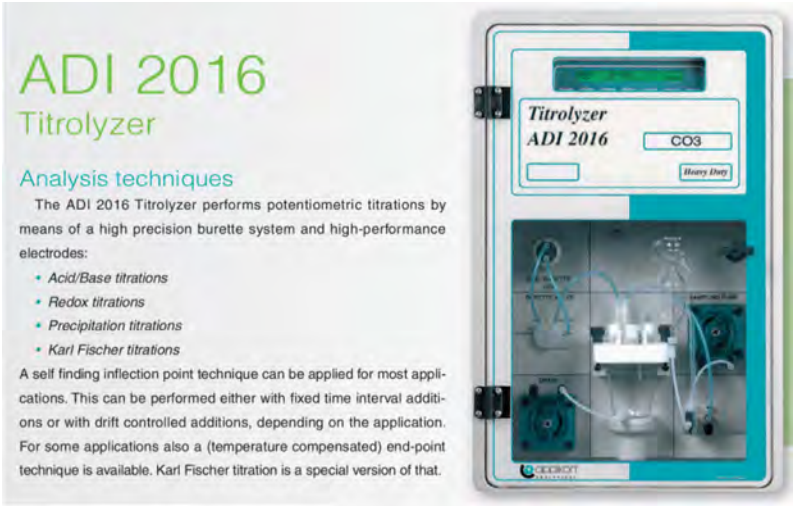
Pour les solutions de cyanuration à 500 ppm, la même technique peut être utilisée. Une mesure directe sur électrode spécifique est également envisageable. Les mesures peuvent être effectuées au niveau du laboratoire avec un Ionomètre, ou avec un analyseur en type ADI 2018 de METROHM.

Différentes méthodes et appareillages d'analyse de la concentration en cyanure (selon le niveau de concentration, en laboratoire ou en continu) sont présentés en *Annexe 6* et dans la *Figure 18*.

Les mesures de concentrations en cyanures permettront de vérifier le bon fonctionnement du procédé de destruction des cyanures et d'optimiser la concentration en cyanure dans circuit de cyanuration.

Le suivi du pH en continu permettra d'ajuster en permanence l'ajout de chaux pour maintenir un pH suffisamment basique pour éviter l'émission d'HCN. Les pH-mètres seront régulièrement étalonnés.

Titreur potentiométrique de laboratoire
(type Ti Touch 916 de METROHM)



Analyseur en continu (type ADI 2016 de METROHM)

Système d'analyse en laboratoire pour lequel l'opérateur présente l'échantillon dans un contenant quelconque et l'appareil réalise la prise d'essai puis l'analyse
(type PROCESSLAB de METROHM)

4.4. GESTION DU CYANURE

Le cyanure de sodium possède la propriété de dissoudre l'or contenu dans les minerais aurifères. Dans la plupart des gisements d'or (95 % des cas à l'échelle mondiale), le procédé de cyanuration est celui qui assure le meilleur taux de récupération du métal précieux.

Le cyanure est toutefois un produit chimique dangereux, et il doit être utilisé avec précaution. À cet égard, il existe un **Code international de gestion du cyanure** (*Cf. Annexe 7*). Ce Code est une initiative à adhésion volontaire pour l'industrie de l'extraction de l'or, les producteurs et les transporteurs du cyanure utilisé dans le traitement des minerais aurifères. Il traite de la production, du transport, du stockage et de l'utilisation sécuritaires du cyanure employé dans l'extraction de l'or.

La Société Financière Internationale (membre du Groupe de la Banque Mondiale), le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et tous les grands producteurs d'or (AngloGold, Barrick, Newmont, Kinross, Placer Dome, etc.) ont coopéré au développement de ce Code international de bonnes pratiques, dont l'adhésion des membres reste purement volontaire.

Depuis le 11 juin 2014, AUPLATA (maison mère de SMYD) adhère au Code international de gestion du cyanure (*Cf. Annexe 7*).

SMYD ne sera pas impliquée dans la production de cyanure de sodium. Cependant, elle sera possiblement impliquée dans son transport sur le site minier de Yaou, dans son stockage et dans son utilisation. À cet effet, l'*Annexe 8* présente une étude de faisabilité préparée par INERIS pour OSEAD (2013) concernant la signalisation, le transport et le stockage du cyanure de sodium.

À l'étape du procédé en usine, il importe de s'assurer que la réaction de cyanuration s'effectue dans des conditions basiques, à pH très élevé (de l'ordre de 10,5 à 11,0). Ces conditions basiques sont assurées par l'ajout de chaux dans le mélange d'eau, de cyanure et de minerai broyé. Il s'agit d'éviter la formation de cyanure d'hydrogène, un gaz toxique qui se forme dans des conditions acides à neutres.

À l'étape du transfert des résidus de cyanuration vers les parcs à résidus ultimes, **deux possibilités** se présentent :

- le cyanure peut être détruit immédiatement à la sortie de l'usine par une réaction d'oxydation, soit par le procédé INCO (utilisant une combinaison de SO_2 et d'air) ou par le procédé DEGUSSA (utilisant le peroxyde d'hydrogène), avant le rejet final de l'usine vers les parcs à résidus ultimes ;
- l'autre solution consiste à diriger la solution cyanurée dans le parc à résidus, sans aucun traitement, et laisser le cyanure se dégrader naturellement. Dans cette option, une attention particulière doit être portée à imperméabiliser le fond du parc à résidus afin d'éviter tout risque de contamination des eaux souterraines. Il faut également que les résidus soient maintenus à l'intérieur du parc par une digue étanche. Les critères de conception de cette digue incluent un facteur de sécurité lui permettant de résister à des conditions climatiques extrêmes (par exemple : une hausse soudaine du niveau d'eau due à des pluies torrentielles).

Finalement, il importe de bien contrôler l'accès au parc à résidus, par la mise en place de clôtures, de façon à s'assurer que seules les personnes autorisées y aient accès, et que la faune locale ne puisse s'y abreuver.

Dans le cas de l'UMTMA de la mine de Yaou, **SMYD a choisi d'opter pour une destruction des cyanures dans l'usine même, avant leur rejet dans des parcs à résidus ultimes, décyanurés** tout de même mis en place sur des terrains saprolitiques de très faibles perméabilités. La méthode de destruction utilisée sera le procédé SO_2/Air.

Ce procédé est conforme aux meilleurs techniques disponibles (MTD).

4.5. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS PREVUS

Le tableau, présenté en page suivante, reprend les grands postes d'équipement de l'UMTMA, et les puissances électriques associées.

Tableau 9 : Liste des grands postes d'équipement de l'UMTMA et puissances associées

Poste d'utilisation	Détail	Puissance installée (kW)
Alimentation en eau	Pompes eau fraîche, eau de procédé, éducteur…	30
Broyage	Broyeurs à boulets, divers convoyeurs, tamis, pompes et divers	700
Lixiviation	Agitateurs, pompes, tamis, compresseurs et divers	234
Epaississeur	Epaississeur (moteur, mécanisme…), pompes et divers	7
Destruction des cyanures	Pompes	35
Epaississement et centrifugation des résidus décyanurés	Epaississeur suivi de 2 centrifugeuses	2x75
Traitement du charbon	Tamis, four à régénération, agitateurs, tamis vibrant, pompes et pont roulant	9
Laboratoire	Désorption, électrolyse	150
Distribution des réactifs	Système de distribution, agitateurs, pompes	10
TOTAL	Connecté	1 325
	Doublons	- 75
	Net	1 250
	Utilisé à 80 %	1 000

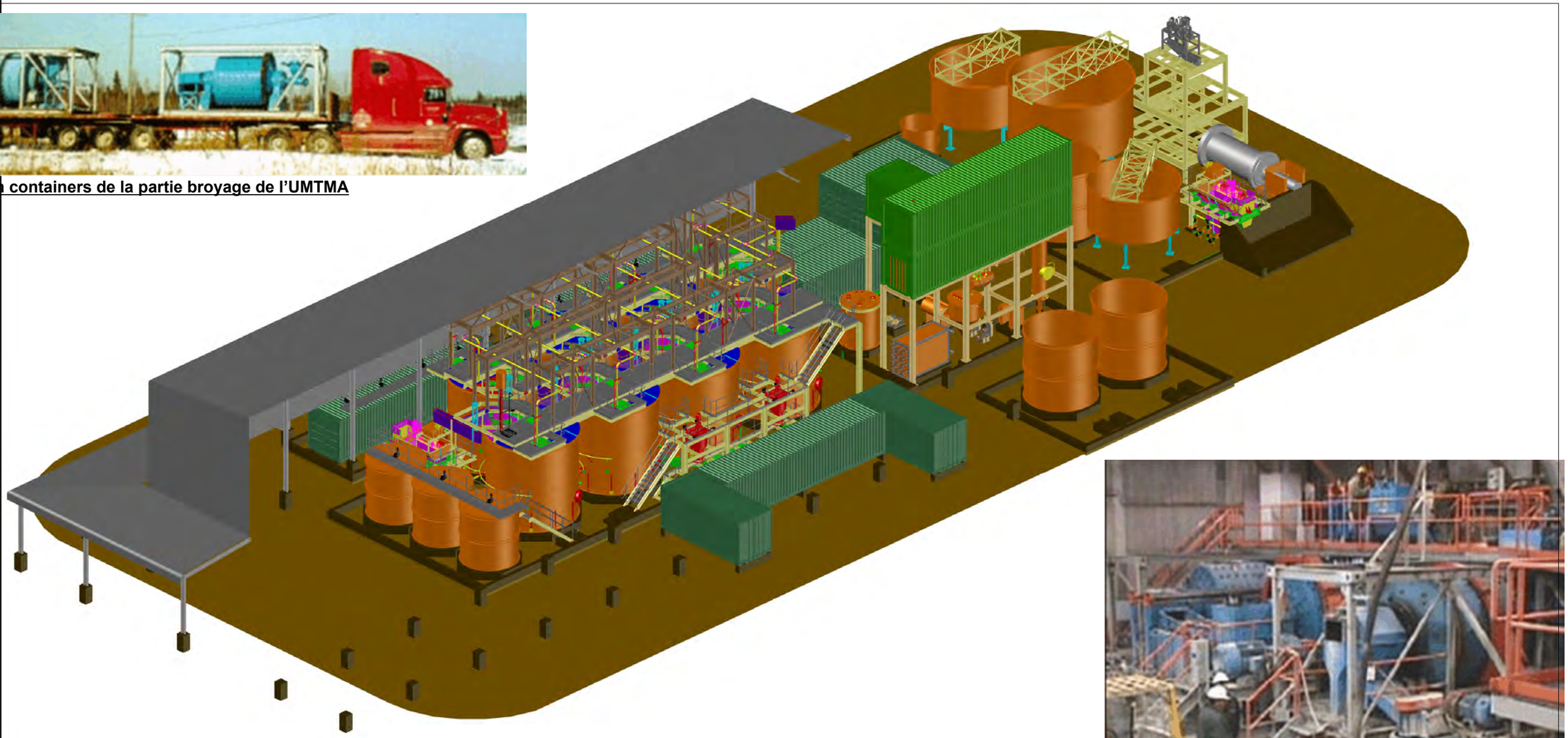
Les doublons sont des unités mises en place dans l'UMTMA par mesure de sécurité.
Les centrifugeuses possèdent leurs propres groupes électrogènes de 100 kW (un en marche et un de secours)

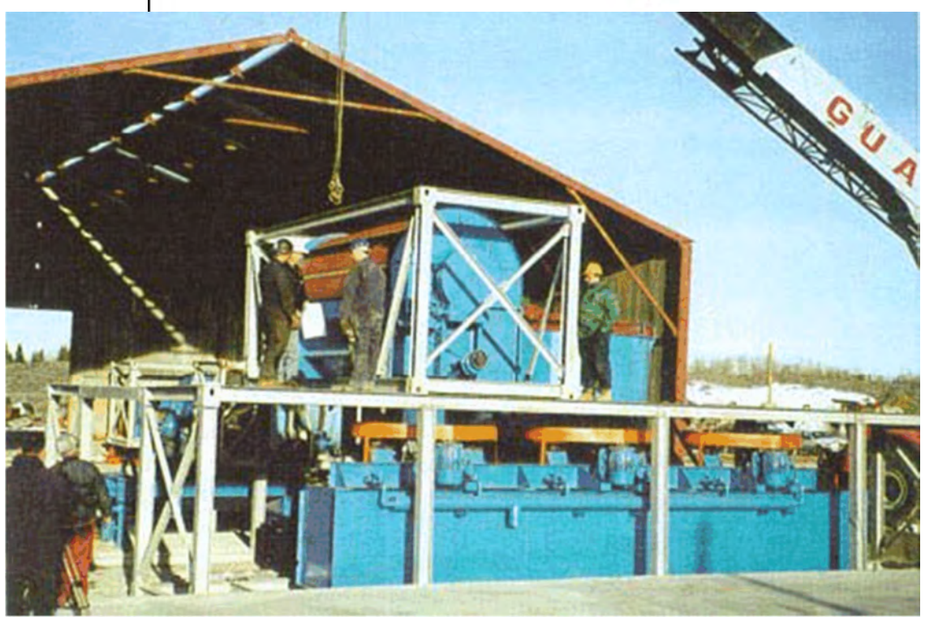
Ainsi, le total installé sur l'UMTMA présente une puissance de 1 325 kW.

Le détail de ces équipements est présenté dans la *Figure 16*.

La *Figure 19* montre des vues en trois dimensions et des photographies de l'UMTMA et la *Figure 20* en précise la zone d'implantation.

Transport en containers de la partie broyage de l'UMTMA





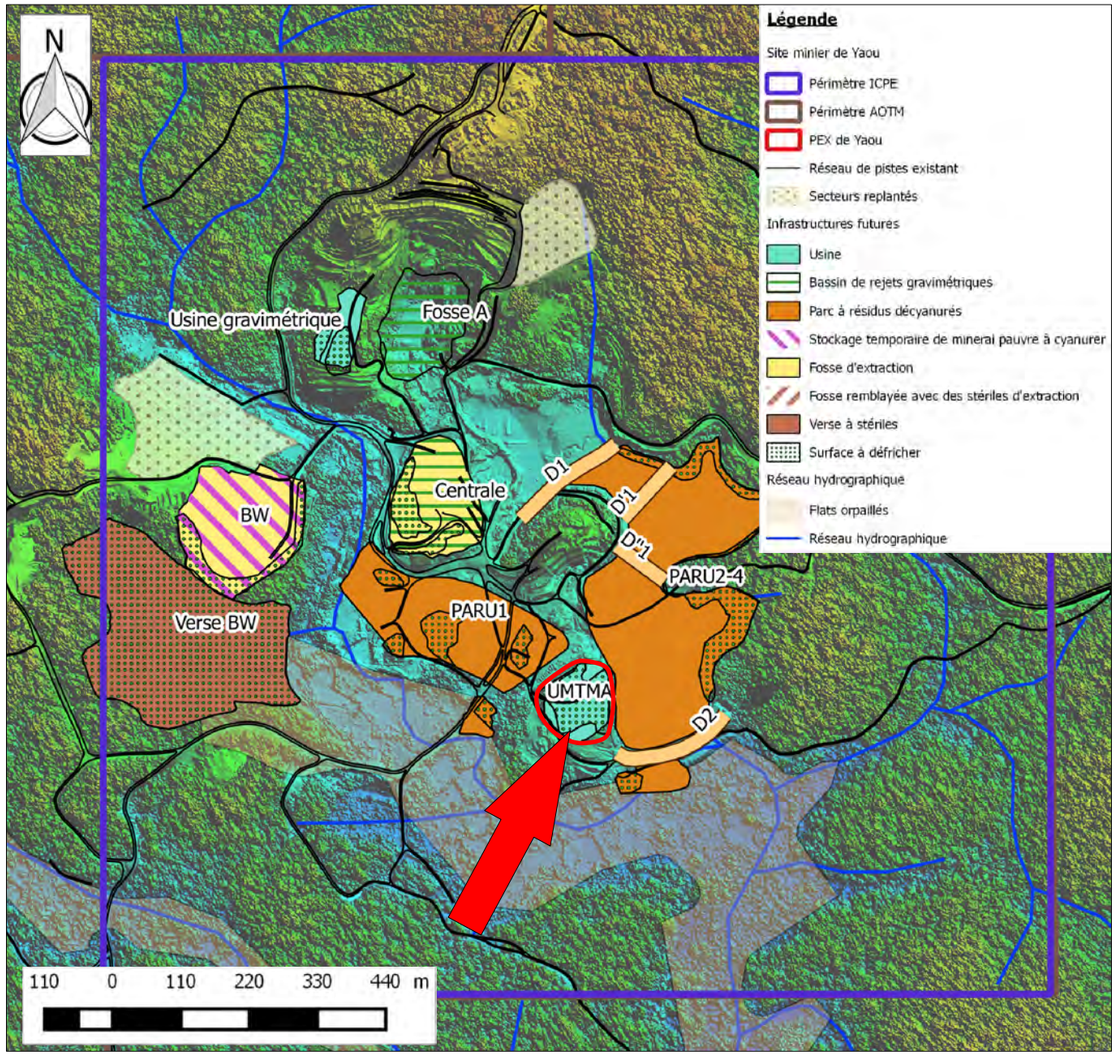
Assemblage d'une unité UMTMA

Unité UMTMA en cours de montage

GéoPlusEnvironnement	AUPLATA - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973) *Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)* **Mémoire Technique**	Figure 19
	Photographies et vues en 3D d'une UMTMA *Sources : SMYD, AUPLATA et SGS BATEMAN*	

Vue sur la future plate-forme UMTMA
depuis l'extrémité nord-ouest du bassin 4

Vue du site du projet depuis le Nord



GéoPlusEnvironnement	SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973) *Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)* **Mémoire Technique**	Figure 20
	Zone d'implantation de l'UMTMA *Source : GéoPlusEnvironnement*	

4.6. INSTALLATIONS ANNEXES ASSOCIEES

4.6.1. Fourniture d'électricité

La puissance nécessaire pour alimenter les divers organes de l'UMTMA a été estimée à 1 000 kW. Ces besoins en énergie seront satisfaits par un groupe électrogène au diesel de 1 365 kW (tension de 4 000 volts, courant triphasé et fréquence de 50 Hz), 2 groupes électrogènes diesel de 100 kW spécifiques au circuit d'épaississement et de centrifugation des résidus.

L'UMTMA sera munie d'une deuxième génératrice de 800 kW, qui sera utilisée pendant les périodes d'arrêt de la première (soit pour réparation, soit pour entretien programmé).

La salle de distribution électrique sera installée dans un container de double longueur (12,2 m), climatisé. Tous les équipements requis auront préalablement été installés et câblés à l'intérieur du container, incluant le transformateur secondaire, les disjoncteurs, les démarreurs, les variateurs de vitesse et l'automate programmable.

4.6.2. Alimentation en eau de process

Le fonctionnement de l'UMTMA nécessitera un apport d'eau permanent estimé à **34,9 m^3/h** (mise en pulpe, lixiviation…). Cette alimentation sera effectuée par le **recyclage des eaux de traitement** :

- solution cyanurée issue de l'épaississage et de la centrifugation de la pulpe appauvrie avant décyanuration, recyclée directement en tête du circuit de cyanuration : **9,4 m^3/h** ;
- solution « saignée » dans le circuit d'élution : **0,3 m^3/h ;**
- eaux d'épaississement et de centrifugation de la pulpe décyanurée : **16,4 m^3/h** ;
- eaux d'exfiltration des résidus ultimes décyanurés et eaux de ruissellement des parcs à résidus décyanurés collectées dans un bassin étanche : **8,8 m^3/h**.

Les eaux d'épaississement et de centrifugation de la pulpe décyanurée et les eaux pompées dans les bassins étanches en aval des parcs à résidus décyanurés passeront préalablement par un **bassin de polissage**.

L'alimentation initiale et l'appoint nécessaire pour compenser les pertes du circuit nécessiteront un pompage dans le milieu naturel. Ce pompage pourra se faire :

- rapidement, dans le bassin de décantation des eaux claires actuellement situé au nord des bassins de stockage des résidus issus du traitement gravimétrique ;
- à l'avenir dans le bassin de stockage des lixiviats collectés sur les bassins 2, 3 et 4 qui seront réexploités pour le stockage des résidus ultimes décyanurés.

Cette consommation d'eau viendra s'ajouter au pompage actuel.

4.6.3. Maintenance

Un atelier mécanique principal est aujourd'hui présent sur le site Yaou (*Cf. § 2.4.3.1*). Plusieurs stockages secondaires de pièces mécaniques (magasin base vie) et de carburants (base vie, point de pompage du circuit fermé de l'usine gravimétrique) sont présents sur le site minier de Yaou.

Un nouvel atelier spécifique à l'UMTMA sera créé.

La maintenance des circuits de l'UMTMA est un point tout particulièrement important. En effet, le procédé de cyanuration faisant intervenir des produits chimiques potentiellement toxiques, SMYD veillera à ce que les réservoirs de solution de traitement (cuve de cyanuration, cuves de lixiviation…), ainsi que les conduites et les pompes associées soient inspectés régulièrement pour vérifier leur intégrité structurelle et l'absence de toute corrosion ou fuite.

Des programmes de maintenance préventive seront notamment mis en œuvre au niveau du circuit de cyanuration, afin de garantir que l'équipement et les dispositifs nécessaires à la bonne gestion du cyanure fonctionnent sans interruption. Les pompes, les pipelines, le traitement et l'équipement de destruction/régénération sont des exemples d'équipements qui devront être maintenus à intervalles réguliers de manière à ce que les pannes ne causent pas d'exposition des employés ou de rejets dans l'environnement.

4.7. TRAVAUX PREPARATOIRES A LA CONSTRUCTION DE L'UMTMA

Le terrain d'implantation de l'usine est situé en position relativement centrale par rapport à l'ensemble du site minier de Yaou et à 900 m au Sud Sud-Ouest de la base-vie au sommet d'un relief collinaire dominant l'actuel bassin de rejets gravimétrique n°4 (*Cf. Figure 20*).

L'implantation de l'UMTMA sera adaptée à la nature des sols et aux hétérogénéités consécutives à différents terrassements anciens comme à sa topographie.

L'UMTMA sera implantée sur une plateforme mise en place à environ 125 m NGF, soit environ 9 m au-dessus de la partie sommitale du stockage des rejets gravimétriques sur le bassin n° 4 et environ 18 m au-dessus du fond de vallée originelle. La plateforme sera délimité par des talus de pente 3H/1V.

Une étude géotechnique a été menée par le bureau d'étude Mine & Avenir afin de fournir les principes généraux de construction des ouvrages concernant le bâtiment projeté. Cette étude est fournie en *Annexe 14*.

4.7.1. Contexte géologique de l'emprise de l'UMTMA et mode de fondation envisageable

Pour rappel, le site de Yaou est situé sur la ceinture de roches vertes dont font partie les formations volcano-sédimentaires du Paramaca.

Cette région est concernée par un important métamorphisme régional ne dépassant pas le faciès « schistes verts ». Plusieurs faciès lithologiques peuvent être observés sur le site de Yaou :

- formation intrusives felsiques (granites) à intermédiaires (diorites) ;
- tufs felsiques plus ou moins mylonitisés ;
- mylonites.

Les sommets du secteur de Yaou, comme celui du plateau de la base vie ou le sommet concerné par le projet de plate-forme UMTMA, sont formés sur d'importantes hauteurs (entre 10 et 30 mètres parfois jusqu'à une cinquantaine de mètres) de saprolites issues de l'altération d'un complexe intrusif dioritique minéralisé de forte étendue et des formations schisteuses le surmontant.

Sur le secteur de la plate-forme UMTMA, les saprolites sont surmontées, non pas de latérites, mais d'un horizon résistant de colluvions marron clair légèrement ferralitisées épaisse de 2,5 à 3 m au plus et qui repose sur des saprolites rosées plus plastiques et très épaisses. Ces matériaux ont été terrassés en plusieurs phases lors des différentes étapes de la construction de la digue Lauvernier.

Les saprolites surmontent des schistes très résistants au moins sur la moitié Ouest de la colline.

Le site a été remanié par le passé et comporte de fortes pentes terrassées à prendre en compte dans le projet de mise en place de la plate-forme :

- ✓ des pentes fortes sur ses bordures, notamment Nord et surtout à l'Est, qui imposent un fort recul avec les têtes de pentes afin d'assurer la stabilité de l'ensemble et des ouvrages ;

- ✓ une topographie fortement modelée par ces terrassements anciens, *a priori*, ici entièrement en déblai ;
- ✓ des matériaux saprolitiques moyennement résistants et très sensibles à l'eau avec dégradation rapide de leurs caractéristiques mécaniques en présence d'eau.

La colline sera terrassée à la cote des plate-formes existantes, soit environ +/- 125 m NGF, de façon à obtenir une plate-forme homogène représentée par les saprolites rosées et à s'affranchir des effets de pentes liés aux talus terrassés existants qui limitent le relief central. La plateforme aura une superficie d'environ 9 000 m^2 (superficie de l'UMTMA, traitement seul ≈ 2 000 m^2).

Les produits issus de ce terrassement (principalement les colluvions marron et les saprolites ferralitisées), de l'ordre de 80 000 m^3, pourront être utilisés par ailleurs pour la construction des digues et couvertures étanches des parcs à résidus ultimes décyanurés (*Cf. § 6.3.3*).

Il a ainsi été retenu des fondations superficielles reposant sur les saprolites moyennement résistantes (en effet, aucun horizon plus résistant n'apparaît ici avant des profondeurs importantes).

4.7.2. Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté

Les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté seront basés sur ceux préconisés par le bureau d'étude Mine et Avenir (*Cf. Annexe 14).*

4.7.2.1. Profondeurs et mode de fondation

Un encastrement de 0,40 m au minimum dans le sol de fondation (saprolites) et une profondeur de fondation d'au moins 0,50 m par rapport à la plate-forme terrassée ont été retenus.

Par ailleurs, une pente de 3H/2V (3 à l'horizontale) sera respectée entre appuis décalés du projet (fosses, etc..) comme entre le plan de pose des fondations et tous points de la surface topographique en aval, cet aspect, pouvant, selon l'implantation retenue, se révéler dimensionnant en raison des forts talus qui limitent le site. Les fondations voisines des crêtes de talus seront évitées pour retenir une emprise du projet décalée vers l'Ouest du relief collinaire.

Les fondations seront des fondations sur semelles filantes superficielles ou sur radier en fonction des nécessités de structures (cuves, ..).

Dans tous les cas, les fondations seront coulées à pleine fouille jusqu'en surface dans des fouilles propres et sèches. En cas d'altération des fonds de fouilles (pluie, …), on procédera à leur curage soigneux, éventuellement manuel, immédiatement avant coulage.

4.7.2.2. Assise du niveau de base

Le niveau de base du projet sera installé sur la plate-forme terrassée après compactage énergique. Le bâtiment sera protégé intégralement par des toitures et reposera sur dalle béton dont l'assise sera soigneusement protégée des infiltrations d'eau.

4.7.2.3. Terrassements

Les terrassements généraux seront entièrement réalisés aux engins mécaniques classiques (pelle mécanique, …). Toutes les eaux de ruissellement seront collectées sur le site avec mise en place de contre-pentes, fossés de colature, etc.

5. GESTION DES REJETS GRAVIMETRIQUES ACTUELS ET A VENIR

Annuellement, 47 000 m^3 soit 70 000 t de rejets gravimétriques seront, en moyenne, à gérer sur le site de Yaou. Ces rejets seront issus du traitement du minerai primaire riche (>3 g Au/t).

5.1. CARACTERISATION DES REJETS GRAVIMETRIQUES

5.1.1. Nature des rejets

Les rejets gravimétriques sont les matériaux obtenus en sortie de l'usine de traitement gravimétrique actuellement déjà en place sur le site de Yaou. Ces rejets seront semblables aux rejets actuellement stockés dans les bassins dédiés n°2, 3 et 4, à l'Est de l'actuelle usine. Les rejets sont formés de sables ou de fines, obtenus séparément au niveau des hydrocyclones qui constituent la partie terminale du *process* de l'usine (*Cf. Chapitre 2*).

5.1.2. Caractéristiques et comportements physique à court et à long terme

5.1.2.1. Caractéristiques physiques

Les rejets gravimétriques auront une humidité résiduelle de 15%, une granulométrie inférieure à 2,5 mm et une densité de l'ordre de 1,3.

5.1.2.2. Comportement géotechnique

Les rejets gravimétriques seront analogues à des limons peu plastiques (classification GTR : A1). Il a été observé une perte des caractéristiques mécaniques pour une teneur en eau supérieure à 30% et des caractéristiques maximales (résistances à la compression et au cisaillement) autour d'une teneur en eau de 20%. Le comportement est très peu plastique.

A court terme, les rejets gravimétriques auront des caractéristiques mécaniques médiocres qui iront en s'améliorant avec leur déshydratation. Quoi qu'il en soit, ces résidus seront soutenus par une digue dimensionnée dans les règles de l'art (*Cf. Annexes 11, 12 et 14).*

5.1.3. Caractéristiques et comportements géochimiques à court et à long termes

Plusieurs campagnes de caractérisation géochimique des minerais, stériles et rejets gravimétrique ont été réalisés sur le site de Yaou :

- analyses menées par le laboratoire Kappes dans le cadre d'une étude réalisée par Caddisay & Associates (KCA) pour le compte de GUYANOR en 1998 ;
- analyses par le laboratoire Wessling dans le cadre de l'étude d'impact du dossier AOTM réalisé en 2009 par la SMYD ;
- analyses menées par le BRGM dans le cadre du rapport BRGM/RP-610027-FR de 2012 ;
- Analyses menées par SMYD/AUPLATA et GéoPlusEnvironnement en 2010 et 2014 dans le cadre des études d'impact du dossier ICPE de 2010 (régularisation de l'usine gravimétrique actuelle et des bassins de rejets) et du présent dossier dont la réalisation a débuté en 2014.

5.1.3.1. Etudes KCA pour Guyanor ressources SA (1998-1999)

5.1.3.1.1. Analyses géochimiques

Les échantillons ont été prélevés en 1998-1999 sur environ 300 points répartis sur l'ensemble de la zone de la concession Yaou (dans des zones actuelles d'exploitation mais aussi en dehors) représentant un poids total d'environ 125 kg.

Les analyses des teneurs en métaux ont été effectuées par le laboratoire Kappes, Cassiday & Associates (KCA) pour la société Guyanor ressources S.A.

Les résultats correspondent à une analyse statistique de l'ensemble de ces échantillons répartis toutefois en deux classes, en fonction de leur profil lithologique :

- Roche oxydée + saprolite
- Roche non oxydée.

Pour ce faire, les échantillons ont dû être prélevés à des profondeurs permettant d'atteindre la roche non oxydée, soit plus de 35 m de profondeur sur ce site.

Tableau 10 : Analyses des teneurs en métaux du minerai aurifère de Yaou (KCA, 1999)

Elément	Roche oxydée + saprolite 1999	*Roche non oxydée non visée par l'exploitation*
	KCA Sample 27040	*KCA Sample 27042*
Ag, ppm	<1	*3*
Al, %	1.66	*1.91*
As, ppm	<10	*280*
Ba, ppm	100	*60*
Be, ppm	<5	*<5*
Bi, ppm	<10	*<10*
Ca, %	0.04	*0.03*
Cd, ppm	<5	*<5*
Co, ppm	50	*<5*
Cr, ppm	660	*130*
Cu, ppm	80	*60*
Fe, %	7.01	*12.10*
Hg, ppm	<10	*10*
K, %	0.10	*0.09*
Mg, %	0.19	*0.01*
Mn, ppm	660	*40*
Mo, ppm	5	*<5*
Na, %	0.04	*0.04*
Ni, ppm	115	*<5*
P, ppm	500	*600*
Pb, ppm	10	*25*
Sb, ppm	<10	*30*
Sc, ppm	20	*15*
Sr, ppm	5	*<5*
Ti, %	0.06	*0.02*
Tl, ppm	<20	*40*
U, ppm	<20	*<20*
V, ppm	160	*160*
W, ppm	<20	*<20*
Zn, ppm	55	*20*
Total Carbon, %	0.10	*0.47*
Total Sulfur, %	0.04	*0.05*

Equivalence : ppm : 1 g/tonne ou 1 mg/kg MS % : 10 kg/tonne ou 10 g/kg MS

Composition du minerai sur la zone YAOU
(analyses réalisées en 1999 par le laboratoire KCA)

Des valeurs élevées de **chrome** et **nickel** ont été mesurées sur le minerai de la zone Chaina et, en plus faible proportion, sur la zone B-Ouest, deux secteurs dont la lithologie comprend des roches ultramafiques, assez communes en Guyane. La zone Chaina n'est pas comprise dans le projet d'exploitation du PEX.
Les teneurs en **baryum et manganèse** mesurés sur le gisement de Yaou sont également élevées.
Des analyses complémentaires faites en 2005 (laboratoire Tecksup Pérou) sur le minerai de Yaou Central (zone A et CL) ont donné des valeurs de 178 ppm de **chrome** et 51 ppm de **nickel**.

5.1.3.1.2. Drainage minier acide (DMA)

Les essais ont été réalisés en 1998 par le Centre de Recherche Minérale de Sainte Foy (Québec) pour le compte de la société Guyanor.

Les essais statiques ont été réalisés sur des échantillons composites (6 à 9 échantillons initiaux) d'un poids total d'environ 24 kg complétés par des analyses chimiques complètes. 4 composites de minerais (ou lots) représentatifs de chaque type de matériel sont ainsi analysés :

- Lots #1 : Minerai oxydé + saprolite (fosse A)
- Lots #2 : Roche non oxydée (dur) (fosse B)
- Lots #3 : Roche non oxydée (dur) (fosses A et CL)
- Lots #4 : Latérite

Ainsi qu'un 1 composite stérile.

Les tests statiques de l'époque ne révélaient aucun risque de formation de DMA à partir du minerai saprolitique exploité et des stériles d'extraction (*Cf. Annexe 9*).

5.1.3.2. Tests de lixiviation réalisés par Wessling pour la SMYD (2006)

Dans le cadre de la demande de PEX du projet YAOU, des tests de lixiviation ont été effectués par le laboratoire Wessling à St-Priest (69). L'échantillonnage a été réalisé par le bureau d'études APAVE Sud Europe en mai 2006. Les caractéristiques de la campagne d'échantillonnage et des analyses sont :

- 7 fosses d'exploitation (A, B, BW, CL, I, J, K Sud) fixées par le schéma d'exploitation analysées
- 2 échantillons par fosses (1 de stérile, 1 de minerais)
- Echantillons prélevés à l'aide d'une pelle mécanique, entre 4 et 6 m de profondeur (par rapport au terrain naturel), c'est-à-dire dans la zone « roche oxydée / saprolite », le projet ne prévoyant pas d'exploiter la zone « roche non oxydée ».
- Analyses complémentaires de la teneur en or des échantillons, réalisées pour confirmation de l'appartenance des échantillons aux classes d'unité fonctionnelle.
- Tests de lixiviation selon norme NF EN 12457-2
- Analyses ICP-AES sur lixiviat selon norme EN ISO 11885
- Analyses mercure sur lixiviats selon norme EN 1483.

Les concentrations en métaux analysées dans les lixiviats sont toujours inférieures aux seuils de détection, à l'exception d'un échantillon de stérile présentant une valeur en Ni de 0,08 mg/kg de matière sèche. L'ensemble des lixiviations des matériels du site ont des concentrations en As, Cr total, Ni et Hg, inférieures aux valeurs de référence. De plus, le pH des lixiviats est relativement neutre. On peut alors estimer que **l'entreposage du matériel d'exploitation du site de Yaou présente peu de risques de lixiviation dommageable pour l'environnement concernant ces métaux (*Cf. Annexe 9*).**

5.1.3.3. Etude BRGM de 2012 (analyses 2010)

Source : BRGM/RP-610027/FR, 2012 (*Cf. Annexe 9)*

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la caractérisation des déchets de quatre mines d'Or de Guyane. Sur le site de Yaou, le plan d'échantillonnage du BRGM comprenait des points de prélèvement dont les résultats seront utiles pour caractériser les rejets gravimétriques et les stériles d'extraction :

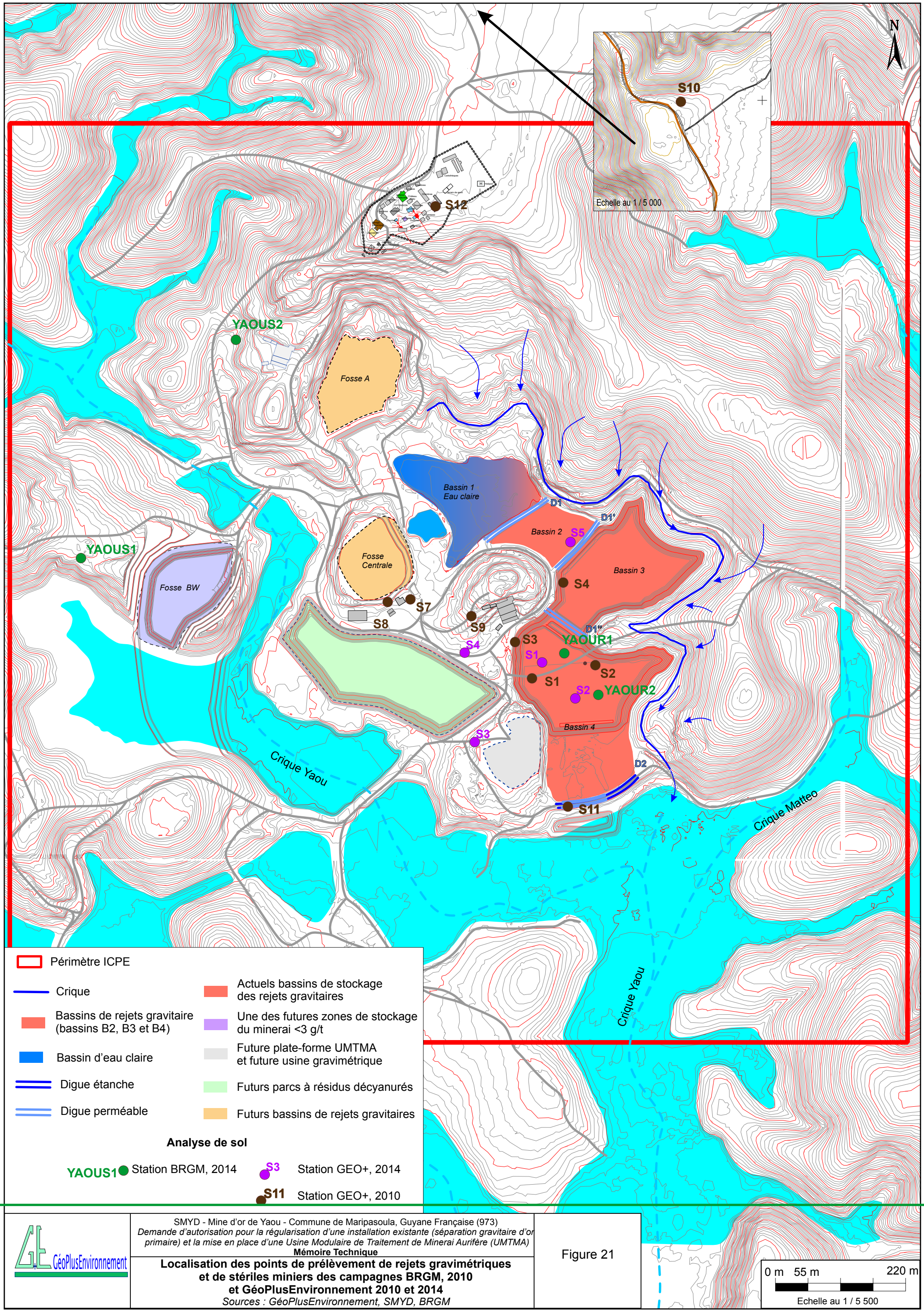
- **échantillons YAOUR1a, b et c, dans les rejets gravimétriques du bassin n°3** (partie avale, au niveau de la digue D1''), dans des faciès argilo-sableux ;
- **échantillons YAOUR2a** (argiles plastiques interstratifiées avec des sables), b (sables peu triés) et c (argiles plastiques), **dans les rejets gravimétriques du bassin n°4** (partie amont), dans des faciès argilo-sableux ;
- échantillons YaouS1 a (saprolite partiellement revégétalisée), b (ravine) et c (déblais hétérogènes), dans la verse à stériles située entre les fosses CL et BW ;
- échantillons YaouS2 a (faciès argileux rouge), b (faciès caillouteux) et c (terres de découverte), dans la verse à stériles provenant de l'ancienne fosse A et située en bordure le la piste montant au camp.

Ces points de prélèvement sont replacés sur la *Figure 21*.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des échantillons retenus pour cette caractérisation.

Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques des prélèvements effectués par le BRGM sur le site de Yaou (BRGM, 2012)

YAOU	Ouvrage	Prélèvements élémentaires	Echantillon Composite unitaire	Localisation sur site	Mode de prélèvement	Description	Poids	Remarques
Opérateur minier: SMYD								
Date: 29/07/10								
Echantillonneur: F. Cottard								
Résidus de traitement								
	Parc à résidus 1	YAOU R1a	Composite YAOUR1	En bordure digue 1	prélèvement direct avec pelle à main	Limon argilo-sableux gris		En activité avec réhaussement de la digue
		YAOU R1b		Sur matériaux de curage de la digue	tranchée 2mx0,5m	Limon argilo-sableux gris		
		YAOU R1c		Dans verse près digue 2	pelle à main et spatule dans petite fosse	alternance sables fins et argile puis argile beige homogène plastique		
	Parc à résidus 2 "Lauvernier"	YAOU R2a	Composite YAOUR2	Près zone d'alimentation sur fosse	dans fosse 30 cm	argile plastique orange à beige avec intercalations plus sableuses		Non en activité mais prévue pour future stockage
		YAOU R2b		à 5 m du précédent dans	dans fosse 30 cm	sable grossier à fin non trié		
		YAOU R2c		à 8 m du précédent	dans fosse 30 cm	argile plastique bariolée		
	Tas devant usine	YAOU R3	YAOU R3	Devant usine	spatule en 3 à 4 prises sur tas	Dépôt de minéraux noirs accumulés par concentrateurs magnétiques	5 kg	
Stériles d'extraction								
	Verse à stériles 1	YAOU S1a	Composite YAOU S1	Dans ravine en montant en 4 prises	Rainurage	saprolite et argile rouge bariolée avec blocs et fragments		Provenance fosses A et CL, stériles récents à actuels avec diorite et schistes
		YAOU S1b		au sommet du tas:faciès caillouteux gris avec shistes et diorite oxydés	grab sampling	saprolite avec blocs et fragments indurés		
		YAOU S1c		au sommet du tas:faciès terre de découverture/ top	Rainurage	Terre végétale et argile		Matériaux à conserver pour réhabilitation
	Verse à stériles 2	YAOU S2a	Composite YAOUS2	saprolite avec fragments et blocs bas de talus	fosses 15 cm en surface	saprolite sur shiste		Provenance fosse centrale, stériles anciens avec fougère
		YAOU S2b		saprolite avec fragments et blocs bas de talus	3 prises verticales dans ravine			Fluage des matériaux gorgés d'eau
		YAOU S2c		déblais de saprolite à blocs	rainurage vertical	saprolite avec intercalations de couleur variée		



GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

Localisation des points de prélèvement de rejets gravimétriques et de stériles miniers des campagnes BRGM, 2010 et GéoPlusEnvironnement 2010 et 2014

Sources : GéoPlusEnvironnement, SMYD, BRGM

Figure 21

Tableau 12 : Concentrations en métaux sur roche totale (en mg/kg) et sur lixiviat (en µg/L, analyse selon la norme NF EN 12457-2) des prélèvements effectués par le BRGM sur le site de Yaou (BRGM, 2012)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Stot	
	20	2	5	10	5	0,025	5	10	10	10	5	0,01	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	
YAOU R1abc	39	< LQ	38	238	35	< LQ	8	154	19	143	73	0,03	
YAOU R2abc	62	< LQ	73	1439	99	0,03	5	366	15	306	89	0,02	
YAOU R3	66	< LQ	53	2592	55	< LQ	< LQ	304	< LQ	560	225	0,01	
YAOU S1abc	66	< LQ	86	1390	92	0,06	5	554	18	323	102	0,03	
YAOU S2abc	57	< LQ	89	2355	98	< LQ	< LQ	767	10	303	126	0,01	
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Conductivité à 25°C	pH
Valeur seuil	10	3	---	50	2000	1	70	20	10	---	5000	1100	9
Unité	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µS/cm	U
YAOU R2abc	< LQ	< LQ	4,38	0,27	2,59	< LQ	< LQ	3,41	< LQ	< LQ	18,8	9	5,62
YAOU R3	< LQ	< LQ	1,86	1,78	2,22	< LQ	< LQ	9,12	< LQ	< LQ	42,1	8	6,05
YAOU S1abc	< LQ	< LQ	1,61	0,37	2,8	< LQ	< LQ	3,05	< LQ	< LQ	67,8	10	5,34
YAOU S2abc	< LQ	< LQ	0,11	1,16	1,7	< LQ	< LQ	1,42	< LQ	< LQ	9,8	9	5,91

(en vert, la norme eau potable de l'OMS et en jaune, les valeurs seuils de l'Arrêté du 11/01/2007 relatives aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine)

Les résultats de la campagne 2010 du BRGM mettent en évidence que les **teneurs en soufre total des échantillons sont inférieures à 0,1%**. Les échantillons analysés sont donc en dessous du critère de 0,1% du soufre total compté en soufre réduit issu des sulfures. Ils sont donc considérés comme **non acidogènes** au regard de l'Arrêté du 19 Avril 2010.

Les concentrations en métaux sur roche totale sont variables d'un échantillon à l'autre. les concentrations en métaux sur lixiviat sont toutes inférieures au seuil de potabilité.

Les concentrations en mercure mesurées sur roche totale sont inférieures au fond géochimique guyanais.

D'après les analyses menées par le BRGM en 2010, les **rejets gravimétriques** prélevés dans les bassins 3 et 4 et sur les verses à **stériles ne sont pas acidogènes** et présentent des **teneurs en mercure inférieures à 0,1 mg/kg**, comparables au fond géochimique guyanais. Même si les concentrations en certains éléments, mesurées sur les échantillons de rejets et de stériles, dépassent le fond géochimique local, les rejets gravimétriques et les stériles d'extraction ne sont **pas susceptibles de relarguer des concentrations significatives de métaux** dans les eaux superficielles.

5.1.3.4. Etudes GEO+ pour SMYD (2010, 2014)

Les rejets gravimétriques des bassins 2 à 4 ont également fait l'objet d'une caractérisation géochimique (analyse chimique par ICP, test de lixiviation et analyse du potentiel acidogène) en 2010 et 2014 dans le cadre des études d'impact du dossier ICPE de 2010 (régularisation de l'usine gravimétrique et des bassins de rejets) et du présent dossier dont la réalisation a débuté en 2014.

La localisation et le descriptif des échantillons de rejets gravimétriques des campagnes de 2010 et 2014 sont résumés dans le tableau suivant et dans la *Figure 21*.

Zone	Régime d'autorisation	Descriptif	Matériaux échantillonné	Analyses demandées
GéoPlusEnvironnement, 2014				
S1	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°3	Rejets de la gravimétrie	Lixiviation (8 métaux, sulfates, fluorures, chlorures, indice phénol), Test de drainage acide minier
S2	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°4		
S5	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°2		
GéoPlusEnvironnement, 2010				
S1	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°4 *(en 2010 : 1er parc à résidus amont)*	Rejets de la gravimétrie	Lixiviation
S2	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°4 *(en 2010 : 1er parc à résidus aval)*		Lixiviation
S3	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°3 *(en 2010 : 2ème parc à résidus amont)*		Lixiviation
S4	AOTM	Bassin de rejets gravimétriques n°3 *(en 2010 : 2ème parc à résidus aval)*		Lixiviation

Les fiches complètes des rapports d'analyses de 2010 et 2014 sont présentées en *Annexes 2 et 3 de l'Etude d'Impact.*

5.1.3.4.1. Résultats de la campagne 2010

12 métaux

	Unités	S1	S2	S3	S4	Valeur de référence
Arsenic	mg / kg MS	4,53	3,23	13	9,48	10
Cadmium	mg / kg MS	0,94	0,89	**1,55**	**1,01**	1
Chrome	mg / kg MS	286	**401**	314	176	318
Cuivre	mg / kg MS	37,3	31,3	**69,8**	43,1	52
Nickel	mg / kg MS	**95,4**	**104**	**133**	**61**	53
Plomb	mg / kg MS	11,4	12,2	11,3	6,94	23
Zinc	mg / kg MS	33,9	**52,2**	36,2	26,4	45
Fer	mg / kg MS	46 400	41 100	79 000	68 400	176 800
Manganèse	mg / kg MS	1110	692	1030	438	-
Antimoine	mg / kg MS	4,24	4,83	6,02	4,6	30
Sélénium	mg / kg MS	<10	<10	<10	<10	-

Méthodes aux normes : NF ISO 11464, NF EN 13346, NF EN ISO 11885, NF ISO 16772.

D'une manière générale, les résultats d'analyses effectuées sur les rejets gravimétriques sont très proches et parfois supérieurs aux seuils de référence, **témoignant** ainsi, toujours, d'un **fond géochimique particulièrement élevé pour les métaux** et ici plus particulièrement pour le

chrome, le **cuivre**, le **nickel** et le **zinc**. Les anomalies chimiques mesurées dans les rejets gravimétriques sont directement dépendantes du fond géochimique local, c'est-à-dire des caractéristiques chimiques du **gisement de Yaou**.

Mercure

	Unité	S11	S1	S2	S3	S4	Valeur de référence
Mercure	mg / kg MS	0,03	0,017	0,015	0,019	0,016	0,15

Méthode aux normes : NF ISO 11464, NF EN 13346, NF ISO 16772.

Concernant les prélèvements de 2010, aucune station ne présente une valeur supérieure à 0,15 mg / kg MS.

Si le mercure n'est pas systématiquement présent en concentration conséquente dans les horizons pédologiques du site ou du secteur, ainsi que dans les résidus de l'usine, **il convient de porter une attention particulière au risque de diffusion de cet élément vers le réseau hydrographique en aval**.

Tests de lixiviation

Les tests de lixiviation permettent de connaître les éléments des résidus de l'usine qui pourraient se retrouver dans les eaux de ruissellement ou d'infiltration, en aval du site.

Les valeurs ici obtenues pour ces rejets dans le milieu naturel sont comparées ci-après aux seuils de qualité pour les rejets aqueux (Arrêté Ministériel du 2 février 1998 dit « Arrêté intégré ») :

		Unités	S1	S2	S3	S4	Valeur de référence *(Annexe II de l'Arrêté Ministériel du 12 décembre 2014 : Critères d'acceptabilité des déchets en ISDI – Analyses lors du test de lixiviation)*
Lixiviation 24h : TENEUR DE L'ELUAT	Arsenic	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,5
	Baryum	mg/kg MS	3,85	2,46	2,16	2,13	20
	Cadmium	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,04
	Chrome	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,5
	Cuivre	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2
	Molybdène	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,5
	Nickel	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,4
	Plomb	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,5
	Antimoine	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,06
	Sélénium	mg/kg MS	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,1
	Zinc	mg/kg MS	1,46	0,96	0,24	0,41	4
	Magnésium	mg/kg MS	30,8	3,47	4,49	5,13	-

Méthodes aux normes : NF ISO 11464, NF EN 13346, NF EN ISO 11885, NF EN 12457-2, NF ISO 11465, NFT 90-008, NF EN 27888, NF EN ISO 17294-2.

Les quatre tests de lixiviation effectués sur les échantillons S1, S2, S3 et S4 ne révèlent pas de concentrations significatives en métaux dans les éluats (valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ) ou à la valeur de référence). **Ils ne relarguent donc pas de polluants.**

Drainage minier acide

Des tests de type drainage minier acide ont également été réalisés par la SMYD sur des échantillons de minerai et de rejets issus du traitement gravimétrique en 2010 :

Echantillon	$S_{sulfure}$ (%)	Acidogène
Minerai fosse A	0,007	Non
Minerai fosse Yaou central	0,00	Non
Rejets Bassin 3	0,001	Non
Rejets Bassin 4	0,001	Non

Les **teneurs en soufre sous forme de sulfures sont inférieures à 0,1%** (0% à 0,007% sur les 4 échantillons étudiés). Les **rejets gravimétriques peuvent donc être considérés comme non générateurs d'acidité** au sens de l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 Avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives**.**

5.1.3.4.2. Résultats de la campagne 2014

8 métaux

Les résultats d'analyses de métaux sur les échantillons de sols prélevés par GéoPlusEnvironnement en 2014 sont donnés dans le tableau ci-après :

Métal	Unités	S1 *(bassin B3)*	S2 *(bassin B4)*	S5 *(bassin B2)*	Valeur de référence
Arsenic	mg / kg M.S.	2,77	5,13	6,62	10
Cadmium	mg / kg M.S.	< 0,40	< 0,40	< 0,41	1
Chrome	mg / kg M.S.	**356**	**538**	**892**	318
Cuivre	mg / kg M.S.	34	**57,5**	**75,9**	52
Nickel	mg / kg M.S.	**91,8**	**154**	**136**	53
Plomb	mg / kg M.S.	9,49	12,7	9,99	23
Zinc	mg / kg M.S.	**53,6**	**47,6**	44,3	45

Les teneurs en métaux dans les rejets gravimétriques sont relativement fortes vis-à-vis des valeurs seuils de référence présentées. Toutefois, ces anomalies en métaux, identifiées dans les rejets gravimétriques, sont directement liées à la chimie du gisement de Yaou.

Dans les rejets gravimétriques comme dans les sols du site, les teneurs en **chrome et en nickel sont relativement élevées**, de 89,7 à 1 350 mg/kg de matière sèche pour le chrome et de 13,7 à 154 mg/kg de matière sèche pour le nickel.
Pour rappel, le bruit de fond géochimique local montre que les teneurs de chrome peuvent atteindre 200 mg/kg MS et en moyenne environ 71,8 mg/kg MS. Pour le nickel, les valeurs peuvent atteindre 55 mg/kg MS et en moyenne 22,7 mg/kg MS.

Les **teneurs en métaux** dans les **rejets gravimétriques**, selon les dernières analyses, sont relativement **élevées, notamment en chrome total et en nickel**. Les caractéristiques chimiques

des rejets sont directement **liées au fond géochimique local élevé** (caractéristiques chimiques des lithologies et des minéralisations du secteur de Yaou) **pour ces mêmes métaux** (*Cf. analyses sur le minerai Yaou*).

Mercure

Métal	Unités	S1 *(bassin B3)*	S2 *(bassin B4)*	S5 *(bassin B2)*	Gamme des concentrations ubiquitaires (INERIS, 2003)
Mercure	mg / kg M.S.	0,13	< 0,10	**0,54**	0,03 à 0,15

Sur l'échantillon prélevé dans le bassin n° 4, le mercure n'a pas été détecté, car absent ou présent dans des concentrations inférieures au seuil de quantification du laboratoire.

Le mercure a été détecté sur les échantillons de rejets gravimétriques prélevés dans les bassins n°2 et 3 dans des concentrations proches de la valeur de référence pour l'un des échantillons du bassin n°3 et 3 fois plus élevées sur le second bassin.

Le procédé de traitement gravimétrique utilisé par la SMYD ne faisant pas entrer en jeu le mercure comme réactif, **la présence de cet élément est liée au fond géochimique naturel des sols ou oxisols du site de Yaou en particulier et de la Guyane en général**, comme expliqué précédemment. Une attention particulière devra être portée sur le potentiel de lixiviation du mercure contenu dans les rejets gravimétriques.

Les résultats d'analyses sur les sols en S3 et S4 montrent la présence naturelle de mercure dans les sols sur le site de Yaou.

Tests de lixiviation

Sur ces mêmes échantillons de sols ont été réalisés des tests de lixiviation (test sur fraction solubilisée), présentés dans le tableau ci-après :

Métal	Unités	S1 *(bassin B3)*	S2 *(bassin B4)*	S5 *(bassin B2)*	Valeur de référence (mg/kg MS) *(Annexe II de l'Arrêté Ministériel du 12 décembre 2014 : Critères d'acceptabilité des déchets en ISDI – Analyses lors du test de lixiviation)*
Métaux					
Antimoine	mg/kg MS	<0,005	<0,005	<0,005	0,06
Arsenic	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	0,5
Baryum	mg/kg MS	0,12	<0,10	<0,10	20
Cadmium	mg/kg MS	<0,002	<0,002	<0,002	0,04
Chrome	mg/kg MS	0,17	<0,10	<0,10	0,5
Cuivre	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	2
Mercure	mg/kg MS	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Molybdène	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	0,5
Nickel	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	0,4
Sélénium	mg/kg MS	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Zinc	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	4

Les lixiviats potentiellement générés à partir des sols de la future plateforme UMTMA et à partir des rejets gravimétriques ont des **teneurs en métaux inférieures aux seuils de quantification**

du laboratoire, donc largement inférieures aux seuils de l'Arrêté Ministériel du 12 décembre 2014 pour l'admission des déchets sur des Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).

Les rejets gravimétriques sont ainsi peu ou pas susceptibles de libérer des métaux.

Drainage minier acide

Des tests de type drainage minier acide ont également été réalisés par la SMYD sur des échantillons de rejets issus du traitement gravimétrique (S1, S2 et S5), en 2014 (*Cf. Annexe 10*) :

Echantillon	S_{total} (%)	$S_{sulfate}$ (%)	$S_{sulfure}$ (%)	PA Kg $CaCO_3$/t	C_{total} (%)	$PN_{modifié}$ Kg $CaCO_3$/t	PN (%)	PN/PA	Acidogène
S1	0,05	0,000	0,05	1,7	<0,05	0,0	-1,7	0,0	Non
S2	0,03	0,030	0,00	0,1	<0,05	0,0	-0,1	0,0	Non
S5	0,07	0,007	0,07	2,0	0,26	0,0	-2	0,0	Non

Les **teneurs en soufre sous forme de sulfures sont inférieures à 0,1%** (de 0 à 0,07% sur les trois échantillons étudiés). Les **rejets gravimétriques peuvent donc être considérés comme non générateurs d'acidité** au sens de l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 Avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives**.**

5.1.3.4.3. Synthèse des diagnostics GEO+ pour SMYD (2010 et 2014)

Les analyses effectuées en 2010 sur des échantillons bruts prélevés dans les bassins 2, 3 et 4 de rejets gravimétriques montrent des teneurs en métaux relativement élevées et plus particulièrement pour le cuivre, chrome, nickel, zinc. Les rejets résultant du traitement gravimétrique (aucune de tranformation chimique) du minerai primaire extrait sur les fosses minières, ces résultats témoignent ainsi **d'un fond géochimique élevé en métaux**.

De même, le mercure a été détecté sur les essais de 2014 sur les rejets démontrant **probablement la présence naturelle du mercure dans les sols du site**.

En sortie de l'usine de traitement, les rejets gravimétriques sont disposés dans les bassins de décantation afin d'en extraire une bonne partie de l'eau qu'ils contiennent. Les eaux pompées sont ensuite évacuées vers le milieu naturel. Des tests de lixiviation ont donc été réalisés, en raison du fond géochimique élevé en métaux identifié dans les rejets gravimétriques.

Les résultats de ces essais montrent que **les rejets gravimétriques sont ainsi peu ou pas susceptibles de libérer des métaux.**

Enfin, en 2014, des tests de type drainage minier acide ont également été réalisés sur les rejets gravimétriques. Les résultats montrent que les **rejets gravimétriques peuvent être considérés comme non générateurs d'acidité** au sens de l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 Avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives**.**

D'après les différentes études menées par KCA (1998-1999), SMYD (2006-2007), le BRGM (2010) et GéoPlusEnvironnement (2010-2014)**, les échantillons de minerai, les stériles d'extraction et les rejets gravimétriques ne sont pas acidogènes** et présentent des **teneurs en mercure allant de 0,017 mg/kg à 0,13 mg/kg.**

Même si les concentrations en certains éléments mesurées sur les échantillons de rejets et de stériles dépassent le fond géochimique local, les rejets gravimétriques et les stériles d'extraction ne sont **pas susceptibles de relarguer des concentrations significatives de métaux** dans les eaux superficielles et souterraine. Les concentrations en mercure sur lixiviat sont inférieures aux limites de quantification.

5.1.4. Classification

Les rejets gravimétriques sont des ***« déchets issus de la transformation physique et chimique des minéraux métallifères »*** **(rubrique 01 03)**. La caractérisation présentée dans les paragraphes précédents permets de conclure qu'ils sont **inertes et non dangereux** au sens de l'Arrêté Ministériel du 19/04/2010.

Il est à noter que le projet prévoit notamment la création de l'UMTMA, au niveau de laquelle tous les rejets gravimétriques (contenant encore 75 % de l'or initial) seront progressivement traités. Dans le cadre du présent projet, les seuls déchets ultimes qui seront produits seront donc les résidus décyanurés en sortie de l'UMTMA, évoqués au *Chapitre 6*.

5.2. METHODE DE STOCKAGE ACTUELLE DES REJETS GRAVIMETRIQUES

Les rejets gravimétriques du site de Yaou sont actuellement stockés dans une **succession de bassins** se trouvant en partie centrale de la demande d'autorisation ICPE et **séparés par des digues**. La position de ces bassins et des digues est indiquée sur la *Figure 27*.

Les bassins de rejets sont étagés de la manière suivante :

- le **bassin n°2** se trouve au nord-est de l'usine à une cote comprise entre 106 à 120 m NGF;
- la **digue D1** sépare les bassins de rejets 2 du bassin d'eau claire amont dans lequel sont décantées les eaux claires ;
- le **bassin n°3** se situe juste en contrebas de l'usine à une cote comprise entre 107 à 120 m NGF ;
- la **digue D1'** sépare les bassins de rejets 3 et 2
- le **bassin 4** est localisé au sud de l'usine à une cote comprise entre 103 à 116 m NGF ;
- la **digue D1''** sépare les bassins de rejets 3 et 4 ;
- la **digue D2** délimite l'extrémité aval du bassin de stockage **B4.**

Les rejets sont déversés dans les parcs via une canalisation. Par sédimentation, les fines se déposent dans la zone la plus aval de l'ouvrage. Cette disposition permet d'épauler la digue, par consolidation et compaction des fines qui présenteront ainsi une très faible perméabilité (proche de 10^{-9} m/s).

La taille des bassins est prévue pour maximiser la décantation avant repompage de l'eau pour réutilisation dans le traitement. Les digues des bassins du parc sont conçues de manière à garantir la stabilité générale de l'ouvrage, c'est-à-dire éviter les conditions hydro-géotechnique d'un glissement d'ensemble ou localisé des digues des bassins qui conduirait à une reprise partielle mais rapide des fines stockées, sédimentées et partiellement indurées par les eaux superficielles (ce qui engendrerait un risque de pollution des cours d'eau en matières en suspension et conduirait à une perte considérable de ressources pour l'exploitant, compte tenu de la teneur en or des rejets).

5.3. GESTION A VENIR DES REJETS GRAVIMETRIQUES

A terme, les bassins B2, B3 et B4 seront vidés et les rejets gravimétriques retraités sur l'UMTMA. Les bassins vidés serviront au stockage des résidus ultimes décyanurés, non dangereux mais non inertes. Ainsi, **une nouvelle zone de stockage** sera utilisée pour les **futurs résidus issus du traitement gravimétrique** : la **fosse A** (Parc à rejets n°1, PAR 1) et la **fosse centrale** (PAR 2) serviront de bassins de stockage des rejets gravimétriques, en attendant une potentielle valorisation (traitement postérieur sur l'UMTMA).

La **fosse A** correspond à une ancienne fosse d'extraction minière. L'exploitation a laissé place à une large « dent creuse » dans le relief dont le fond (de fouille) est situé à 119 m NGF, à environ 1,5 m sous le niveau de la piste longeant le sud de la fosse.

A condition d'élever une digue de soutènement à l'aval, les rejets pourront être stockés sur environ 10 mètres de hauteur pour une emprise en surface d'environ 16 000 m^2 et un volume d'environ 87 000 m^3.

La **fosse Centrale** sera exploitée dans le cadre de ce projet, dès les premières années, pour permettre de libérer un espace de stockage à proximité de la future usine gravimétrique.

Cette fosse sera exploitée en « dent creuse ». Des fronts seront créés pour permettre d'approfondir l'exploitation au centre du massif. Les crêtes des reliefs délimitant la fosse seront situées entre 125 et 130 m NGF. Les rejets gravimétrique seront jusqu'à 130 m NGF nécessitant ainsi la mise en place de digues de rehausse du stockage des matériaux, notamment à l'extrémité Ouest et sur toute la limite Est du stockage.

Les rejets en sortie de l'usine de traitement gravimétrique seront directement acheminés et **déversés en partie aval de la fosse** en cours de remplissage, soit depuis le tracé de la digue à monter. La digue sera élevée par phase successive de manière coordonnée à l'avancée du remblaiement du bassin (*Cf. Figures 22, 23 et 24*).

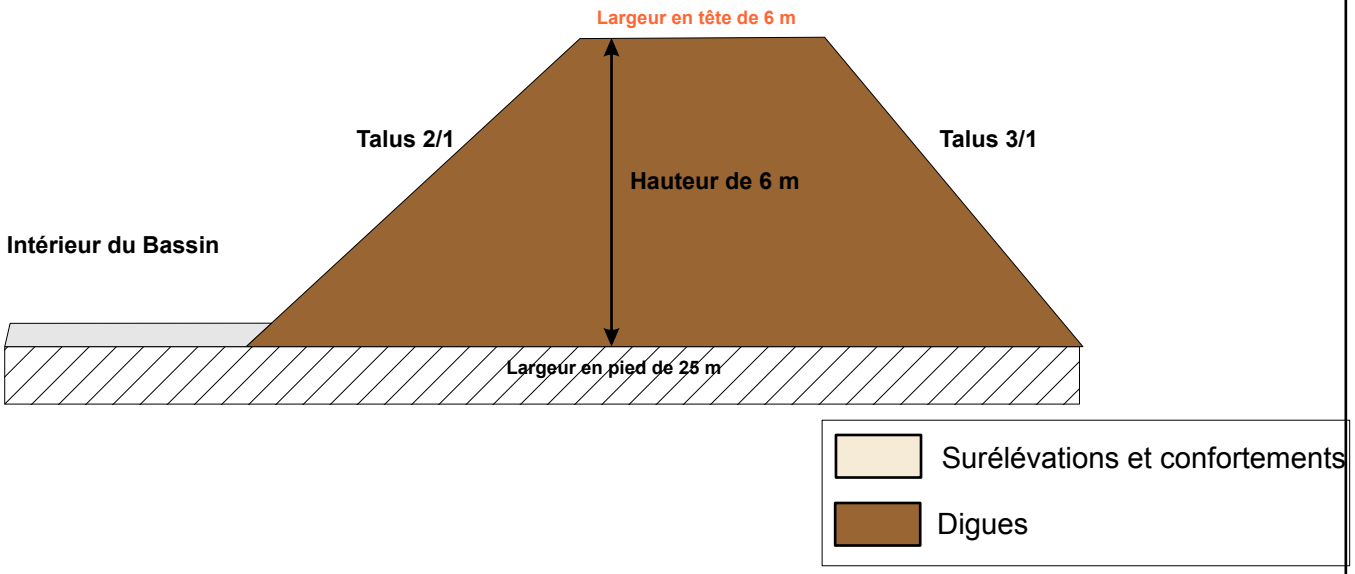
Les rejets décanteront dans le bassin de l'aval vers l'amont du bassin et un **canal de dérivation aménagé sur l'une des bordures du bassin assurera une bonne décantation des eaux**.

Le principe du canal de dérivation est que la courbure en entrée limite la sédimentation des rejets gravimétriques et permet uniquement la décantation des eaux claires.

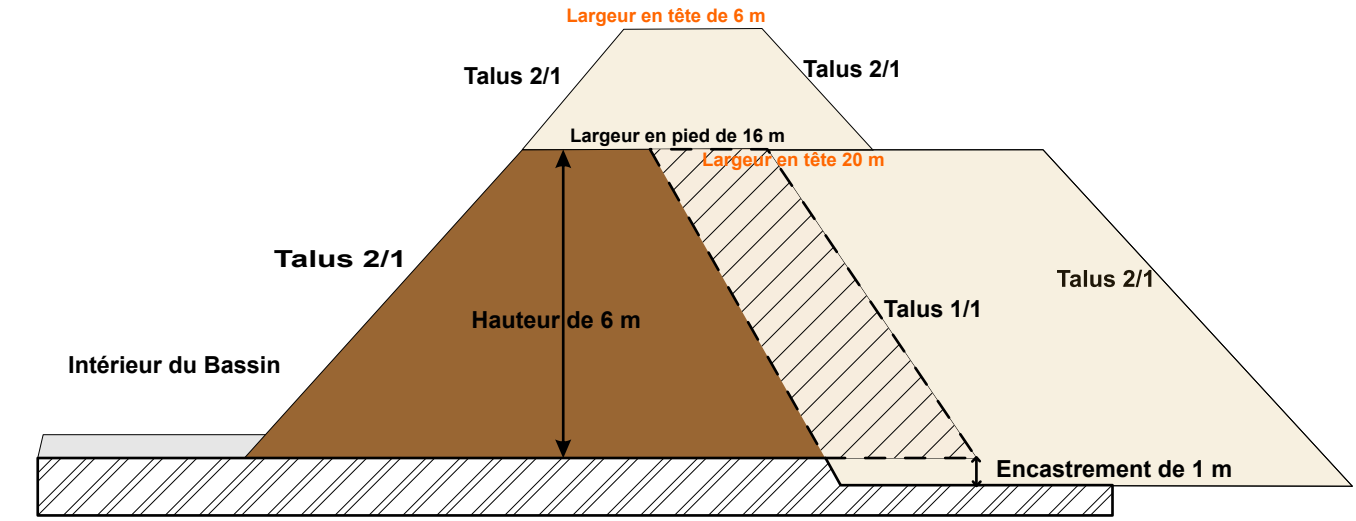
Les eaux décantées seront pompées depuis l'extrémité du canal de dérivation et réemployées dans le circuit fermé de l'usine gravimétrique (*Cf. Figure 35*).

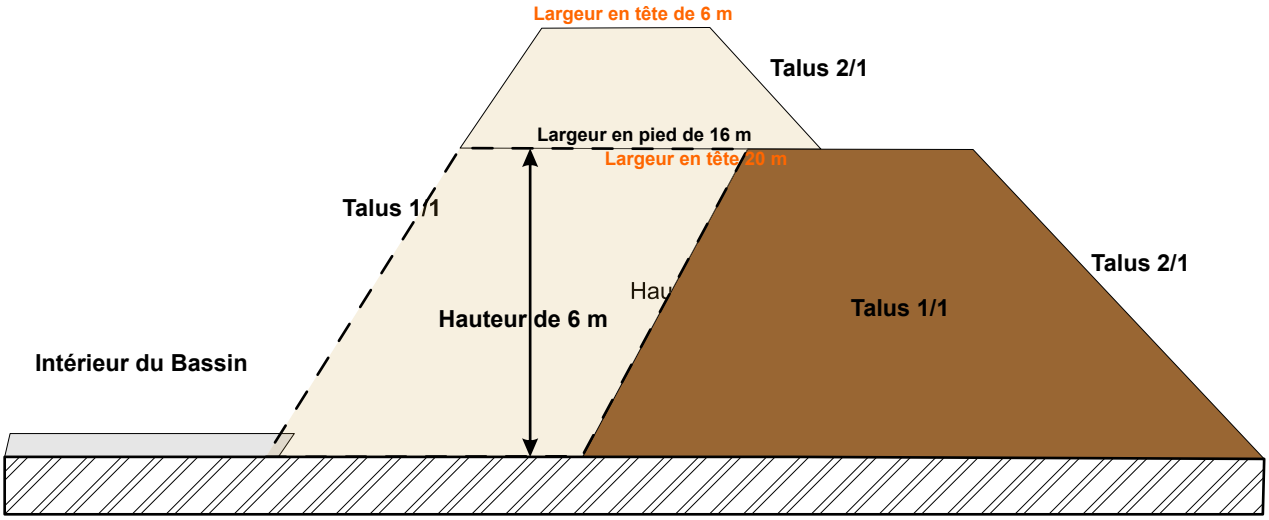
Des surverses permettront ponctuellement (en cas de fortes intempéries) le rejet du surplus d'eau vers le bassin d'eau claire n°1 (via une canalisation montée dans le corps de digue) et vers la crique s'écoulant à l'Ouest de la fosse centrale (via une canalisation enterrée dans le terrain naturel ou dans le corps de digue selon les cas).

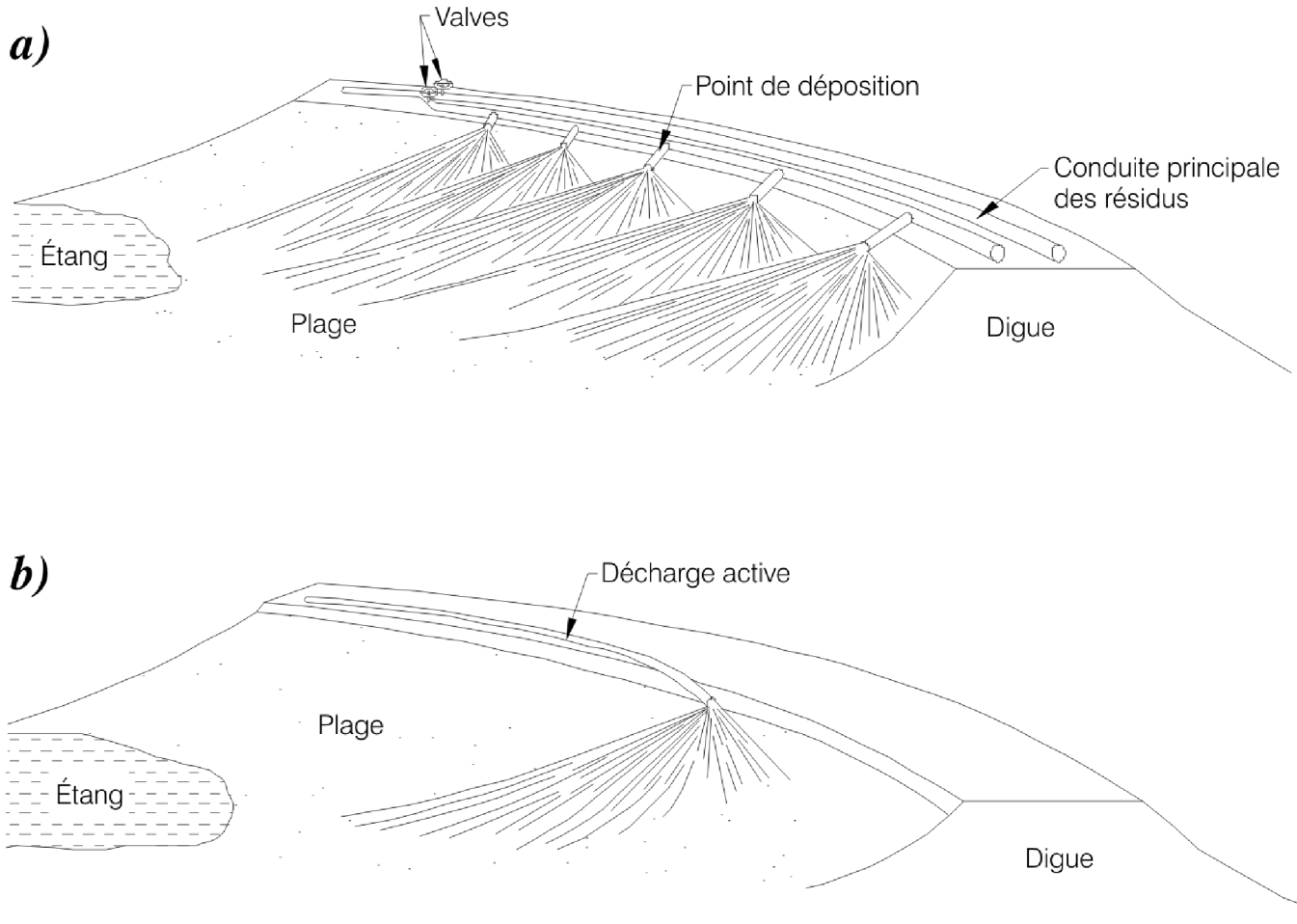
Exemple de préconisations pour la création de digues



Exemples de préconisations pour le confortement ou la surelevation de digues existantes







(a) Dépôt linéaire (spigotting) : dépôt des résidus à partir d'une conduite parallèle raccordée à la conduite de résidus principale.
La conduite parallèle est munie de plusieurs points de dépôt.
Cette méthode de dépôt produit des plages quasi-linéaires, parallèles à la conduite de dépôt.

(b) Point de dépôt unique : déchargement de tout le débit de résidus directement à partir de la conduite de dépôt principale.

GéoPlusEnvironnement

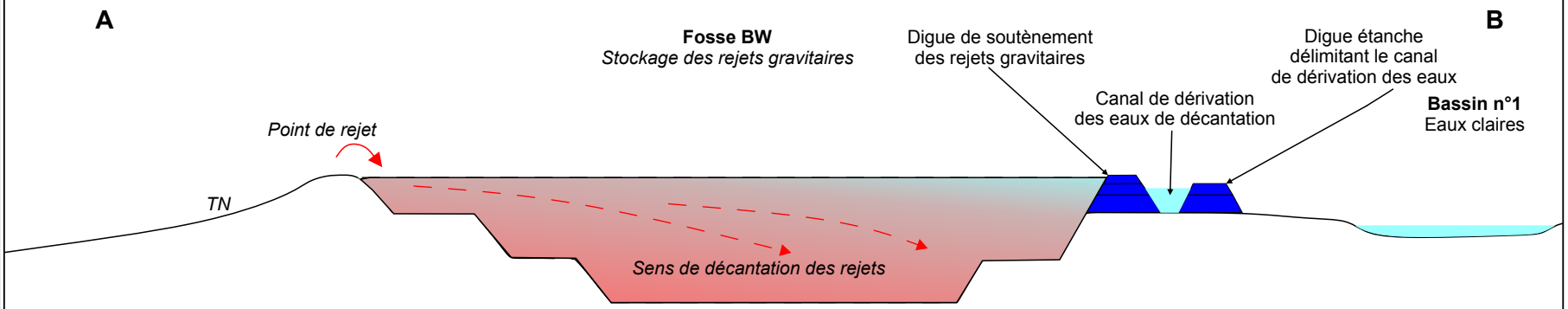
SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

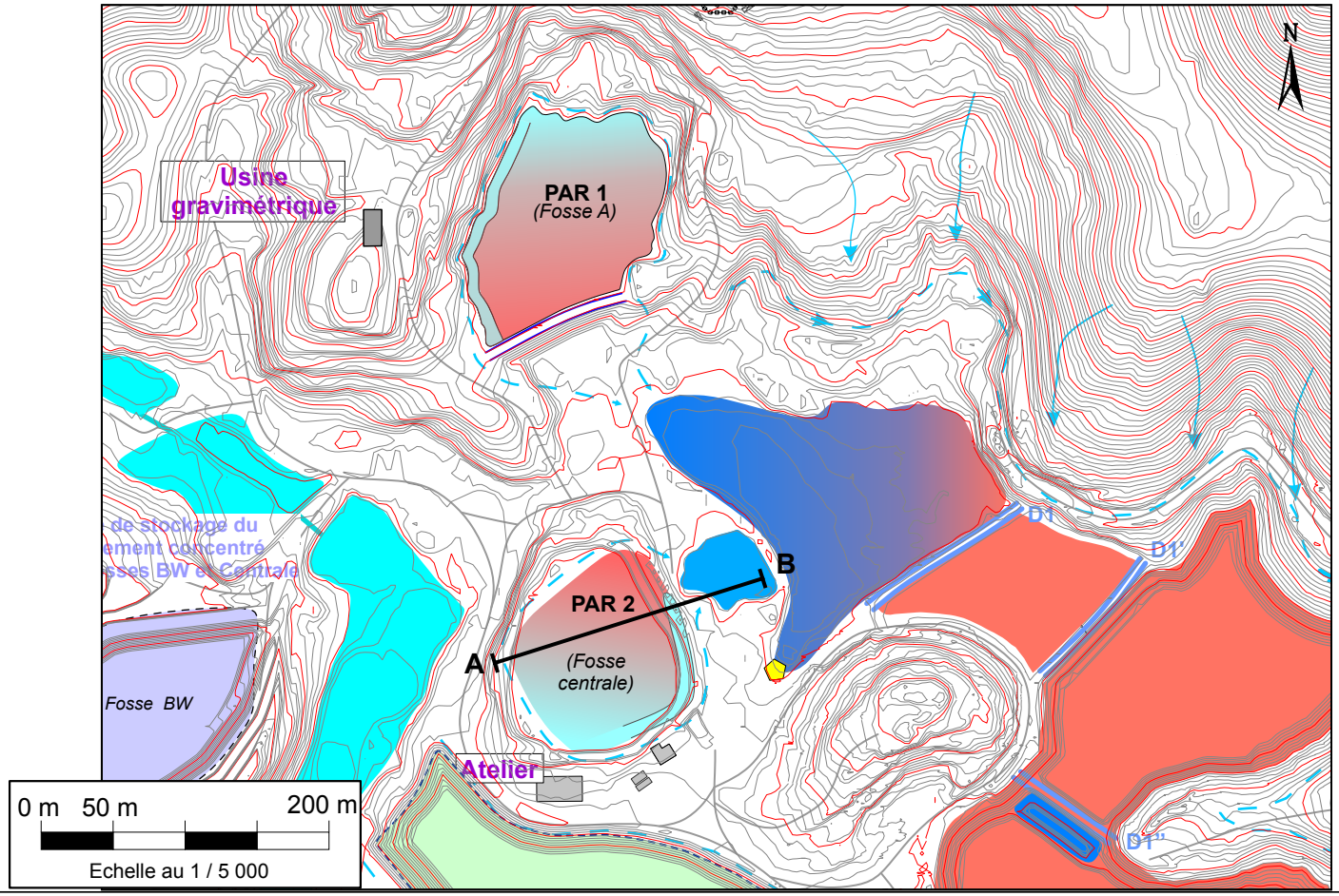
Principe de construction des digues de rehausse des rejets gravimétriques

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 24

Coupe schématique d'un bassin de stockage des rejets gravitaires aménagés dans une anciennes fosse d 'extraction minière





5.4. CONSTITUTION DES DIGUES

Les préconisations présentées ci-dessous résultent de l'étude géotechnique présentée en *Annexe 11* et relative à la mise en place du bassin de stockage des rejets décyanurés ainsi que la note géotechnique présentée en *Annexe 12*.

Ces préconisations tiennent également compte de l'étude menée par le bureau d'études THETYS, en 2012, concernant les principes de construction, gestion et surveillance des ouvrages de retenue des eaux et des résidus, présenté en *Annexe 13*.

5.4.1. Localisation

L'historique du secteur d'implantation de la future digue de rétention des rejets gravimétriques dans la fosse A est mal connu. Il est évident, toutefois, que ce site est très perturbé, la fosse ayant déjà partiellement été remblayée par des stériles ou autres matériaux.

5.4.2. Aménagement des futures digues

- *Eléments généraux*

Une des contraintes du site, habituelle en Guyane, réside dans le choix particulièrement étroit pour la disponibilité des matériaux qui entrent dans la construction des ouvrages, en particulier des matériaux graveleux et a fortiori des matériaux calibrés, avec l'absence de possibilité d'importer des matériaux de carrière sur le site.

Les matériaux disponibles sur le site sont (*Cf. Annexes 11 et 14*) :

- **Colluvions et saprolites superficielles faiblement ferralitisées** de classe GTR A1 : matériaux à utiliser pour la **construction des digues étanches**. Ils sont présents sur des épaisseurs de 2,5 m à 3 m en moyenne au sommet des reliefs (produits du terrassement projeté pour l'UMTMA, de la future usine gravimétrique et des couches superficielles sur l'emprise de la zone dédiée à l'implantation des futurs parcs à résidus ultimes, décyanurés). Leur disponibilité n'étant pas illimitée, leur utilisation devra être gérée avec attention ;
- **Saprolites argilo-sableuses** : présentes dans d'importants volumes mais trop sensibles à l'eau. Elles **ne devront pas être utilisées** ;
- **Matériaux graveleux** (latérite issue du terrassement de la zone Central et des fosses CL et BW) : disponibles, sur le site de Yaou, en quantité relativement élevée, cas plutôt rare sur les sites miniers guyanais. Ils seront utilisés pour la réalisation des **ouvrages drainants** (fossés-drains, semelles drainantes, etc..) et pour les **corps de digue perméables**.

Le **corps des digues de rétention** de rejets gravimétriques dans les fosses A et centrale sera ainsi réalisé avec des **colluvions et saprolites superficielles ferralitisées**. Si besoin, la semelle drainante de l'ouvrage sera conçue avec des matériaux de type graveleux (*Cf. Figure 22)*.

- *Fondations et ancrage latéral*

La fondation de la digue devra être réalisée avec la plus grande attention. Une expertise géotechnique complémentaire pourra être réalisée préalablement au démarrage des travaux pour déterminer l'emplacement le plus approprié pour mettre en place cette digue et émettre les recommandations techniques. Un suivi géotechnique devra être mis en place au démarrage de l'ouvrage pour assurer la stabilité à long terme de la digue.

Sur la base des préconisations faites dans les premières études géotechniques réalisées sur le site de Yaou, les préconisations suivantes devront être suivies :

- le terrain d'accueil des futures digues devra être **intégralement purgé** des formations superficielles médiocre (vases, limons, remblais anciens) ou trop perméables (alluvions lavées en fond de crique), et des éventuels végétaux jusqu'à rencontrer le substratum saprolitique ;
- le corps de digue sera encastré dans le substratum par le biais d'une clé d'étanchéité sous la digue sous forme d'une tranchée, réalisée en sous face de la digue, ancrée dans le sol imperméable en place avec comblement d'argile compactée (profondeur de 1 m et largeur du compacteur). Ces réalisations devront faire l'objet d'une contrôle géotechnique d'exécution (mission G4) afin de s'assurer de leur bonne réalisation et/ou éventuellement d'adapter les ouvrages aux particularités rencontrées sur le terrain.

➢ *Ancrage latéral*

La digue devra être ancrée à 1,5 m dans la formation saprolitique par la mise en place d'une tranchée d'1,5 m environ de largeur (ou largeur compacteur) creusée dans le terrain en place et remplie de matériaux argileux compactés supprimant le risque de fuite par contournement latéral.

➢ *Semelle drainante*

La mise en place d'une semelle drainante en matériaux perméables en sous face des remblais sera nécessaire pour garantir l'absence de saturation en eau du corps de digue à construire et maintenir sèche et stable la partie aval du corps de digue assurant un rôle de poids.

➢ *Mise en œuvre des matériaux en remblais*

La **construction de la digue étanche** avec les colluvions et saprolites légèrement ferralitisées **devra être contemporaine à la mise en remblai des rejets gravimétriques** pour limiter l'altération liée aux agents météoriques (**pas de stock intermédiaire**).

En fin de journée ou lors d'épisodes pluvieux, les chantiers seront compactés pour favoriser le ruissellement des eaux météoriques et de limiter les infiltrations.

Post-construction, ces digues feront l'objet d'un suivi périodique, tant en période d'activité du site (suivi mensuel piézométrique et suivi de la pente des digues que lors du suivi post-fermeture (suivi annuel pendant 4 ans).

5.5. PHASAGE A VENIR DU STOCKAGE DES REJETS GRAVIMETRIQUES

La gestion des rejets gravimétriques sera liée au phasage de traitement par gravimétrie du minerai primaire fortement concentré (> 3 g/t). Sur les 11 fosses présentées dans le projet d'exploitation, seules 10 fourniront du minerai fortement concentré et ce pour un volume total estimé à 236 000 m^3 (*Cf. Tableau 2 p 14 et Figure 3 p 16*).

La Figure 27 et la Figure 28, p 112 et 113 et le tableau suivant présentent le phasage de stockage des rejets gravimétriques :

Tableau 13 : Phasage de stockage des rejets gravimétriques

Phase	Année	Tonnage des rejets gravimétriques stockés	Volume des rejets gravimétriques stockés	Origine du minerai primaire traité	Lieu de stockage
1	AP + 5 ans	145 000 T	90 000 m^3	Fosses BW, Centrale, H, H Est, H Nord, M, Pinheiro, I Sud, K Sud-Est	Fosse A
		175 000 T	110 000 m^3		Centrale
2	AP + 10 ans	60 000 T	36 000 m^3	Fosses K Sud-Est et K Nord	
	Total	**380 000 T**	**236 000 m^3**		

5.6. CARACTERISATION DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES AU REGARD DE LA « CATEGORIE A » DE L'ARRETE DU 19 AVRIL 2010

5.6.1. Définition de la catégorie A

Une installation de gestion de déchets est classée dans la catégorie A, au sens de l'Arrêté du 19 Avril 2010, si les effets, à court ou à long terme, d'une défaillance due à une **perte d'intégrité structurelle** ou des **défaillances de fonctionnement ou d'exploitation** d'une installation de gestion de déchets peuvent entraîner des conséquences graves sur les personnes physiques et/ou des dommages graves sur la santé humaine et l'environnement.

Le cycle de vie complet de l'installation, y compris la phase de suivi après fermeture des installations de stockage, est pris en compte lors de l'évaluation des risques que présente l'installation.

On entend par **« intégrité structurelle »** d'une installation de gestion de déchets la capacité de cette installation à contenir les déchets à l'intérieur de ses limites suivant les modalités prévues lors de sa conception. La perte d'intégrité structurelle couvre tous les mécanismes de défaillance susceptibles de toucher la structure de l'installation de gestion de déchets concernée. L'évaluation des conséquences de la perte d'intégrité structurelle comprend l'incidence immédiate de tout transport de matériau hors de l'installation du fait de la défaillance et les effets qui en résultent à court et long terme.

On entend par **« défaillances de fonctionnement ou d'exploitation »** de l'installation de gestion de déchets, les modes d'exploitation ou de fonctionnement susceptibles de donner lieu à un accident majeur, y compris le mauvais fonctionnement des mesures de prévention ou de protection de l'environnement et une conception défectueuse ou insuffisante de l'installation.

Le classement en catégorie A s'apprécie au regard de trois critères :

1) le niveau de risque de perte d'intégrité des installations de stockage ;
2) la quantité de déchets dangereux présente dans les stockages ;
3) la quantité de substances et préparations dangereuses présente dans les bassins de résidus.

5.6.2. Niveau de risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage

Le risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage est évalué quantitativement dans l'étude hydraulique fournie en *Annexe 15* et reprise dans le *Tome 4 : Etude de dangers* de ce dossier. Le tableau suivant en reprend les principales conclusions.

5.6.2.1. Evaluation du risque

Facteur à prendre en compte	Positionnement du projet	
La taille et les caractéristiques de l'installation, notamment sa conception	*Cf.Annexe 12 et § 5.3 p 80* Une expertise géotechnique complémentaire permettra de préciser les premières recommandations édictées. Le bon déroulement de la construction des ouvrages et la prises en compte des recommandations de l'étude géotechnique, seront assurés par le **suivi des travaux par un géotechnicien**.	
La quantité et la nature des déchets traités dans l'installation, notamment leurs propriétés physiques et chimiques	Quantités de rejets gravimétriques	236 000 m^3 au total
	Densité des rejets	1,3 (traitement sur l'installation du minerai primaire)
	Les rejets gravimétriques peuvent être considérés comme inertes (par de libération de métaux susceptible de polluer les eaux superficielles et rejets non générateurs d'acidité) Les rejets seront très peu mobiles et ne s'épancheront pas loin et à très faible vitesse en cas de rupture de digue. Ils seront également très faiblement susceptibles à la liquéfaction.	

Facteur à prendre en compte	Positionnement du projet
La topographie du site de l'installation, notamment les éléments d'étanchéité	Topographie en creux : ancienne fosse d'extraction du minerai délimitée de l'ouest à l'est par les fronts de l'exploitation taillés dans les saprolites (présente sur de grande épaisseur, ≈ 20 -30 m). L'extrémité sud de la fosse sera fermée par une digue étanche, ancrée latéralement dans les versants saprolitiques. Le fond du bassin ne sera pas particulièrement étanchéifié puisque ces rejets sont inertes et que la décantation des eaux contenues dans les résidus s'effectuera depuis la tranche superficielle des rejets vers l'aval du stockage.
Le temps nécessaire à une onde de crue potentielle pour atteindre les zones où se trouvent des personnes	Les eaux stockées par les digues étanches n'atteindront aucune zone où se trouvent des personnes en cas de rupture d'une digue. Les zones impactées au bassin n°1, situé directement à l'aval. PARU 2 jouera un rôle de barrage pour ces déversements. L'UMTMA, située au Sud de la fosse A, sera implantée à environ 18 m au dessus du fond de la vallée. Les rejets, de par leur faible humidité résiduelle (décantation préalable des matériaux entrants) ne s'épancheront pas sur de grandes distances (300 m maximum) et n'atteindront pas des zones où se trouvent des personnes

Grâce à toutes les précautions prises lors de la conception des ouvrages de stockage des rejets gravimétriques et au suivi du chantier de confortement des digues par un géotechnicien, **le risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage des rejets gravimétrique peut être considéré comme très improbable**.

5.6.2.2. Analyse des conséquences

Facteur à prendre en compte	Positionnement du projet
Risque de perte de vies humaines ou danger pour la santé humaine	**Risque négligeable** : aucune personne autre que le personnel travaillant dans l'installation, n'est présente de manière permanente ou pendant de longues périodes dans la zone des effets irréversibles
Danger potentiel pour l'environnement	**Danger potentiel négligeable** : a) Les rejets gravimétriques sont inertes mais leur déversement pourrait toutefois augmenter la charge de matière en suspension sur les cours d'eaux situés en aval b) En cas de rupture de la digue de retenue des rejets, ces derniers, du fait de leur faible teneur en eau auraient une très faible mobilité. La zone impactée serait limitée aux environs immédiats et le nettoyage pourrait être assuré rapidement (reprise à la pelle mécanique des rejets).

5.6.2.3. Gravité des conséquences

Etant données le caractère inerte des rejets gravimétriques, **les conséquences d'une perte d'intégrité des stockages associés seraient très faibles et circonscrites au site**.

5.6.3. La quantité de déchets, substances et préparations dangereux présente dans le stockage

Les stocks de rejets gravimétriques contiendront **uniquement des déchets inertes issus d'une exploitation minière**. Ils ne renfermeront **aucune substance ou préparation dangereuse**.

Ainsi, au regard des critères de l'annexe VII de l'Arrêté du 19 Avril 2010, **les bassins de rejets gravimétriques actuels et à venir de Yaou ne sont pas classés dans la catégorie A** :

- ✓ niveau de risque de perte d'intégrité : risque improbable voire très improbable, conséquences faibles à modérées sur la santé humaine et l'environnement ;
- ✓ déchets inertes ;
- ✓ aucune substance ou préparation dangereuse.

6. GESTION DES FUTURS RESIDUS ULTIMES DECYANURES

L'unité produira un nouveau type de résidu issu du traitement par cyanuration qui sera qualifié d'ultime. Ces **résidus ultimes** seront **préalablement traités pour éliminer les cyanures résiduels** (*Cf. § 4.2.7*, *p 55*). Grâce à la décyanuration des résidus, SMYD pourra viser des teneurs en cyanures facilement libérables très inférieures à 10 ppm. Les essais de décyanuration menés par l'URSTM sur des échantillons provenant du site de dieu Merci (*Cf. Annexe 2*) ont retourné des teneurs en cyanures libres inférieures à 2 ppm. En conditions industrielles SMYD visera des teneurs les plus faibles possibles et se conformera au seuil réglementaire de 10 ppm de cyanures facilement libérables au point de déversement des résidus. Cet objectif pourra être revalorisé à 5 ppm à l'horizon 2018 conformément à la réglementation européenne.

6.1. CARACTERISATION DES FUTURS RESIDUS ULTIMES DECYANURES

Cette caractérisation a été réalisée conformément à l'Annexe I de l'Arrêté du 19 Avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives.

6.1.1. Nature des déchets

Les déchets à gérer seront des résidus issus :

- du retraitement par cyanuration de rejets gravimétriques (Cf. *§ 5.1*, *p 68*) du gisement primaire de Yaou, ici nommé « gisement » secondaire ;
- du traitement par cyanuration du minerai primaire faiblement concentré en or (teneur < 3 g/t) et non préalablement traité sur l'usine gravimétrique.

Les résidus ultimes issus de la cyanuration subiront une destruction des cyanures par le procédé SO_2/air (*Cf. § 4.2.7*, *p 55*), un épaississement et une centrifugation (*Cf. § 4.2.8*, *p 57*) avant leur stockage définitif.

Les déchets à gérer seront donc des **résidus miniers décyanurés épaissis** issus de la cyanuration des anciens rejets gravimétriques du site de Yaou et du minerai primaire faiblement concentré.

6.1.2. Caractéristiques et comportement physique, géotechnique et géochimique à court et à long terme

6.1.2.1. Caractéristiques physiques

Les résidus décyanurés et épaissis mis en stocks auront une humidité résiduelle de 30-40% (soit 60-70% de solide), un d80 de 80 µm (80% des particules < 80 µm) et une densité de l'ordre de 1,35. Sur le long terme, l'humidité des résidus décyanurés peut diminuer à 15-20% par tassement des résidus et exfiltration de l'eau contenue dans les résidus. Leur densité se rapprochera alors de 1,5.

6.1.2.2. Comportement géotechnique

Des essais géotechniques ont été menés sur des rejets gravimétriques rebroyés à 80 µm (analogue aux résidus ultimes décyanurés) dans le cadre d'une précédente étude géotechnique

réalisée sur le site de Dieu Merci pour le dimensionnement des digues des parcs à résidus décyanurés.

Les résidus décyanurés seront analogues à des limons peu plastiques (classification GTR : A1). Il a été observé une perte des caractéristiques mécaniques pour une teneur en eau supérieure à 30% et des caractéristiques maximales (résistances à la compression et au cisaillement) autour d'une teneur en eau de 20%. Le comportement est très peu plastique.

A court terme, les résidus ultimes décyanurés auront des caractéristiques mécaniques médiocres qui iront en s'améliorant avec leur déshydratation. Quoi qu'il en soit, ces résidus seront soutenus par une digue dimensionnée dans les règles de l'art (*Cf. Figure 25 et Annexes 11 et 12*).

6.1.2.3. Caractéristiques géochimiques

- **Teneurs en cyanures**

Dans le cadre de l'étude de faisabilité de l'UMTMA du site minier de Dieu Merci (installation similaire à celle qui sera mise en place sur Yaou et gisement à traiter présentant des caractéristiques proches), des essais minéralurgiques qui comprenaient des tests d'élimination des cyanures par le procédé SO_2/air ont été effectués. Ces tests ont montré que, pour des rapports SO_2/cyanures dissociables élevés (>20) et des pH de 8,2 à 8,75, **la teneur en cyanures facilement libérables (cyanures WAD) était abaissée de 265 à 0,35 ppm**.

La teneur en **cyanures totaux** (cyanures facilement libérable et cyanures complexés) était quant à elle de **1,67 ppm**.

L'Annexe IV de 'Arrêté du 19/04/2010 relatifs à la gestion des déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive fixe la **limite de rejet en cyanures facilement libérables au point de déversement des résidus dans un bassin à 10 ppm**.

Ainsi, on pourra considérer que les futurs **résidus ultimes de la cyanuration du site de Yaou seront des déchets non inertes et non dangereux** issus de l'exploitation minière.

Teneurs en métaux

Les essais de lixiviation et analyses effectuées par GéoPlusEnvironnement en 2014 sur les rejets gravimétriques des bassins B2 (échantillon S5), B3 (échantillon S1) et B4 (échantillon S2) sont donnés dans le tableau ci-après :

Eléments	Teneur moyenne calculée à partir des analyses faites sur les rejets à traiter (en mg/kg de matière sèche, sur lixiviat ou ppm)	Seuil (K3) à appliquer pour un stockage en ISDI (en mg/kg de matière sèche, sur lixiviat)	Seuil (K2) à appliquer pour un stockage en ISDND (en mg/kg de matière sèche, sur déchet brut)	Valeur de référence (ppm) (fond géochimique local, d'après BRGM et ANTEA)
As	<0,20	0,5	10 à 37	10
Cu	<0,20	2	400 à 1 800	25
Ni	<0,10	0,4	70 à 140	26
Pb	<0,10	0,5	85 à 400	32
Zn	<0,20	400 à 1600	400 à 1600	23

Résultats d'analyses chimiques sur rejets gravimétriques destinés à être retraités par cyanuration

6.1.2.4. Comportement géochimique

❖ **Emissions d'acide cyanhydrique**

Les résidus ultimes décyanurés seront susceptibles de libérer de très faibles quantités d'acide cyanhydrique dans l'air ambiant. Ces quantités seront **négligeables et sans effets sur l'environnement** du fait de la très faible teneur en cyanures libres dans les résidus ultimes et de leur dégradation naturelle rapide (la demi-vie du cyanure dans un bassin ouvert est de 3 semaines).

❖ **Lixiviation**

On se basera sur les résultats des tests de lixiviation effectués par GéoPlusEnvironnement en 2014 sur les rejets gravimétriques contenus dans les bassins B2 (échantillon S5), B3 (échantillon S1) et B4 (échantillon S2) :

Métal	Unités	S1 (bassin B3)	S2 (bassin B4)	S5 (bassin B3)	Valeur de référence (mg/kg MS) (Annexe II de l'Arrêté Ministériel du 28 octobre 2010 : Critères d'acceptabilité des déchets en ISDI – Analyses lors du test de lixiviation)
Antimoine	mg/kg MS	<0,005	<0,005	<0,005	0,06
Arsenic	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	0,5
Baryum	mg/kg MS	0,12	<0,10	<0,10	20
Cadmium	mg/kg MS	<0,002	<0,002	<0,002	0,04
Chrome	mg/kg MS	0,17	<0,10	<0,10	0,5
Cuivre	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	2
Mercure	mg/kg MS	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Molybdène	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	0,5
Nickel	mg/kg MS	<0,10	<0,10	<0,10	0,4
Sélénium	mg/kg MS	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Zinc	mg/kg MS	<0,20	<0,20	<0,20	4

Les lixiviats potentiellement générés par les rejets gravimétriques ont des teneurs en métaux largement inférieures aux seuils de l'Arrêté Ministériel du 28 octobre 2010 définissant les critères d'acceptabilité des déchets en ISDI. On peut supposer qu'il en sera de même pour les résidus de la cyanuration, ces derniers ayant des teneurs en métaux encore plus faibles que les rejets gravimétriques.

Les teneurs en métaux sur le gisement primaire ne seront pas beaucoup plus élevées que sur les rejets gravimétriques qui proviennent du traitement par gravimétrie de ces mêmes matériaux Or au cours du traitement gravimétrique, seul une fraction de l'or (concentré obtenu en bout de chaîne) et les minéraux magnétiques (séparateur magnétique) naturellement présents (magnétite) ou issus de l'usure des consommables de broyeurs (acier de boulets et d'un peu de marteaux) sont extraits des boues.

Le procédé utilisé dans l'UMTMA n'engendre pas d'augmentation des teneurs en métaux. Le procédé de décyanuration de la pulpe par procédé SO_2/air fait entrer en jeu (dans une cuve oxygéné) du sulfate de cuivre et de métabisulfite de sodium. La réaction de destruction des cyanures se développe justement en présence de cuivre soluble qui agit comme catalyseur.

Le dosage des réactifs (la quantité de cuivre injectée) doit être parfaitement dimensionné pour que tout l'additif réagisse avec le cyanure, sans augmenter pas les concentrations en métaux dans les rejets finaux.

Les résidus décyanurés, quelle que soit l'origine du gisement (primaire ou secondaire) seront susceptibles de libérer des cyanures résiduels par lixiviation par les eaux d'infiltration. Du fait de la teneur très faible des résidus en cyanure libres, les quantités de cyanures libres susceptibles d'être libérées seront très faibles (*Cf. Annexe 16*).

❖ **Potentiel de génération d'acidité**

Les analyses effectuées par GéoPlusEnvironnement sur des rejets gravimétriques du site de Yaou montrent des **teneurs en soufre sous forme de sulfures inférieures à 0,1%** (0%, 0,05% et 0,07% sur les trois échantillons étudiés). Les rejets gravimétriques peuvent donc être considérés comme non générateur d'acidité au sens de l'article 3 de l'Arrêté du 19 Avril 2010.

Aucune donnée sur la teneur en soufre sous forme de sulfure des résidus ultimes décyanurés n'est disponible mais, étant donné que le volume de résidus ultimes décyanurés sera le même que le volume de rejets gravimétrique à retraiter, la teneur en soufre sous forme de sulfure restera du même ordre de grandeur.

Ainsi, on peut considérer que **les résidus décyanurés ultimes ne seront pas générateurs d'acidité**.

6.1.3. Classification

Les résidus ultimes décyanurés sont des *« déchets issus de la transformation physique et chimique des minéraux métallifères »* (rubrique 01 03). Ils ne sont pas acidogènes (teneur en soufre sous forme de sulfures <0,1%) et ne contiennent pas de substances dangereuses (concentration annuelle maximale de la phase aqueuse en cyanures totaux de 7,5 mg/L ou 0,00075%, *Cf. § 6.4.4 p 106*). Ils sont considérés comme **non inerte et non dangereux** car contiendront potentiellement des cyanures libres mais en teneur inférieure à 10 ppm.

6.1.4. Description des substances chimiques utilisées lors du futur traitement par cyanuration

Sur l'UMTMA, les différents réactifs utilisés peuvent être classés comme suit :

Produit	Phrase de risque/ nature de risque	Etiquetage
Floculant	**R36** Irritant pour les yeux	Xi - Irritant-
Cyanure de sodium solide	**R26/27/28** Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion **R32** Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	T+ - très toxique N - Dangereux pour l'environnement
Cyanure de sodium en solution	**R26/27/28** Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion **R32** Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	Xn – Nocif, solution cyanurée à 1% N - Dangereux pour l'environnement
Charbon actif	-	Non classé
Chaux	**R37** Irritant pour les voies respiratoires **R38** Irritant pour la peau **R41** Risque de lésions oculaires graves	Xi - Irritant
Soude solide	**R35** Provoque de graves brûlures	C-Corrosif
Acide chlorhydrique	**R 34** Provoque des brûlures. **R 37** Irritant pour les voies respiratoires	C-Corrosif
Nitrate de plomb	**R61** Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant **R20/22** Nocif par inhalation et par ingestion **R33** Dangers d'effets cumulatifs	O-Comburant T-Toxique

Produit	Phrase de risque/ nature de risque	Etiquetage
	R41 Risque de lésions oculaires graves **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique **R62** Risque possible d'altération de la fertilité.	N - Dangereux pour l'environnement
Métabisulfite	**R41** Risque de lésions oculaires graves	Xi - Irritant
Sulfate de cuivre	**R22** : Nocif en cas d'ingestion **R36/38** Irritant pour les yeux et la peau **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	Xn - Nocif N - Dangereux pour l'environnement
Peroxyde d'hydrogène	**R5** Danger d'explosion sous l'action de la chaleur **R8** Favorise l'inflammation des matières combustibles **R20/22** Nocif par inhalation et par ingestion **R35** Provoque de graves brûlures	O-Comburant C-Corrosif

La plupart des réactifs utilisés sont donc considérés comme dangereux et nécessiteront de prendre des mesures particulières (Cf. *Tome 3 : Etude d'Impact*, *Tome 4 : Etude de Dangers* et *Tome 5 : Notice Hygiène & Sécurité*).

6.1.5. Méthode de stockage et traitement prévus

La méthode de stockage des résidus ultimes décyanurés est détaillée aux *§ 6.2*, *p 92* et *6.3*, *p 94*.

6.2. PHASAGE DE STOCKAGE DES RESIDUS ULTIMES DECYANURES

Les **résidus décyanurés** seront **préalablement épaissis** dans un **épaississeur de type « paste thickener »** *(Cf. Figure 17 et Annexe 5)* éventuellement complété par des centrifugeuses qui permettront d'abaisser leur **humidité résiduelle à 30-40%** (autrement dit, une teneur en matières solides de 60-70 %). Les résidus épaissis et éventuellement centrifugés auront ainsi la consistance d'une pâte et non plus de boues comme habituellement. Ils seront ensuite étalés par couches sur la zone de stockage, pour permettre une déshydratation supplémentaire qui associe drainage et évaporation.

Ces résidus décyanurés seront **stockés sélectivement** et feront l'objet d'une **surveillance spécifique** (*Cf. Tome 3 : Etude d'Impact*). Ils seront dirigés en priorité vers la zone de stockage des résidus ultimes n°1 (PARU1) localisée au sud de l'atelier mécaniques.

Par la suite, ils seront dirigés vers les zones n°2 à 4 (PARU 2 à 4) constituées par l'espace libéré dans les bassins de stockage des rejets gravimétriques ré-exploités (Bassins 2, 3 et 4) sur l'UMTMA (*Cf. Figure 18*).

Les zones de stockage des résidus ultimes 1 à 4 (PARU 1, 2, 3 et 4) ne seront pas ou plus utilisées pour le stockage des résidus issus du traitement gravimétrique. Le **stockage des deux types de résidus (gravimétriques et décyanurés, ultimes) s'effectuera de manière différente et séparée**.

Le phasage de la reprise des bassins de rejets gravimétriques (faisant l'objet d'un dossier AOTM déposé en parallèle) et de stockage des résidus décyanurés (objet du présent dossier ICPE) est illustré dans la *Figure 26.* Les planches en *Figures 27 à 32* illustrent les 5 phases de l'exploitation en vues planes.

Les tableaux, en page suivante, détaillent les 5 phases de l'exploitation. Les calculs sont issus de la modélisation de l'exploitation réalisée à l'aide du logiciel CORALIS.

Tableau 14 : Tonnages traités par l'UMTMA et volumes de résidus décyanurés stockés par phase quinquennale

Phase	Année	Tonnage de gisement traité par cyanuration	Volume de résidus décyanurés mis en stock
Phase 1	AP + 5 ans	350 000 t	269 000 m^3
Phase 2	AP + 10 ans	500 000 t	385 000 m^3
Phase 3	AP + 15 ans	609 000 t	404 000 m^3
Phase 4	AP + 20 ans	500 000 t	312 000 m^3
Phase 5	AP + 23 ans	145 000 t	91 000 m^3
Total	**23 ans**	**2 134 000 t**	**1 460 000 m^3**

Tableau 15 : Origine, destination et cubature des rejets gravimétriques repris et des futurs résidus décyanurés mis en stock

Phase	Année	Action	Cubature (m^3)	Tonnage entrant dans l'UMTMA (t)
Phase 1	AP + 5 ans	Reprise des rejets gravimétriques dans le bassin n°2 (AOTM) : *vide*	70 000	91 000
		Reprise des rejets gravimétriques dans le bassin n°3 (AOTM)	200 000	259 000
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans le parc à résidus n°1 (PARU 1) mis en place au sud de l'atelier mécanique	**270 000** (80 000 hors sol)	-
Phase 2	AP + 10 ans	Reprise des rejets gravimétriques dans le bassin n°3 (AOTM) :	190 000	248 000
		Reprise des rejets gravimétriques dans le bassin n°4 (AOTM)	195 000	252 000
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans le parc à résidus n°1 (PARU 1) mis en place au sud de l'atelier mécanique : *plein*	**200 000**	--
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans le parc à résidus n°2 (PARU 2)	**70 000**	-
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans le parc à résidus n°3 (PARU 3)	**115 000**	-
Phase 3	AP + 15 ans	Reprise des rejets gravimétriques dans le bassin n°4 (AOTM) : *vide*	135 000	177 000
		Traitement du minerai primaire faiblement concentré (AOTM) Fosse BW	82 000	132 000
		Traitement du minerai primaire faiblement concentré (AOTM) Fosse E	185 000	300 000
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans PARU 3	**160 000**	-
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans PARU 4	**245 000**	-
		Remise en état du parc à résidus n°1 (PARU 1) mis en place au sud de l'atelier mécanique (ICPE)	-	-
		Remise en état de PARU 2, emprise ancien bassin n°2, digue D1'	-	-

(…)

(…)

Phase	Année	Action	Cubature (m^3)	Tonnage entrant dans l'UMTMA (t)
Phase 4	AP + 20 ans	Traitement du minerai primaire faiblement concentré (AOTM) Fosse BW	55 000	92 000
		Traitement du minerai primaire faiblement concentré (AOTM) Fosses I Sud et K Sud-Est	255 000	408 000
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans PARU n°4,	**310 000**	**-**
		Remise en état de PARU 3, digue D1''	-	-
Phase 5	AP + 25 ans	Traitement du minerai primaire faiblement concentré (AOTM) – Fosse H	90 000	145 000
		Stockage des résidus décyanurés épaissis dans PARU n°4	**90 000**	**-**
		Remise en état de PARU 4, digue D2	-	-
		Volume total de résidus stockés	**1 460 000**	

6.3. MODALITE DE STOCKAGE DES FUTURS RESIDUS DECYANURES

6.3.1. Caractéristiques des parcs à résidus décyanurés

6.3.1.1. Principe général de stockage

Il a été choisi, dans le cadre de ce projet de **séparer les fonctions de soutènement et d'étanchéité du stockage en deux ouvrages distincts**, c'est-à-dire, de séparer le rôle de sotènement des résidus décyanurés de celui de retenue des lixiviats (eaux exfiltrés des résidus décyanurés) et donc de créer ou d'utiliser un ouvrage perméable et drainant à rôle de soutènement des résidus décyanurés et de créer un second ouvrage étanche en aval à rôle de retenue des eaux de ruissellement et d'égouttage des résidus.

Le principe de gestion général (rétention des résidus et stockage tampon étanche des lixiviats) sera le même pour PARU 1 (à créer au sud de l'atelier) et PARU 2 à 4.

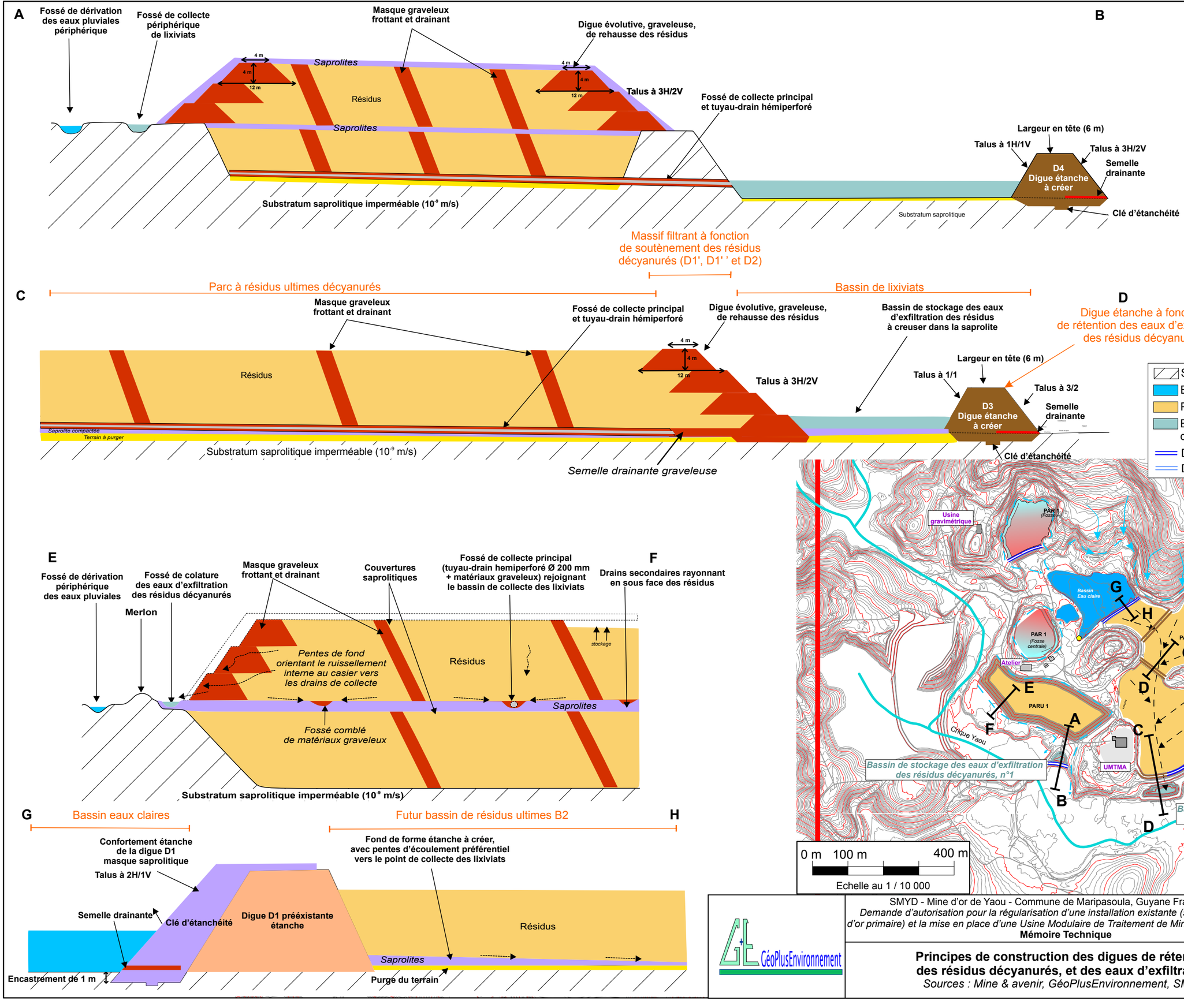
Cette solution conduira alors à la création d'un bassin étanche mais avec deux compartiments :

1) en amont **une digue de rétention des résidus décyanurés qui sera perméable**, et conçue comme un épais masque graveleux (petits enrochements latéritiques). Il s'agira d'un remblai en matériaux graveleux construit jusqu'à +13 à 17 m par phases successives suivant l'augmentation du niveau des sables à contenir ;

2) d'autre part en aval, **un bassin d'eau claire de faible volume retenu par une digue imperméable de faible hauteur**, construite en aval au pied de la première, qui ne retiendra que les eaux issues du bassin de stockage des résidus décyanurés en amont avant leur reprise par pompage. Il s'agira là d'une digue classique étanche en produits argileux compactés réalisée en une seule étape. Les eaux retenues par ce bassin étanche aval seront les eaux issues du ressuyage des résidus décyanurés, a priori de très faible volume, et les eaux météoriques collectées par le strict impluvium du bassin.

   Ce bassin aval sera par la suite enseveli sous les sables du bassin suivant en aval, qui aura lui-même un bassin de retenue des eaux sur sa partie aval.

La Figure 25 illustre, en coupe, le principe de séparation des fonctions de retentions et d'étanchéité du stockage en deux ouvrages distincts.



SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Principes de construction des digues de rétention des résidus décyanurés, et des eaux d'exfiltration
Sources : Mine & avenir, GéoPlusEnvironnement, SMYD

Figure 25

Les modalités de constitution de ces digues sont décrites dans le *§ 6.3.3 p 99*. Les principales caractéristiques des parcs à résidus décyanurés et des digues associées sont reprises dans le tableau suivant :

Parc à résidus ultimes décyanurés	Hauteur de la digue de rétention des résidus	Volume de résidus décyanurés stocké	Surface du parc à résidus	Hauteur de la digue étanche de retenue des eaux	Capacité de stockage des eaux d'exfiltration des résidus décyanurés et des eaux de ruissellement strictement issues des parcs à résidus
PARU 1	12 m	470 000 m^3	3,8 ha	6 m	6 000 m^3
PARU 2	14 m	70 000 m^3	1,06 ha	4 m	2 000 m^3
PARU 3	15 m	275 000 m^3	3,24 ha	4 m	3 000 m^3
PARU 4	17 m	645 000 m^3	5,07 ha	7 m	11 000 m^3

Ces ouvrages sont localisés sur la *Figure 3 p 16 et la Figure 4 p 17*.

Des pistes de surveillance autour des nouveaux parcs seront mises en place. Des fossés de dérivation des eaux pluviales et de dérivation des criques seront également réalisés en périphérie de ces nouvelles zones de stockage.

6.3.1.2. Caractéristiques du parc à résidus ultimes n°1 (PARU 1)

La première zone de stockage des résidus ultimes (PARU 1) sera située sur la plateforme au sud de l'atelier mécanique. Pour ce faire, un bassin de stockage sera créé en déblais à 6-7 mètres de profondeur par rapport au terrain naturel, constitué en grande partie de saprolites et se terminant, au Sud et Sud-Ouest, par une verse à stérile. Cette verse sera, évitée lors de la création du bassin afin qu'il bénéficie des caractéristiques mécaniques plus stables.

Dans un premier temps, les résidus seront régalés de l'amont à l'aval du bassin, par bandes Est-Ouest de largeur 30 m environ et sur la hauteur décaissée. Sur le principe des alvéoles de déchets conçues au sein d'un casier hydrauliquement autonome, les différentes bandes de résidus, de largeur 30 m, seront séparées entre elles par des **digues perméables à rôle de soutènement** provisoire, en attendant l'élévation de l'alvéole (de la bande) suivante tout en facilitant les écoulements internes jusqu'aux points bas de collecte aménagés.

Une fois exploité jusqu'au niveau du terrain naturel, les résidus seront stockés sur le même principe mais « hors sol », soit au-dessus du niveau du terrain naturel. L'élévation du stockage de résidus sera réalisée avec une pente donnée et assistée par la mise en place, en périphérie, de **digues de rehausse perméables** (3 digues de rehausse de 4 m de hauteur, pente 1h/1v, 4 m de largeur en crête) permettant le soutien des résidus et la collecte des eaux d'exfiltration des résidus décyanurés à l'extérieur du stockage sur des fossés de colature prévus à cet effet. Ces eaux d'exfiltration seront dirigées vers un bassin de stockage dimensionné en conséquence.

A l'aval du stockage, il sera mis en place **un bassin des eaux d'exfiltration des résidus, de faible volume, retenu par une digue imperméable de faible hauteur**, construite en aval au Sud-Est du PARU 1, qui ne retiendra que les eaux issues du bassin de stockage des résidus décyanurés en amont avant leur reprise par pompage. Il s'agira là d'une digue classique étanche en produits argileux compactés réalisée en une seule étape. Les eaux retenues par ce bassin étanche aval seront les eaux issues du ressuyage des résidus décyanurés, *a priori*, de très faible volume et des eaux météoriques affectant le strict impluvium du bassin.

Ce système de stockage est illustré par les coupes AB et EF de la *Figure 25.* La **digue aval étanche** de retenue des eaux d'exfiltration des résidus a été nommée **D4**.

6.3.1.3. Caractéristiques des parcs à résidus ultimes n°2, 3 et 4 (PARU2, 3 et 4)

3 nouveaux parcs à résidus ultimes seront créés (PARU2, PARU 3 et PARU 4) dans l'emprise des bassins de rejets gravimétriques B2, B3 et B4 qui auront été préalablement vidés (ré-extraits). Ces parcs à résidus ultimes seront limités à l'aval par un système de **« doubles digues »**. Ces dernières seront constituées d'une première digue filtrante à fonction de soutènement des résidus et d'une digue étanche aval à fonction de rétention des eaux (impluvium de l'emprise du parc à résidus et eaux d'exfiltration des résidus) qui seront recyclées, en circuit fermé, dans le procédé de cyanuration.

- La **digue D1**, située à l'amont du bassin n°2, est aujourd'hui de conception perméable. Pour permettre la **rétention des résidus** et **assurer l'étanchéité du stockage avec le bassin d'eau claire amont**, cette digue sera confortée et avec des matériaux imperméables (*Cf. coupe GH Figure 25*) ;
- Les **digues D'1 et D''1** seront **démantelées et reconstruites en matériaux graveleux pour assurer le soutènement des résidus décyanurés des PARU 2 et 3.** Ces digues seront élevées par rehausses successives en matériaux graveleux (pente de 1h/1v, 4 m de haut, 4 m de large en crête) ;
- La **digue D2 ou « Lauvernier »**, **étanche et en bon état**, sera en partie conservée et sa structure sera adaptée au double objectif de soutènement des résidus décyanurés et de collecte des eaux d'exfiltration. Il s'agira d'ouvrir une large brèche (environ 50 m) dans la partie Ouest de la digue, et de lui substituer une portion filtrante en matériaux graveleux. Cette nouvelle portion de la digue D2 sera appuyée coté Ouest contre le terrain en place et coté Est contre la portion conservée de la digue D2. Elle sera constituée par rehausses successives en matériaux graveleux (pente de 1h/1v, 4 m de haut, 4 m de large en crête). La **digue D2 sera surélevée** par une digue de rehausse d'environ 5 m mise en place en partie sur le haut de la digue et sur les résidus. Elle assurera le **soutènement des résidus décyanurés du PARU 4**.
- D'autre part, **un bassin de collecte et de rétention des eaux d'exfiltration des résidus** sera mis en place en aval de chaque digue filtrante (D1', D1'' e D2). Ces bassins seront retenus par des digues imperméables de faible hauteur (4 à 6 m), ancrées dans les versants naturels et/ou dans les digues filtrantes directement en amont. Les **bassins en aval de D1' et D1''** seront **temporaires** et remblayés avec l'avancée du stockage des résidus décyanurés (*Cf. Figure 28 et Figure 29, p 113 et 114*).

  Le **bassin** situé **en aval de la digue D2** sera quant à lui **permanent** et conservé en fin d'exploitation. Il assurera la collecte des eaux pluviales et d'exfiltration des PARU 2, 3 et 4 après exploitation. Il sera délimité par la **digue étanche D3**, mise en place sur 6 m de hauteur, en aval de D2 et ancrée à l'Est dans D2, à l'Ouest dans le versant naturel. Le fond du bassin sera mis en forme à la cote minimale de PARU 2 ou légèrement en dessous pour permettre le drainage gravimétrique de PARU 2. Si le fond du bassin est mis en place sous le niveau hydrostatique, il devra être imperméabilisé par la pose d'une géomenbrane.

Les modalités de stockage dans les PARU 2 à 4 seront les suivantes :

1) Dans un premier temps, les résidus seront régalés de l'amont à l'aval du PARU par bandes de largeur 30 m environ, parallèles à la digue de soutènement aval (D1', D1'' ou D2), et sur une hauteur de 4 m. Les différentes bandes de résidus, de largeur 30 m, seront séparées entre elles par des **masques graveleux frottants et drainants à rôle de soutènement** provisoire, en attendant l'élévation de la bande suivante tout en facilitant les écoulements internes jusqu'aux points bas de collecte aménagés.
2) Une fois chaque bassin exploité jusqu'à la limite aval du PARU (D1', D1'' ou D2), une première digue filtrante est mise en place (4 m de hauteur, pente 1h/1v, 4 m de largeur en

crête). L'élévation du stockage de résidus au sein du PARU sera réalisée sur le même principe que précédemment et assistée par la mise en place, en aval, de **digues de rehausse perméables** (4 m de hauteur, pente 1h/1v, 4 m de largeur en crête), qui constitueront les digues D1', D1'' et D2 en partie. Le stockage sera réalisé sur une hauteur totale variant de 12 à 17 mètres selon la cote du fond de forme, incliné à 1% pour permettre le drainage des eaux d'exfiltration. Les digues de rehausse constitueront un masque filtrant assurant le soutènement des résidus et le transfert des eaux d'exfiltration des résidus décyanurés. Ces **eaux d'exfiltration** seront dirigées vers un **bassin de stockage** en aval, dimensionné en conséquence et délimité par une **digue étanche**.

Les résidus décyanurés seront ainsi stockés, sur l'ensemble des PARU n°2 à 4, jusqu'à la côte de 122 m NGG. Avec la mise en place d'une pente de fond favorisant la collecte des eaux d'exfiltrations, les résidus ultimes seront stockés sur une hauteur variant de 12 m à l'amont du parc à 17 m à l'aval.

Ces principes sont illustrés par les coupes schématiques de la *Figure 25.*

Les **digues filtrantes principales** D1', D1'' et D2, complétées par les **masques graveleux frottants et drainants** disposés tous les 30 m parallèlement aux digues principales, assureront un soutènement **optimal des résidus décyanurés** qui auront, de plus, été préalablement épaissis et centrifugés et présenteront une texture pâteuse (proche de celle du dentifrice).

6.3.2. Contexte géologique de l'emprise des ouvrages projetés et mode de fondation envisageable

Ce paragraphe présente un contexte géologique synthétique issu des campagnes de reconnaissances menées dans le cadre de l'étude géotechnique de dimensionnement des digues de retenues des résidus décyanurés.

6.3.2.1. Emprise du parc à résidus n°1 (PARU 1)

La plateforme au niveau de laquelle le parc à résidus PARU 1 sera créé domine le flat d'environ 6 à 8 m de hauteur. Les sondages, réalisés sur cette zone, montrent que le **substratum saprolitique** est affleurant ou sub-affleurant sur une grande partie de plateforme puis plonge vers l'extrémité Ouest et Sud-Ouest sous des remblais (verses à stériles).

La digue de retenue des eaux d'exfiltration de ces résidus décyanurés sera mise en place à l'extrémité sud-est du parc, en aval hydraulique. La digue à créer sera limitée au Nord par une ancienne digue occupée par la piste d'accès au site minier, à l'Est et au Sud par le versant naturel, et à l'Ouest par une digue à créer.

Le substratum saprolitique est subaffleurant à l'Est et au Sud et fait place vers l'aval au droit de la digue à créer aux alluvions de la crique Yaou à dominante argilo-sableuses.

Il y a été réalisé un sondage pénétrométrique et un sondage à la pelle mécanique.

Dans le flat et au droit de la digue, il a été rencontré 3,2 m de matériaux très médiocres et compressibles (résistance dynamique de pointe Rd<1 MPa) remaniés par les travaux d'orpaillage, puis le substratum saprolitique résistant.

6.3.2.2. Emprise des parcs à résidus n°2, 3 et 4 (PARU 2, 3 et 4)

Les parcs à résidus n°2, 3 et 4 seront constitués sur l'emprise actuels bassins de stockage des rejets gravimétriques, les bassins n°2, 3 et 4 (*Cf. Figures 27 à 32*). Ces bassins ont été mis en place dans le flat.

La digue D1, située en amont des trois bassins, assurera l'étanchéité côté amont. Toutefois, sa conception en partie sur les sables mis en remblais laisse à penser qu'elle n'est pas suffisamment étanche pour jouer ce rôle. La digue D1 sera ainsi recréée entre le bassin d'eau claire (l'ancienne fosse B) et le bassin de stockage à créer, dans la zone la plus étroite du bassin. Des consignes de mise en œuvre précises devront être respectées pour sa mise en œuvre (*Cf. ci-dessous*).

La **digue D2**, à l'aval du bassin n°4 (bassin Lauvernier), s'élève sur au moins 12 mètres de hauteur. Elle a fait l'objet d'attentions régulières lors des dernières phases de sa construction assurant son rôle d'étanchéité. D'un linéaire d'environ 200 m, cette digue est surdimensionnée pour assurer la rétention des eaux d'exfiltration des résidus décyanurés et devra ainsi assurer la **rétention étanche des résidus**.

Le fond des parcs à résidus décyanurés sera préalablement nettoyé des rejets gravimétriques et purgés des sables et termes médiocres accumulés en fond de crique. Il sera ensuite tapissé de saprolite pour réduire la perméabilité du fond du bassin et limiter les échanges verticaux. Une pente générale d'écoulement d'environ 1 % sera à minima respectée pour permettre un drainage en fond du bassin. Ce dispositif sera complété par un fossé de collecte central composé d'un drain perforé mis en place dans un massif graveleux et de fossés périphériques rayonnants sur l'ensemble du bassin. Des pentes intermédiaires de drainage en direction des fossés périphériques seront également mises en place.

Le fond du bassin de retenue des eaux sera créé à une cote inférieure au point bas du bassin n°4 pour permettre un bon drainage des résidus. Si le bassin est réalisé sous le niveau hydrostatique, une géomembrane devra être mise en place afin d'assurer son étanchéité.

Ainsi, les secteurs occupés par les futurs parcs à résidus décyanurés se trouvent sur un substratum **puissamment altéré en saprolite sur de fortes épaisseurs, de l'ordre de 15 à 50 m**, et sont la plupart du temps masqués par des formations colluviales superficielles avec des faciès légèrement ferralitisés sur les versants et une carapace latéritique sur certains sommets les plus élevés du secteur.

Les essais de perméabilité à l'oedomètre (MINES&AVENIR, 2014*, Cf. Annexe 11*) ont donné des résultats de **6,3.10^{-8} m/s pour les colluvions et saprolites ferralitisées** et **7,9.10^{-8} m/s pour les saprolites**. Le substratum des parcs à résidus peut être considéré comme imperméable mais il faudra réaliser un curage préalable des sables accumulés dans la crique de l'emprise des parcs.

6.3.3. Modalités de construction communes des « doubles digues » des parcs à résidus ultimes

La description des matériaux de remblais disponibles sur site et leur caractérisation géomécanique sont fournies dans l'étude géotechnique (*Cf. § 5.4 et Annexe 11*).
Cette étude émet également des prescriptions sur le protocole de construction des digues étanches et graveleuses associées au parc à résidus ultimes (PARU). Ces éléments sont présentés ci-dessous.

6.3.3.1. Les digues étanches (retenue des eaux)

La construction du corps de digue sera conduite selon les procédures classiques pour un matériau de catégorie GTR A1.

Ce type de matériaux se trouve disponible sur le site et à son voisinage, en particulier à la faveur des terrassements à réaliser (usine, bassins, ...). On retiendra de préférence les saprolites et limons argileux superficiels ferralitisés (tranche du sol de 0 à 2 ou 3 m, de teinte plus marron). En effet, au-delà, les matériaux saprolitiques de teinte plus rouge à rosée sont moins aisés à mettre en œuvre, plus sensibles à l'eau et de caractéristiques mécaniques plus médiocres et il faudrait alors rechercher des matériaux d'emprunt plus en profondeur dans des zones moins altérées.

Il s'agit de sols difficiles à mettre en œuvre pour des teneurs en eau élevées (faible portance, matelassage) ce qui conduira à réaliser les travaux en dehors de la saison des pluies.

Les zones d'emprunt seront suffisamment éloignées du site de la digue pour ne pas interférer avec sa construction et suffisamment proche pour limiter les transports de matériaux. Les zones déjà défrichées seront privilégiées et les matériaux seront extraits par fronts verticaux de façon à éviter leur imbibition du matériau par les pluies.

Les matériaux seront mis en place par couches peu épaisses (0,40 m au plus à la mise en œuvre) avec un compactage moyen à intense et au minimum 4 passes du compacteur (une passe = un aller-retour). De digue étanche

La teneur en eau des matériaux issus de l'emprunt sera suivie étroitement

Le chantier sera finalisé à chaque interruption, avec passage du compacteur de façon à éviter toute imbibition des matériaux de la digue.

6.3.3.1.1. Fondation

La fondation des digues est un point essentiel qui permet d'éviter les fuites sous l'ouvrage ainsi que sa déformation par tassement sous charge du sol. Il sera procédé à la **purge intégrale des sables et des termes médiocres** accumulés en fond de crique afin de rencontrer partout le substratum saprolitique sous l'emprise de la digue. Il s'y ajoutera la réalisation d'une **clé d'étanchéité** sous la digue sous forme d'une tranchée, en sous-face de la digue, ancrée dans le sol imperméable en place avec un comblement d'argile compactée (profondeur 1,5 m, largeur du compacteur).

Ces points seront vérifiés par un suivi ou un contrôle géotechnique d'exécution (mission G4) par un bureau d'étude spécialisé afin de s'assurer que ces points cruciaux se trouvent bien maîtrisés et de s'adapter aux variations locales dans la nature des matériaux du sous-sol.
Pour les digues graveleuses, l'ancrage dans les saprolites ne sera pas nécessaire.

6.3.3.1.2. Ancrage latéral

L'ancrage latéral sera réalisé dans les pieds de versant en purgeant ici aussi la couverture de colluvions et localement d'éboulis pour s'ancrer dans les saprolites. Un ancrage latéral de 1,5 m dans les saprolites en place sera respecté (tranchée de 1,5 m environ de largeur creusée dans le sol en place et qui recevra des matériaux argileux compactés) afin d'éviter tout risque de fuite par contournement latéral.

Pour les digues graveleuses (perméable à fonction de rétention des résidus), l'ancrage dans les saprolites ne sera pas nécessaire.

6.3.3.1.3. Semelle drainante

La mise en place d'une semelle drainante en matériaux perméables en sous-face des digues étanches sera nécessaire ici à la fois pour maîtriser les fuites de l'ouvrage, pour garantir l'absence

de saturation du corps de digue à construire et maintenir sèche et stable la partie aval du corps de digue assurant un rôle de massif poids.

Épaisse d'1 m environ, elle sera mise en place sur toute la partie aval l'assise des digues étanches et ne dépassera pas la moitié aval de la digue.

La semelle drainante sera réalisée avec des matériaux drainant perméables graveleux, propres et frottant, du type carapace latéritique. Elle sera protégée du colmatage par un géotextile anticontaminant type feutre non tissé, posé à sa partie supérieure afin d'empêcher tout colmatage par le corps de remblai sus-jacent

Elles seront réalisées à une cote supérieure à celle de la crique (Yaou) de façon à ce qu'elles n'amènent pas des eaux sous le corps de digue.

6.3.3.1.4. Géométrie

Les digues étanches en matériaux argileux présenteront les caractéristiques géométriques suivantes :

- pentes génératrices de talus aval à 2H/1V susceptibles en fait d'être raidies en surlargeur à 3H/2V pour des questions de protection contre l'érosion pluviale, les matériaux du talus à 3H/2V étant alors considérés comme venant en surépaisseur de la digue (couche de protection) ;
- pentes génératrices des talus amont de 1/1 ;
- largeur de digue en tête de 4 à 6 m au minimum ;
- revanche (hauteur de digue hors d'eau coté intérieur) de 1m en tête de digue.

6.3.3.2. Les masques drainants

Il s'agira d'ouvrages internes aux parcs à résidus qui seront construits par étapes successives en suivant le remplissage du casier par les résidus sableux. Ces masques perméables d'environ 40 cm d'épaisseur seront mis en place régulièrement (le long des bandes de remplissage par des résidus ultimes sur 30 à 35 m de large) pour permettre le soutien temporaire des résidus et créer des axes de drainage privilégiés pour les eaux d'exfiltration des déchets (*Cf. Figure 25*).

La construction de ces masques sera conduite selon les procédures classiques pour un matériau de catégorie GTR C1 à C2 a priori dans un état d'humidité moyenne (état hydrique « m », état d'humidité optimale (minimum de contraintes pour la mise en œuvre).

Il sera préférentiellement utilisé sur ce site le faciès saprock ou de roche peu altérée mais encore rippable issus des terrassements de la zone Central et des fosses CL et BW voisines ou peu éloignées du site des bassins projetés.

6.3.3.3. Les digues en matériaux graveleux (retenue des résidus décyanurés)

6.3.3.3.1. Principe et matériaux employés

Il s'agira d'ouvrages évolutifs perméables construits par étapes successives qui suivront le remplissage du bassin par les résidus décyanurés épaissis. Chacune des étapes comportera un remblai de 4 m de hauteur et sera installée pour la moitié de son emprise sur les résidus, qui subiront ainsi un fort tassement sous charge, a priori d'ampleur pluri-décimétrique. Ce tassement sera rapidement achevé et nécessitera alors une reprise du remblai avec rechargement de façon à restaurer l'horizontalité de la digue.

La construction du corps de digue sera conduite selon les procédures classiques pour un matériau de catégorie GTR C1 à C2 a priori dans un état d'humidité moyenne (état hydrique « m », état d'humidité optimale (minimum de contraintes pour la mise en œuvre) ; il ne présentera toutefois

pas une granulométrie étalée et sera très hétérogène, ce qui favorisera sa perméabilité et son caractère drainant.

Il sera préférentiellement utilisé sur ce site le faciès saprock ou de roche peu altérée mais encore rippable issus des terrassements de la zone Central et des fosses CL et BW voisines ou peu éloignées du site des bassins projetés.

Les matériaux seront mis en place par couches peu épaisses (0,40 m au plus à la mise en œuvre) avec un compactage modéré afin de ne pas diminuer leur perméabilité.
Les résidus décyanurés épaissis seront déversés depuis la partie amont du bassin, distale par rapport à la digue, de façon à permettre un bon ressuyage des résidus et un ruissellement des eaux météoriques à leur surface.

6.3.3.3.2. Semelle d'ancrage

Enfin, il conviendra d'installer **une semelle graveleuse** non compactée (longueur 20 m, largeur 10 m, épaisseur 1 m) en amont des digues graveleuses à rôle de drainage en sous face des sables du bassin. Une nappe de feutre anticontaminant permettra d'éviter sa pollution par les sables.

6.3.3.3.3. Géométrie

Il a été retenu ici des pentes de talus de 1/1, avec une largeur en tête de 6 m, une hauteur de 4 m pour chaque digue, soit 16 m en tout, avec mise en place en 4 étapes successives, les digues étant installées à chaque fois avec une emprise pour moitié sur les résidus décyanurés épaissis.

6.3.4. Création du fond de forme des parcs à résidus

Lors de la mise en place de ces ouvrages (digues et parcs à résidus), il conviendra :

1) de **curer les alluvions et autres termes médiocres** recouvrant le fond des criques Yaou, sur l'emprise des futurs digues et parcs à résidus, jusqu'à atteindre la couverture colluviale argileuse ou la saprolite ;
2) de **conserver partout la couverture colluviale argileuse ou saprolitique** et de la **cylindrer au compacteur**.

Pour mémoire, les perméabilités mesurées sur les matériaux superficiels sont les suivantes :

- **$6{,}3.10^{-8}$ m/s pour les colluvions et saprolites ferralitisées ;**
- **$7{,}9.10^{-8}$ m/s pour les saprolites.**

La création d'un **fond de forme** par compactage des colluvions et/ou des saprolites permettra d'atteindre une **perméabilité largement inférieure à 10^{-8} m/s** et ce sur une **épaisseur supérieure à 5 m** réduisant les infiltrations (conformes aux MTD).

Ce fond de forme d'une pente minimale de 1 % orientée, d'une manière générale, vers le point bas du parc à résidus. Le drainage central sera réalisé par le biais d'un tuyau - drain hémiperforé à fond plat Ø 200 mm mis en place dans un fossé creusé dans la saprolite, rempli de produits graveleux. L'ensemble sera recouvert par un feutre anticontaminant de forte transitivité.

Un réseau de fossés graveleux drainant dont les ramifications rejoindront un collecteur central sera également mis en place.

Selon les secteurs, la pente présentera des orientations variées, à adapter au réseau de fossés graveleux drainant.

6.3.5. Modalités de construction des ouvrages spécifiques

6.3.5.1. Les écrans étanches du PARU1

Une couverture étanche (un « écran ») sera mis en place sur les résidus ultimes décyanurés stockés dans PARU 1 jusqu'au niveau du terrain naturel pour limiter les infiltrations dans la partie inférieur du stockage. Un système de drainage secondaire sera aménagé sur cette couverture étanche.
Si PARU 1 venait à être créer en déblais dans la verse à stériles au sud-ouest, un écran étanche en bordure latérale du casier terrassés seraient mis en place selon la même procédure que matériaux des digues étanches. Les écrans latéraux recevront un ancrage en pied dans les saprolites.

6.3.5.2. Etanchéification de la digue D1

Une digue de confortement sera mise en place côté aval avec semelle drainante et clé d'étanchéité. Les ancrages latéraux seront confortés.
Ce masque saprolitique, étanche, s'appuiera sur la partie supérieure de la tête de la digue préexistante pour gagner en stabilité et assurer une étanchéité maximale de l'ouvrage. Ce masque sera mis en place avec une pente intégratrice de 3H/2V.

6.3.5.3. Surélévation de la digue D2

Pour permettre un stockage uniforme des résidus ultimes décyanurés sur l'ensemble de PARU 2, la digue D2 sera surélevée de 5 m.
Cette digue de rehausse de 5 m de hauteur, 12 m de largeur en pied et 4 m minimum en tête sera mise en place préalablement à l'élévation du stockage des rejets (*Cf. § 6.3.3.3*). Elle sera implantée pour moitié sur le haut de la digue D2 et pour moitié sur les résidus.
Les matériaux utilisés pour la constitution de cette digue de rehausse graveleuse ont été précédemment décrit (*Cf. § 6.3.3.3)*.

6.4. CARACTERISATION DES PARCS A RESIDUS DECYANURES PREVUS AU REGARD DE LA « CATEGORIE A » DE L'ARRETE DU 19 AVRIL 2010

6.4.1. Définition de la catégorie A

Voir § 5.6.1 p 86.

6.4.2. Niveau de risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage

Le risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage est évalué quantitativement dans l'étude hydraulique fournie en *Annexe 15* et reprise dans le *Tome 4 : Etude de dangers* de ce dossier. Le tableau suivant en reprend les principales conclusions.

6.4.2.1. Evaluation du risque

<table>
<tr><th>Facteur à prendre en compte</th><th colspan="2">Positionnement du projet</th></tr>
<tr><td>La taille et les caractéristiques de l'installation, notamment sa conception</td><td colspan="2"><u>Cf. §6.2, p92 et § 0, p94</u>
Séparation des fonctions de rétention (rétention des résidus décyanurés) et d'étanchéité du stockage (retenue des lixiviats) en deux ouvrages distincts :
- un ouvrage perméable et drainant à rôle de soutènement des résidus décyanurés
- un ouvrage étanche en aval à rôle de retenue des eaux de ruissellement et d'égouttage des résidus.
Ces caractéristiques ont été définies par une étude géotechnique portant sur le parc à résidus ultimes décyanurés n°1, au sud de l'atelier (<u>Cf. Annexe 11</u>). Les calculs réalisés montrent que la stabilité de la digue de rétention des résidus décyanurés et de la digue de retenue des eaux est assurée avec des <u>coefficients de sécurités de 1,5 à 1,76</u>, ce qui est très satisfaisant pour de tels ouvrages.
Une note géotechnique précise les consignes de conception des digues D1, D1', D1'' et D2 délimitant les les PARU 2, 3 et 4, afin d'assurer une stabilité des ouvrages avec les même coefficients de sécurité (Cf. <u>Annexe 12</u>).

Le bon déroulement de la construction des ouvrages et la prises en compte de recommandation de l'étude géotechnique seront assurés par le suivi des travaux par un géotechnicien.</td></tr>
<tr><td rowspan="8">La quantité et la nature des déchets traités dans l'installation, notamment leurs propriétés physiques et chimiques</td><td>Quantités de résidus décyanurés (volumes disponibles hors volumes de matériaux graveleux mis en place pour le soutènement des résidus)</td><td>PARU 1 : 470 000 m^3
PARU 2 : 70 000 m^3
PARU 3 : 275 000 m^3
PARU 4 : 645 000 m^3
Total : 1 460 000 m^3</td></tr>
<tr><td>Densité des résidus décyanurés</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td>Humidité résiduelle lors de la mise en stock</td><td>40%</td></tr>
<tr><td>Perméabilité</td><td>1,2.10^{-8}m/s</td></tr>
<tr><td>Concentration potentielle maximale en cyanures facilement libérables (CNwad) des résidus (<u>Cf. Annexe 2</u>)</td><td>10 ppm en cyanures facilement libérables</td></tr>
<tr><td>Concentration en cyanures dans les eaux d'exfiltration des rejets décyanurés</td><td>15 mg/L en cyanures facilement libérables</td></tr>
<tr><td>Concentration potentielle maximale en cyanure de l'effluent final (avant destruction naturelle des cyanures) (<u>Cf. Annexe 16</u>)</td><td>0,01 mg/L en cyanures facilement libérables</td></tr>
<tr><td>Concentration potentielle en cyanure dans le bassin (effluent + ruissellement) après destruction naturelle des cyanures</td><td>0,0039 mg/L ou 3,9 µg/L en cyanures facilement libérables</td></tr>
<tr><td colspan="2">Les résidus seront préalablement décyanurés par le procédé SO_2/air permettra d'abaisser la teneur en cyanures libres à des valeurs très faibles
Les résidus auront une texture pâteuse, ils seront très peu mobiles et ne s'épancheront pas loin et à très faible vitesse en cas de rupture de digue. Ils seront également très faiblement susceptibles à la liquéfaction.</td></tr>
<tr><td>La topographie du site de l'installation, notamment les éléments d'étanchéité</td><td colspan="2">Stockage en fond de vallée
L'étanchéité des parcs à résidus est assurée par :
- la création d'un <u>fond de forme</u> par compactage des colluvions (6,3.10^{-8} m/s) et/ou des saprolites (7,9.10^{-8} m/s) ;
- une digue étanche (en argile compactée) ancrée dans un substratum étanche (saprolites) à l'aval.</td></tr>
</table>

Facteur à prendre en compte	Positionnement du projet
Le temps nécessaire à une onde de crue potentielle pour atteindre les zones où se trouvent des personnes	La vague provoquée par la rupture des digues étanches atteindra probablement des zones d'embarcation sur les bords du Grand Inini (Sonnelle, Florida, Papa Constant). Au niveau de la confluence du Grand Inini et la Lawa, le phénomène de propagation d'onde sera ressentie au niveau des villages Inini et Télamali (hauteur d'eau d'environ 1 m). Les zones impactées se limiteront aux vallées situées immédiatement en aval (Crique Yaou). Les résidus, par leur faible humidité résiduelle s'épancheront pas sur de grandes distances (400 m maximum) et n'atteindront pas des zones où se trouvent des personnes
La vitesse de propagation de l'onde de crue	Très faible pour les résidus du fait de leur consistance quasi solide et de leur faible humidité 4,3 m/s au maximum, dans la crique Yaou, à 150 m en aval de la rupture des digues de rétention des résidus ultimes stockés sur PARU4 et des eaux claires (scénario 2 de l'Etude hydraulique) 2,1 m/s au maximum, dans la crique Yaou, à 550 m en aval de la rupture des digues de rétention des résidus stockés sur PARU1 et des eaux claires (scénario 1 de l'Etude hydraulique)
La vitesse d'élévation de ce niveau des eaux ou des boues	Quelques minutes
Tout facteur pertinent, propre au site, susceptible d'influer sur le risque de perte de vies humaines ou le danger pour la santé humaine	Les bassins étanches de retenue des eaux de percolation (exfiltration des résidus + pluviométrie) issues des parcs à résidus ainsi que les canaux de dérivations des eaux pluviales extérieures aux parcs à résidus ont été dimensionnés pour des pluies centennales.

Grâce à toutes les précautions prises lors de la conception des ouvrages de stockage des résidus décyanurés et au suivi du chantier de construction des digues par un géotechnicien, **le risque de perte d'intégrité physique des installations de stockage des résidus décyanurés peut être considéré comme très improbable**.

6.4.2.2. Analyse des conséquences

Facteur à prendre en compte	Positionnement du projet
Risque de perte de vies humaines ou danger pour la santé humaine	**Risque négligeable** : aucune personne autre que le personnel travaillant dans l'installation, n'est présente de manière permanente ou pendant de longues périodes dans la zone des effets irréversibles
Danger potentiel pour l'environnement	**Danger potentiel négligeable** : a) La demi-vie du cyanure, considérant la dégradation naturelle dans un bassin ouvert soumis au rayons du soleil est d'environ 3 semaines ; b) L'effluent, potentiellement libéré en cas de rupture de la digue étanche aurait une concentration en cyanure de l'ordre de 76,2 µg/L (pour mémoire le seuil de qualité pour les rejets aqueux du cyanure, dans le milieu naturel est fixé à 100 µg/L) ; c) En cas de rupture de la digue de retenue des résidus, ces derniers, du fait de leur faible teneur en eau auraient une très faible mobilité. La zone impactée serait limitée aux environs immédiats et le nettoyage pourrait être assuré rapidement (reprise à la pelle mécanique des résidus).

6.4.2.3. Gravité des conséquences

Les évaluations spécifiques de l'ampleur des effets dans le contexte de la chaîne : source-voie de transfert-milieu récepteur ont été réalisées dans le *Tome 4 : Etude de Dangers*.

Il a été considéré le cas d'une rupture de digue étanche retenant les eaux d'exfiltration des résidus décyanurés.

Il est apparu qu'étant données les faibles concentrations en cyanure des effluents potentiels libérés dans le milieu en cas de rupture de digue étanche, **les conséquences d'un tel événement seraient faibles à modérées**.

6.4.3. La quantité de déchets dangereux présente dans le stockage

Les parcs à résidus décyanurés contiendront **uniquement des déchets non inertes et non dangereux issus d'une exploitation minière**.

6.4.4. La quantité de substances et préparations dangereuses présente dans les futurs parcs à résidus décyanurés

Le cyanure de sodium est la seule substance dangereuse utilisée lors du traitement par cyanuration et qui est ensuite susceptible d'être rejetée avec les résidus dans les parcs de stockage.

Les résidus stockés ont une humidité de 40%. Ainsi, chaque année, l'augmentation de la quantité d'eau stockée Qi dans les parcs à résidus est :

$$Qi= 0,4 \times 100\,000/0,6= 67\,000\ m^3/an$$

SMYD visera une teneur en cyanures facilement libérables au moins égale à 10 ppm dans les résidus décyanurés.

$$Si = 100\,000 \times 10 = 1\,000\,000\ g/an = 1\,000\ kg/an$$

Ainsi la concentration annuelle maximale de la phase aqueuse en cyanures totaux est :

$$Cmax = 100/67\,000 = 15.10^{-3}\ kg/m^3 = 15\ g/m^3 = 15\ mg/L = 15\ ppm = 0,0015\%$$

Pour mémoire, la dangerosité des substances et préparations à base de cyanure est basée la concentration en cyanure d'hydrogène dans la solution :

EFFETS LETAUX AIGUS			
Classification de la substance ou de la préparation	**Classification de la préparation (valeurs indiquées en % massique)**		
	Très toxique T+	**Toxique T**	**Nocif X_n**
T+ et R26, R27, R28	Concentration ≥ 7%	1 % ≤ Concentration ≤ 7%	0,1 % ≤ Concentration ≤ 1%
T et R23, R24, R25		Concentration ≥ 25%	3 % ≤ Concentration ≤ 25%
X_n et R20, R21, R22			Concentration ≥ 25%

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT			
Classification de la substance ou de la matière « active »	**Classification de la préparation (valeurs indiquées en % massique)**		
	Dangereux pour l'environnement N R50-53	**Dangereux pour l'environnement N R51-53**	**R52-53**
N et R50-53	Concentration ≥ 25%	2,5 % ≤ Concentration ≤ 25%	0,25 % ≤ Concentration ≤ 2,5%
N et R51-53		Concentration ≥ 25%	2,5 % ≤ Concentration ≤ 25%
R52-53			Concentration ≥ 25%

Ainsi la concentration en cyanure de la phase aqueuse des résidus décyanurés (15 mg/L, 15 ppm ou 0,0015%) est très inférieure aux seuils de toxicité pour l'homme et de dangerosité pour l'environnement.

Les parcs à résidus décyanurés ne renfermeront pas de substance ou préparation dangereuse.

Ainsi, au regard des critères de l'annexe VII de l'Arrêté du 19 Avril 2010, **les futurs parcs à résidus de Yaou ne sont pas classés dans la catégorie A** :

- ✓ niveau de risque de perte d'intégrité des parcs à résidus : risque improbable voire très improbable, conséquences faibles à modérées sur la santé humaine et l'environnement ;
- ✓ aucun déchet dangereux (teneurs en cyanures facilement libérable des résidus de 10 ppm maximum) ;
- ✓ aucune substance ou préparation dangereuse (teneur en cyanures facilement libérable de la phase aqueuse de 15 mg/L maximum).

7. CHRONOGRAMME DU PROJET MINIER

Dès **l'obtention de l'Arrêté préfectoral d'autorisation**, **l'usine gravimétrique sera démantelée et reconstruite à l'identique plus au Nord du site de Yaou**. Parallèlement, l'extraction minière sera redémarrée. Dès le second semestre suivant l'obtention de l'autorisation. Le minerai primaire, fortement concentré (teneur>3g/t) sera traité sur l'installation gravimétrique.
Les rejets de ce traitement, inertes et non dangereux, seront stockés dans l'ancienne fosse d'extraction A, en amont du bassin d'eau clair (bassin n°1).
La partie la plus faiblement concentrée (teneur < 3 g/t) sera extraite de manière sélective et stockée dans le fond des fosses BW, H, I Sud et K Sud-Est, en attendant son traitement sur l'UMTMA.

L'UMTMA sera construite, parallèlement au démarrage de la gravimétrie, au Sud-Est du bassin n°4, sur une plateforme créée à 125 m NGF, sur la partie sommitale du relief.
En priorité, l'UMTMA sera alimentée par la reprise des rejets gravimétriques (pour plus de détails, se référer au dossier AOTM déposé en parallèle du présent dossier ICPE) afin de libérer rapidement des espaces de stockage.
Dans l'ordre, la reprise des rejets sera réalisée sur le bassin n°2, puis le bassin n°3 et enfin le n°4.
Les premiers résidus ultimes décyanurés (reprise du bassin n°2 et 3) seront stockés sur un premier PArcs à Résidus Ultimes (PARU n°1) entièrement créé au Sud de l'atelier.

Lorsque PARU 1 sera rempli, les résidus ultimes seront stockés dans leq parcs à résidus 2 à 4 (PARU 2 à 4) composés des anciens bassins n°4, 3 et 2, vidés des rejets gravimétriques.

Pendant les 6 premiers mois de la **phase 1 (AP + 5 ans)**, l'usine gravimétrique actuelle est démantelée et reconstruite à l'Ouest de la fosse A. Suite à cela la construction de l'UMTMA débute et dure pendant environ une année.
Au bout des 6 premiers mois, le minerai primaire fortement concentré (> 3 g/t), extrait en parallèle sur les fosses des secteurs Yaou centre et Yaou Ouest et en partie sur Yaou Est, est traité par gravimétrie et les rejets de ce traitement sont stockés sur les fosses A (vide au commencement des travaux) puis centrale (décaissée lors de l'extraction du minerai).
Après mise en place de l'UMTMA et parallèlement au traitement gravimétrique, les rejets gravimétriques du bassin n°2 et 70% des rejets gravimétriques du bassin n°3 sont retraités par cyanuration sur l'UMTMA. Les résidus ultimes décyanurés sont stockés sur le parc à résidus ultime n°1 (PARU 1), préalablement mis en place au Sud de l'atelier.

Durant la **phase 2 (AP + 10 ans)**, le minerai fortement concentré (> 3 g/t) extrait sur les dernières fosses en exploitation, sur Yaou Ouest, est traité sur l'usine gravimétrique et les rejets stockés sur la fosse centrale.
En parallèle, le bassin n°3 est complètement vidé et 30 % des rejets du bassin n°4 sont retraités par cyanuration. Le PARU1 est plein et le stockage des résidus ultimes décyanurés débutent sur le PARU 2 et le PARU 3 (emprise des anciens bassins 2 et 3).

Durant la **phase 3 (AP + 15 ans)**, le traitement gravimétrique est à l'arrêt. La reprise des rejets gravimétriques contenus dans le bassin n°4 se termine. Le traitement par cyanuration du minerai primaire faiblement concentré (< 3 g/t), extrait dans la fosse E et stocké jusqu'à cette phase sur la fosse BW, débute. Les résidus ultimes décyanurés sont stockés dans les parcs à résidus n°3 (remplis à la fin de la phase) et 4 (emprise dans anciens bassins 4 et 3).

Durant la **phase 4 (AP + 20 ans)**, le minerai primaire faiblement concentré (< 3 g/t), stocké jusqu'à cette phase sur les fosses BW, I Sud et K Sud-Est, est repris et traité par cyanuration. Les résidus ultimes décyanurés sont stockés dans le PARU n°4.

Durant la dernière phase (AP + 25 ans), le traitement des derniers stocks de minerai faiblement concentré (< 3 g/t) est réalisé. Le PARU n°4 est rempli jusqu'à la cote 122 m NGG.

Le ***Tableau 16*** ci-dessous récapitule :

- ✓ Le phasage des travaux miniers : reprise des anciens rejets de la gravimétrie, extraction du minerai primaire saprolitique et la mise en verse des stériles de découverte et d'extraction ;
- ✓ Le phasage de stockage et de reprise du minerai primaire « pauvre » (<3g/t) ;
- ✓ Le phasage de stockage des rejets de la gravimétrie et des résidus ultimes décyanurés ;
- ✓ Le phasage des travaux d'enherbement provisoire et de revégétalisation.

Il précise, pour chaque travaux, les infrastructures concernées (bassin, fosses, verses…).

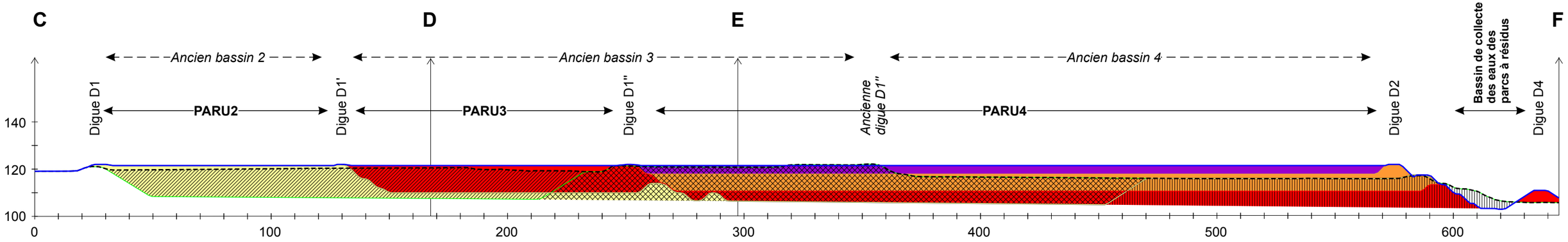
La ***Figure 26*** représente des vues en plan et en coupes du phasage général de reprise des anciens rejets gravimétriques et de stockage des futurs rejets gravimétriques et résidus décyanurés.

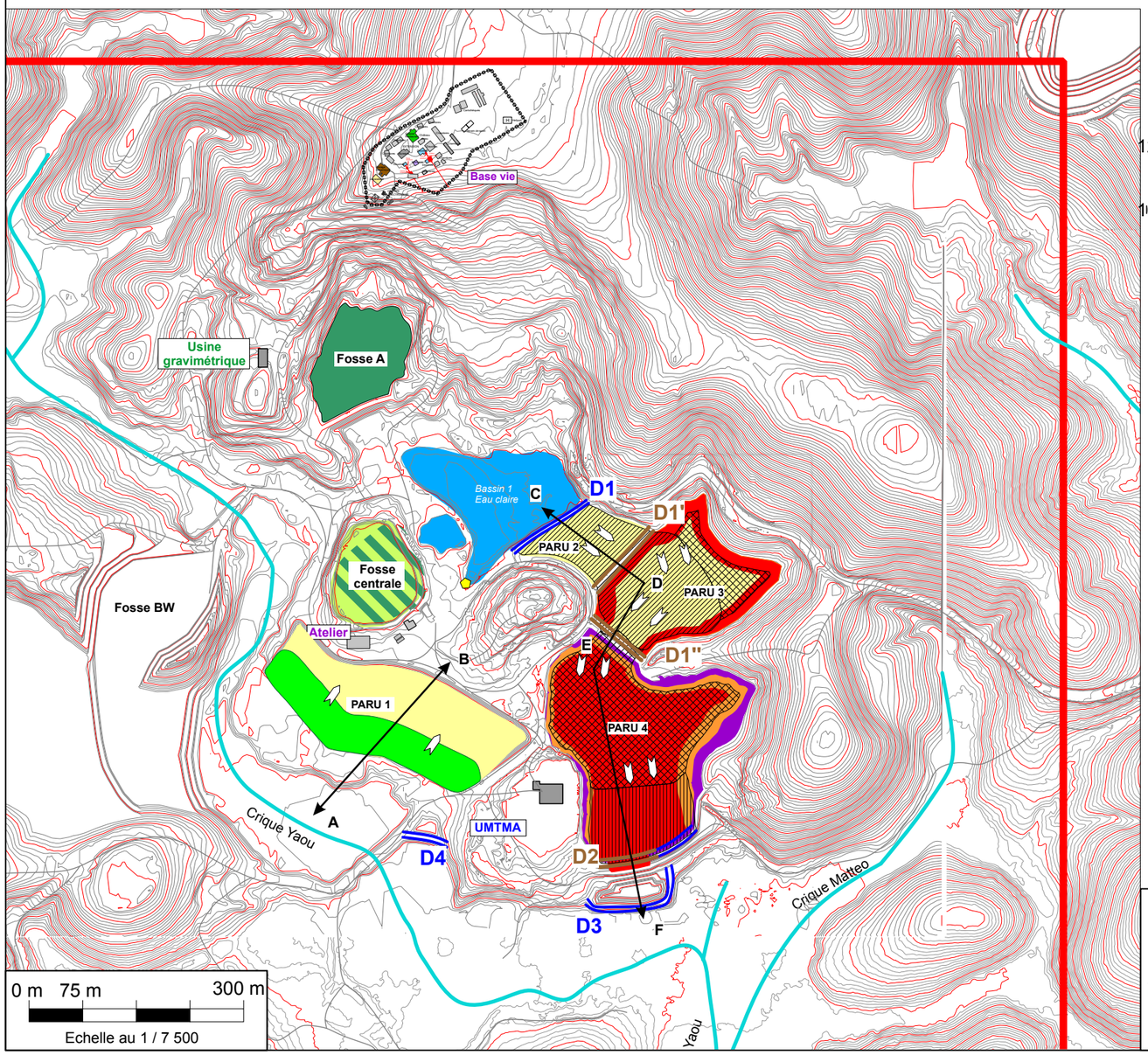
Les planches au 1/5000 des 5 phases quinquennales et de l'état final sont fournies dans les ***Figures 27 à 32***.

Tableau 16 : Chronogramme du projet minier de Yaou

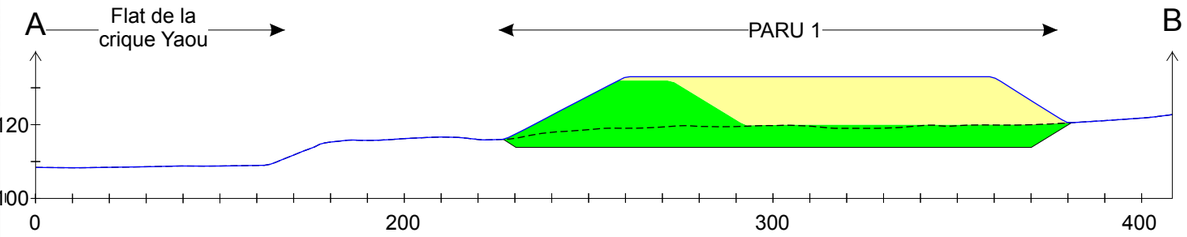
Phase d'exploitation	Phase 1					Phase 2					Phase 3					Phase 4					Phase 5				
Années	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Reprise des **anciens rejets de la gravimétrie pour traitement par cyanuration**		**Bassins 2 et 3**				**Bassins 3 et 4**					**Bassin 4**														
		B2 : 70 000 m^3 / 91 000 t B3 : 200 000 m^3 / 259 000 t				B3 : 190 000 m^3 / 248 000 t B4 : 195 000 m^3 / 252 000 t					135 000 m^3 / 177 000 t														
Extraction du **minerai primaire saprolitique :** - minerai > 3 g t traité par gravimétrie - minerai < 3 g/t stocké puis traité par cyanuration	**Fosses BW et Centrale**		**Fosses H, H-Est, H-Nord, M, Pinheiro, I-Sud, K-Sud-Est en partie**			K-Sud-Est, K-Nord							Fosse E												
	352 000 t 80 000 t >3g/t 272 000 t<3g/t		600 000 t 240 000 t >3g/t 360 000 t<3g/t			198 000 t 60 000 t >3g/t 138 000 t<3g/t							300 000 t<3g/t												
Mise en verse des **stériles de découverte et d'extraction**	Verse BW : 682 000 m^3		Verse H + fosses H Est, H Nord, et M : 645 000 m^3 Verse K : 665 000 m^3			Verse K : 341 400 m^3							Verse E : 525 000 m^3												
Stockage du minerai <3g/t	Fosse BW		Fosses H : 131 000 t			Fosse K Sud-Est																			
	272 000 t		Fosse I Sud : 229 000 t			138 000 t																			
Reprise du minerai <3g/t pour traitement par cyanuration													Fosse BW			Fosses BW, I-Sud, K-Sud-Est					Fosse H				
													132 000 t			500 000 t					145 000 t				
Stockage des rejets gravimétriques issus du traitement du minerai primaire >3g/t	Fosse A		Fosse centrale			Fosse centrale																			
	90 000 m^3		110 000 m^3			36 000 m^3																			
Stockage des résidus ultimes décyanurés issus du traitement par cyanuration		PARU1: 270 000 m^3				PARU1 : 200 000 m^3 PARU2 : 70 000 m^3 PARU3 : 115 000 m^3					PARU3 : 160 000 m^3 PARU4 : 245 000 m^3					PARU4 : 310 000 m^3					PARU4 : 90 000 m^3				
Enherbement provisoire	Fosses BW, centrale, M, Pinnheiro, H, H Nord, H Est, I Sud, K Sud-Est : 21,8 ha Verses BW, H et K : 23,7 ha					Fosse centrale, PARU1, PARU2 et 3 : 7,9 ha Fosses K Sud-Est: 3 ha					Fosse E : 3,6 ha Verse E : 5,9 ha					PARU3 : 3,2 ha					PARU4 : 5,6 ha			Surfaces terrassées et non replantées : 23,2 ha	
Réhabilitation et revégétalisation définitive	Est de la fosse BW, Fosse I, Fosses A et CL Est : 4,1 ha					Fosses BW, M, Pinnheiro, H, H Nord, H Est, I Sud : 14,7 ha Verses BW et H : 15,2 ha					Fosses K Sud-Est et K Nord : 6 ha Verse K : 8,5 ha					Fosse E : 3,6 ha Verse E : 5,9 ha					Stock H : 1 ha Stocks K Sud-Es, I Sud et BW : 2,3 ha			PARU2 à 4 : 9,6 ha	

Profil en long des parcs à résidus n°2, 3 et 4 : phasage de reprise des rejets gravimétriques et de stockage des résidus décyanurés





Coupe transversale du parc à résidus n°1 : phasage de stockage des résidus décyanurés



LÉGENDE

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue imperméable à fonction de rétention des eaux
- Digue filtrante à fonction de soutènement des résidus décyanurés
- Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Topographie initiale en coupe
- Topographie finale en coupe
- A — B Trait de coupe

Phasage prévisionnel en plan et en coupes

	Stockage des « nouveaux » rejets gravimétriques	Reprise des anciens rejets gravimétriques (bassins 2 à 4)	Stockage des résidus décyanurés
T0 + 5 ans			
T0 + 10 ans			
T0 + 15 ans			
T0 + 20 ans			
T0 + 25 ans			

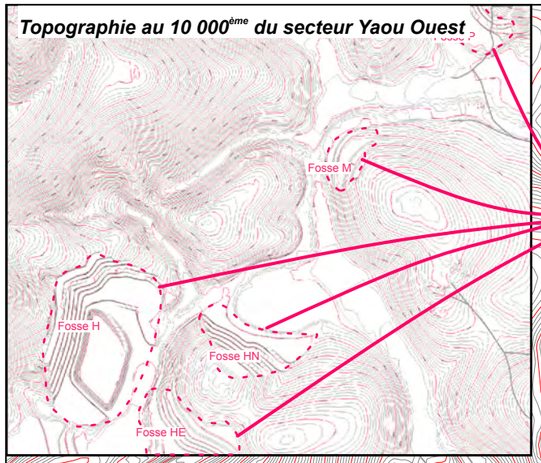
GéoPlusEnvironnement

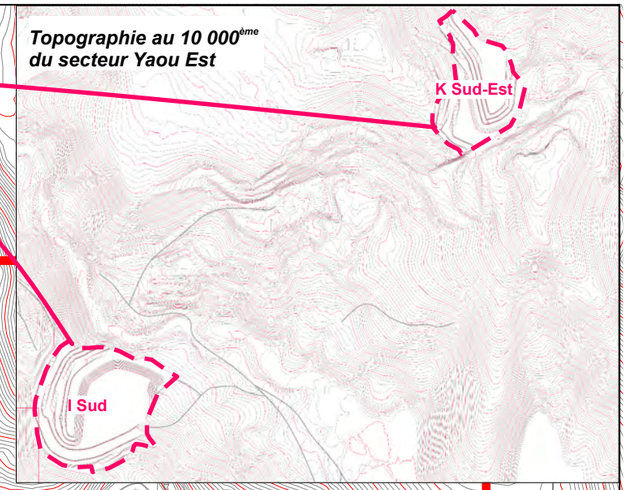
SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Vues en plan et en coupes du phasage général de reprise des anciens rejets gravimétriques et de stockage des futurs rejets gravimétriques et résidus décyanurés
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 26

PHASE 1 : T0 + 5 ans





Alimentation : Traitement du minerai riche des fosses H, H nord, H Est, Pineirho et M

Alimentation : Traitement du minerai riche des fosses I Sud et K Sud-Est

Alimentation : Traitement du minerai riche des fosses Centrale et BW

Usine gravimétrique

Rejets gravimétriques

Fosse A
Stockage des rejets gravimétriques

Fosse centrale
Stockage des rejets gravimétriques

Fosse BW
Stockage du minerai (< 3 g/t) en attente d'une cyanuration

Atelier

Bassin 1 Eau claire

D1

Bassin n°3

Alimentation de l'UMTMA

Avancée de la reprise des rejets gravimétriques

Bassin n°3

D1''

PARU 1

Avancée du stockage des résidus ultimes décyanurés

Stockage des stériles d'exploitation

Bassin n°4

Stockage des résidus ultimes décyanurés

UMTMA

D4

D2

Bassin Eau claire (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)

Crique Matfeo

Crique Yaou

0 m 50 m 200 m

Echelle au 1 / 5 000

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- 110 Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- 111 Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 1 : AP + 5 années

ICPE

- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie :
  - a - stockage dans PARU 1, sous le niveau du terrain naturel, jusqu 'à la cote 121 m NGG
  - b - stockage dans PARU 1, au-dessus du terrain naturel, jusqu 'à la cote 133 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM

- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Phasage des opérations : AP + 5 ans
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 27

PHASE 2 : T0 + 10 ans

Topographie au 10 000ème du secteur Yaou Est

Fosse Nord

Fosse K Sud Est

Fosse I Sud

Base vie

Alimentation : Traitement du minerai fortement concentré en provenance des fosses I Sud et K Sud-Est

Usine gravimétrique

Fosse A

Bassin 1 Eau claire

D1

D1'

PARU 2

PARU 3

Avancée du stockage des résidus ultimes décyanurés

Fosse centrale

Stockage des rejets gravimétriques

Fosse BW

Stockage du minerai (< 3 g/t) en attente d'une cyanuration

Atelier

PARU 1

Stockage des résidus ultimes décyanurés

D1"

D3

Alimentation de l'UMTMA

Avancée de la reprise des rejets gravimétriques

Bassin n°4

D2

D4

UMTMA

Bassin Eau claire (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)

Crique Yaou

Crique Matteo

Crique Yaou

0 m 50m 200 m

Echelle au 1 / 5 000

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- 110 Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- 111 Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 2 : AP + 10 années

ICPE

- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie :
  a - stockage dans PARU 1 jusqu 'à la cote 133 m NGG
  b - stockage dans PARU 2 jusqu 'à la cote 122 m NGG
  c - stockage dans PARU 3 jusqu 'à la cote 111 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM

- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Phasage des opérations : Phase 2 (AP + 10 ans)
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 28

PHASE 3 : T0 + 15 ans

Usine gravimétrique

Fosse A

Fosse E

Verse E

Fosse BW
Stockage du minerai (< 3 g/t) en attente d'une cyanuration

Verse BW

Fosse centrale
Stockage des rejets gravitaires

Atelier

Bassin 1
Eau claire

D1

PARU 2

D1'

PARU 3

D1"

Alimentation : Traitement direct du minerai pauvre de la fosse E et déstockage du minerai pauvre de la fosse BW

PARU 1

Stockage des résidus ultimes décyanurés

Avancée du stockage des résidus ultimes décyanurés

PARU 4

Bassin
Eau claire
(eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)

UMTMA

D2

D4

D3

Crique Yaou

Crique Matteo

Bassin
Eau claire
(eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)

0 m 50 m 200 m

Echelle au 1 / 5 000

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- 110 Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- 111 Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 2 : AP + 10 années

ICPE

- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie :
  a - stockage dans PARU 3 jusqu'à la cote 122 m NGG
  b - stockage dans PARU 4 jusqu'à la cote 111 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM

- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

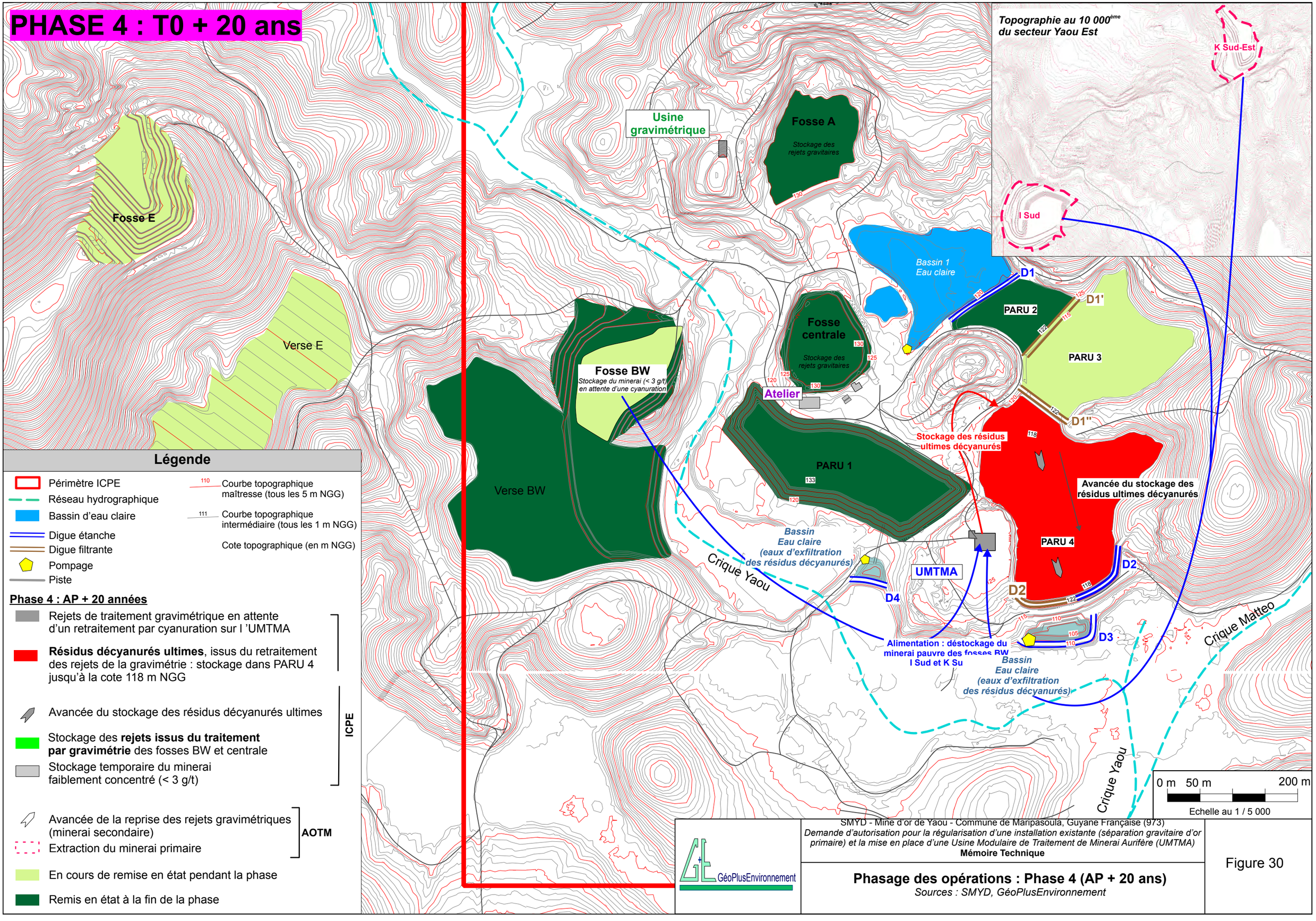
GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Phasage des opérations : Phase 3 (AP + 15 ans)
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 29

PHASE 4 : T0 + 20 ans



Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 4 : AP + 20 années

ICPE

- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie : stockage dans PARU 4 jusqu'à la cote 118 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM

- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

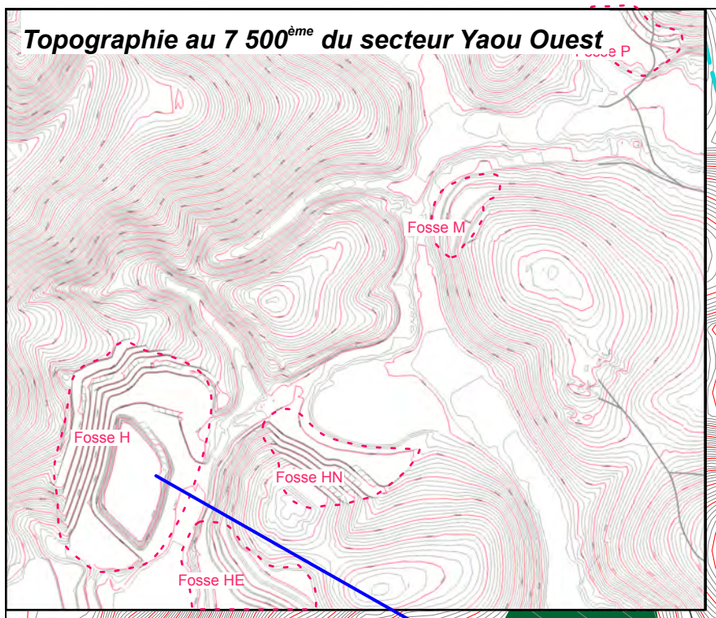
Phasage des opérations : Phase 4 (AP + 20 ans)

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 30

PHASE 5 : T0 + 23 ans

Topographie au 7 500ème du secteur Yaou Ouest



Fosse A
Bassin 1 Eau claire
D1
D1'
D1"
PARU 2
PARU 3
Fosse centrale
Atelier
Verse E
Fosse BW
Verse BW
PARU 1
Stockage des résidus ultimes décyanurés
PARU 4
Bassin Eau claire (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)
Crique Yaou
UMTMA
D4
D2
D3
Alimentation : destockage du minerai pauvre de la fosse H
Crique Matteo
Crique Yaou
130
125
120
122
115
110
105
133

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- 110 Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- 111 Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 4 : AP + 20 années

ICPE
- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie : stockage dans PARU 4 jusqu'à la cote 122 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM
- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

0 m 50 m 200 m
Echelle au 1 / 5 000

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Phasage des opérations : Phase 5 (AP + 23 ans)
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 31

Etat final : T0 + 25 ans

Fosse E
Verse E
Fosse BW
Verse BW
Usine gravimétrique
Fosse A
Fosse centrale
Atelier
Bassin 1 Eau claire
D1
D1'
D1"
PARU 2
PARU 3
PARU 1
PARU 4
UMTMA
D2
D3
D4
Bassin Eau claire (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)
Crique Yaou
Crique Matteo
130
125
120
122
133
110
105
115

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche
- Digue filtrante
- Pompage
- Piste
- 110 Courbe topographique maîtresse (tous les 5 m NGG)
- 111 Courbe topographique intermédiaire (tous les 1 m NGG)
- Cote topographique (en m NGG)

Phase 4 : AP + 20 années

ICPE
- Rejets de traitement gravimétrique en attente d'un retraitement par cyanuration sur l 'UMTMA
- **Résidus décyanurés ultimes**, issus du retraitement des rejets de la gravimétrie : stockage dans PARU 4 jusqu'à la cote 122 m NGG
- Avancée du stockage des résidus décyanurés ultimes
- Stockage des **rejets issus du traitement par gravimétrie** des fosses BW et centrale
- Stockage temporaire du minerai faiblement concentré (< 3 g/t)

AOTM
- Avancée de la reprise des rejets gravimétriques (minerai secondaire)
- Extraction du minerai primaire

- En cours de remise en état pendant la phase
- Remis en état à la fin de la phase

0 m 50 m 200 m
Echelle au 1 / 5 000

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Phasage des opérations : état final(AP + 25 ans)
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 32

8. CARRIERES D'EMPRUNT

Une carrière d'emprunt est localisée au sein du périmètre de la demande ICPE, à une centaine de mètres au sud-est de la base vie (*Cf. Figure 14*). Elle servait jusque-là à fournir les matériaux nécessaires au rehaussement des digues de séparation des bassins de stockage des résidus issus de la gravimétrie.
Sa superficie est très limitée (**environ 1 ha au total**). De plus, elle ne présente toutes que deux fronts.

Cette carrière pourra dans le futur être à nouveau exploitée. L'exploitation des carrières d'emprunt se fait de manière **très ponctuelle**, et seulement lors des campagnes de création, de rehaussement ou de reprofilage des digues, et de réfection des pistes.

Ces exploitations se font selon les règles d'exploitation habituelles en matière de carrières, à savoir :

- un décapage préliminaire de la terre végétale (sur 30 cm d'épaisseur), qui est stockée à part afin de pouvoir être réutilisée dans le futur réaménagement ou lors de la végétalisation des digues ;
- une exploitation en **deux gradins de 15 m de hauteur au maximum (mais souvent de 5 à 10 m)**, présentant une **pente de l'ordre de 70°**.

Par la suite et en cas de besoin, d'autres carrières d'emprunt pourront être créées et exploitées avec les mêmes règles. Toutefois, les besoins en matériaux pour la création des digues perméables et étanches constituant les futurs parcs à résidus décyanurés seront en priorité comblés par les déblais issus de la création du parc à résidus n° 1, de la mise en place de la plateforme UMTMA et les déblais issus du démantèlement des digues de séparation de B2/B3 et B4 (D1' et D1''). On distingue les matériaux suivants (*Cf. Annexes 11 et 14*) :

- **Colluvions et saprolites superficielles faiblement ferralitisées** de classe GTR A1 : matériaux à utiliser pour la **construction des digues étanches**. Ils sont présents sur des épaisseurs de 2,5 m à 3 m en moyenne au sommet des reliefs (produits du terrassement projeté pour l'UMTMA, de la future usine gravimétrique et des couches superficielles sur l'emprise de la zone dédiée à l'implantation des futurs parcs à résidus ultimes, décyanurés). Leur disponibilité n'étant pas illimitée, leur utilisation devra être gérée avec attention ;
- **Saprolites argilo-sableuses** : présentes dans d'importants volumes mais trop sensibles à l'eau. Elles **ne devront pas être utilisées** ;
- **Matériaux graveleux** (issus du terrassement de la zone Central, stériles d'extraction, et des fosses CL et BW) : disponibles, sur le site de Yaou, en quantité relativement élevée, cas plutôt rare sur les sites miniers guyanais. Ils seront utilisés pour la réalisation des **ouvrages drainants** (fossés-drains, semelles drainantes, etc..) et pour les **corps de digue perméables**.

9. LA BASE VIE ET LES INSTALLATIONS ANNEXES COMMUNES

9.1. LES ATELIERS

Le site est doté d'un atelier principal, d'environ 400 m^2, et de plusieurs installations de stockage de carburant et de ravitaillement des engins (50 m au nord de la base vie, 40 m au nord de l'atelier, à proximité du pompage d'eau de l'usine, etc...), décrits au *§ 2.4.3*, *p 43*. Un nouvel atelier spécifique sera créé pour l'UMTMA (*Cf. § 4.6.3*).

9.2. LE MAGASIN

Le site est doté d'un magasin, sur la base vie, servant au stockage des petits consommables (quincaillerie, outillage, etc.).
Un second magasin est localisé dans l'atelier mécanique et est dédiée au stockage des pièces mécaniques détachées (*Cf. § 2.4.3, p 43)*.

9.3. BASE VIE DU SITE DE YAOU

Pour les besoins d'exploitation du site minier, un camp en bois, fut construit en 1989 par le BRGM puis agrandi en 1993, maintenu en état depuis, est utilisé aujourd'hui comme base de vie pour l'exploitation menée par la SMYD.

Actuellement, le camp accueille une trentaine de personnes. L'ensemble du camp est alimenté électriquement par un groupe électrogène fonctionnant 24h/24.
Au total, 26 postes sont chargés de la conduite et du suivi des installations et activités qui avaient déjà lieues sur le site de Yaou (base vie, usine de traitement, bassins de rejets gravimétrique). La mise en route de l'UMTMA créera 42 postes supplémentaires élevant le personnel total du site à environ 70 personnes.

La surface de la base vie (environ 2 ha) et ses alentours ont été déboisés sur une distance suffisante pour éviter les risques liés aux éventuelles chutes d'arbre et attaques de bandits.

La base vie est constituée par (*Cf. Figure 15*) :

- les locaux de restauration : la cuisine et le réfectoire ;
- les locaux affectés à l'hébergement du personnel :
    - 14 bungalows, pour une capacité totale de 65 places ;
    - 1 bungalow dédié au personnel de la sécurité du site comprenant 3 chambres ;
    - 1 bungalows supplémentaires de 10 personnes, à créer ;
- 1 bâtiment bureau de 3 pièces avec douche et toilettes ;
- 2 blocs de douches et sanitaires ;
- 5 bâtiments dédiés à la cartothèque contenant les carottes des forages de Yaou (22 000 m de carottes) et les intersections minéralisées du projet de Dorlin ;
- 1 carbet avec 2 groupes électrogènes insonorisés de 25 kVA associés à une cuve sur rétention de 2 m^3 ;
- 1 carbet pour la pompe à eau ;
- 1 carbet utilisé comme abri pour le matériel divers ;
- 1 espace loisir ;
- 1 laverie et 3 douches dans le même bâtiment ;
- 1 château d'eau constitué de 3 citernes en PE de 2 m^3 chacune.
- l'héliport,
- les fosses toutes eaux, reliées aux sanitaires et aux eaux usées de la cuisine.

10. GESTION DES EAUX

10.1. GESTION DES EAUX AU NIVEAU DE L'USINE GRAVIMETRIQUE ET DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES

10.1.1. Gestion des eaux de procédé

10.1.1.1. Gestion actuelle

Jusqu'en 2013, **la gestion de l'eau sur l'usine fonctionnait en circuit fermé**.

Sur l'installation de traitement gravimétrique de l'eau est ajoutée, sous pression, au minerai pour le transformer en pulpe et faciliter l'extraction du minerai d'or. En sortie du traitement gravimétrique, les résidus, encore fortement chargé en or, constituent toujours une réserve potentiellement exploitable qu'il convient de stocker en vue d'un second traitement.

Ces résidus, présentant également une forte teneur en eau, étaient jusque là stockés dans 3 bassins de décantation (parc à résidus) aménagés au pied de l'usine dans un thalweg naturel (du nord au du, B2, B3 et B4). La nature saprolitique du fond de vallée confère une certaine étanchéité à ces bassins.

Le bassin B4, le plus au Sud est complètement saturé. Le rejet s'effectuait donc dernièrement dans les bassins B3 et B2.

Une digue étanche (D2) limite l'extrémité Sud (Sud du bassin B4) et une digue plus perméable (D1) fait la séparation, à son extrémité nord, avec un bassin d'eau claire (bassin 1). Une surverse des eaux décantées est réalisée dans le bassin 1 par l'intermédiaire de buses implantées dans D1. Au niveau du bassin d'eau claire, un canal de retour a été aménagé pour permettre la décantation des eaux jusqu'au pied du versant Nord du relief où est implantée l'usine.
Au niveau du canal, l'eau est pompée pour être recyclée sur l'usine.

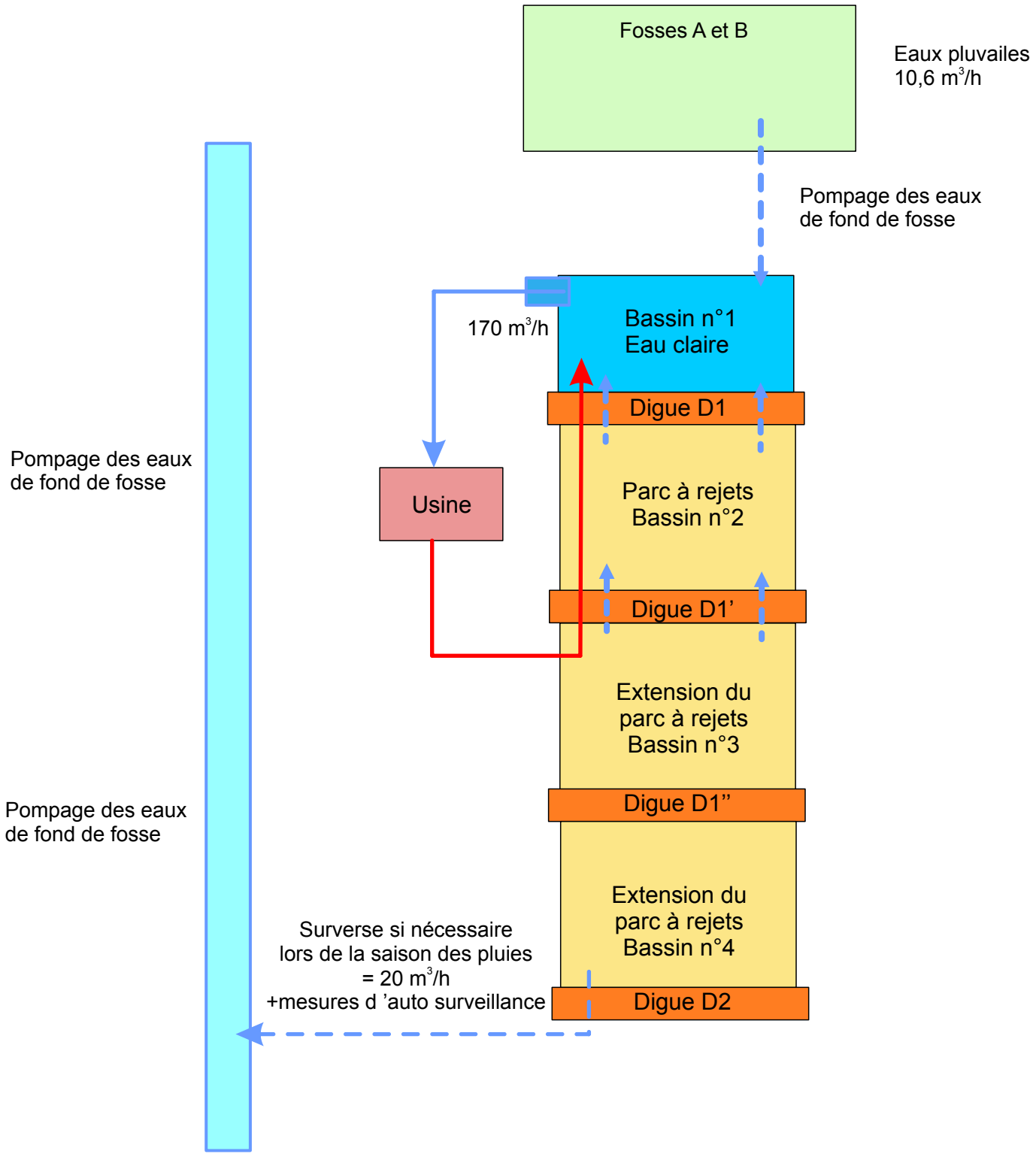
Les eaux de ruissellement sur les versants sont déviées par des canaux à flanc de coteau pour ne pas alimenter les bassins de décantation qui réceptionnent, ainsi, uniquement les eaux de l'impluvium des bassins.

En saison des pluies, la boucle est, malgré tout suralimentée. Il est donc nécessaire de procéder à des rejets dans la crique Yaou. Il s'agit là d'un rejet d'eau de process après décantation qui est soumis à un autocontrôle.

En saison sèche, 2007 et 2008, ont montré qu'il n'était pas nécessaire de procéder à un appoint d'eau.

Les conduites évacuant les eaux chargées en rejets sont vérifiées régulièrement. Toute fuite détectée est immédiatement réparée (il convient toutefois de rappeler que les tests de lixiviation réalisés sur les actuels rejets n'ont pas démontré de caractère polluant ou acidifiant proprement dit).

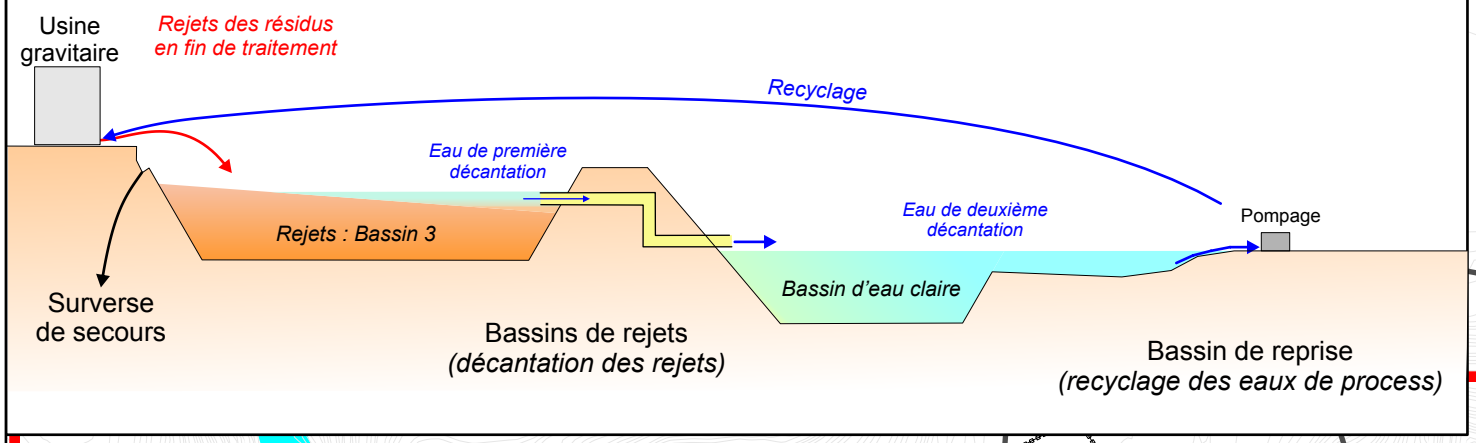
Le bilan estimatif des quantités d'eau mises en jeu est présenté en ***Figure 33*** et le plan de principe de gestion des eaux de procédé jusqu'en 2013, en ***Figure 34***.

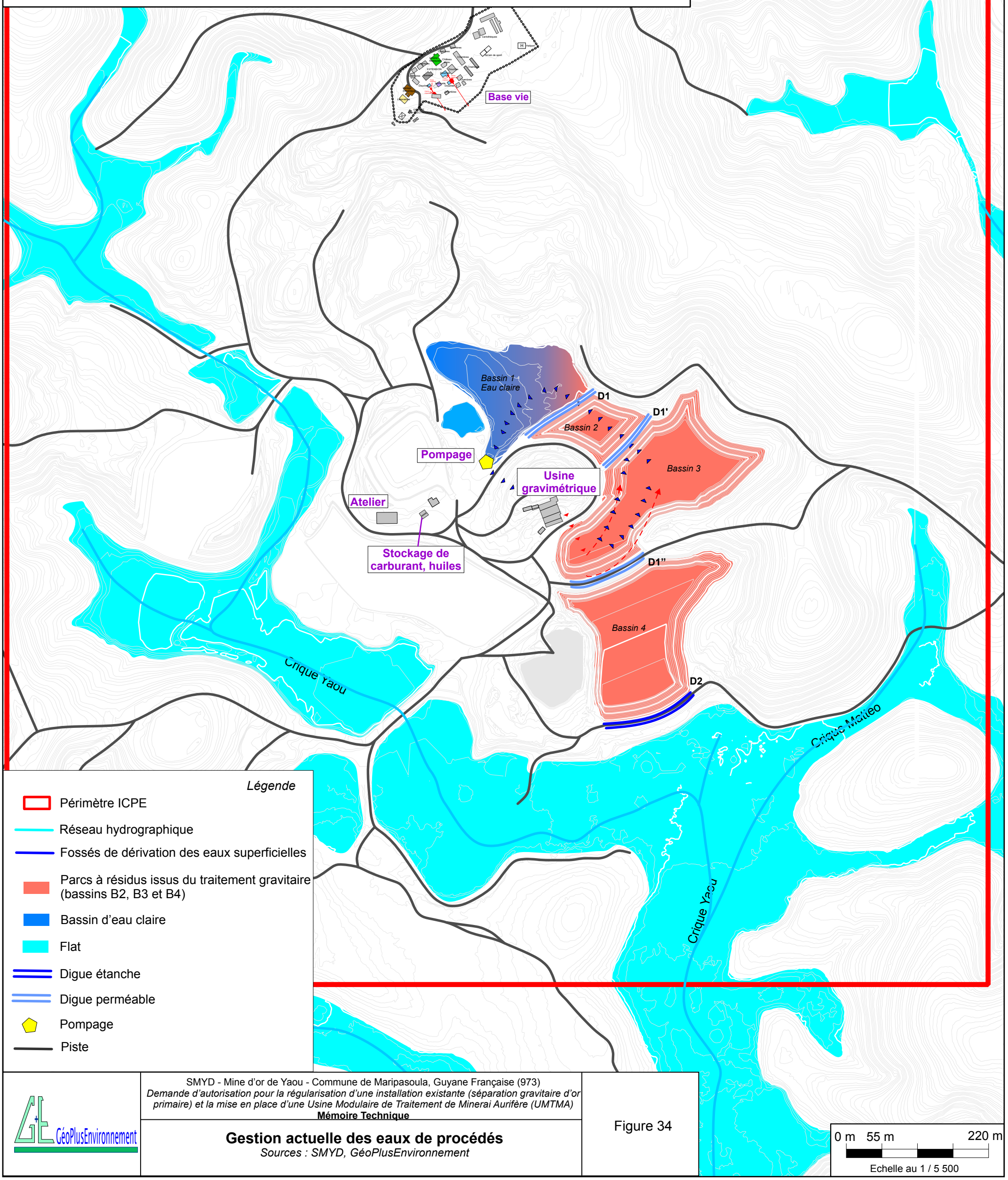


Bilan hydrique 2013 de l'usine gravimétrique et des parcs à rejets

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Coupe de principe du circuit fermé de l'usine gravimétrique actuelle et à venir





GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Gestion actuelle des eaux de procédés
Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 34

10.1.1.2. Gestion future

L'usine de traitement par gravimétrie sera déplacée au Nord, en bordure Est de la fosse A. Les rejets du traitement seront stockés dans les fosses A puis centrale, aménagées en bassin de stockage par la montée progressive d'une ou plusieurs digues de soutènement des résidus. Une surverse des eaux décantées sera mise en place par l'intermédiaire de buses implantées dans le corps de digue et permettant le rejet des eaux dans le bassin d'eau claire n°1.

A terme, le bassin n°1 ne sera plus alimenté par la décantation faite sur les anciens bassins B2, B3 et B4 qui seront vidés pour un retraitement des matériaux sur l'usine de cyanuration et remplis de résidus ultimes, décyanurés. La digue D1 sera étanchéifié par la mise en place d'un masque imperméable sur son flanc aval et l'écoulement au sein de B2, B3 et B4 orienté vers l'aval.

Sur la base du fonctionnement actuel, la gestion de l'eau sur l'usine gravimétrique sera réalisée en **circuit fermé**. Les eaux décantées et déversées dans le bassin n°1 seront pompées et recyclées sur l'usine.

Des canaux devront être aménagés à flanc de coteau des fosses A et centrale afin de dévier la plus grande partie des eaux pluviales affectant les versants.

Aucun pompage d'appoint de secours n'est a priori envisagé. Le bassin d'eau claire également soumis à la pluviométrie sera a priori suffisant pour palier aux pertes d'eau sur le procédé de traitement gravimétrique.

10.1.2. Gestion des eaux pluviales

Les futurs bassins de stockage des rejets du traitement gravimétrique (fosses A et centrale) et le bassin d'eau claire (bassin n°1) sont endigués, et récupèrent ainsi une partie des eaux de pluie. Pour répondre au trop plein que pourrait engendrer de trop fortes pluies au niveau des fosses A et centrale, une surverse devra être mise en place vers le talweg situé à l'Ouest de l'atelier.

Le Tome 3 : Etude d'Impact, présente les mesures qui sont, et seront mises en place pour lutter contre la dégradation des eaux de ruissellement du site, à savoir des dispositifs de récupération et déshuilage au niveau de certaines infrastructures, des mesures afin de réduire l'érosion des sols décapés, etc.

Un dispositif de surveillance de la qualité des eaux sera mis en place au niveau des rejets des déshuileurs et des surverses du futur parc à résidus gravimétriques. Il permettra de suivre la qualité physico-chimique des eaux claires en sortie de ces bassins.

10.2. GESTION DES EAUX AU NIVEAU DE L'UMTMA ET DES FUTURS PARCS A RESIDUS DECYANURES

10.2.1. Gestion des eaux pendant les phases travaux

Les phases travaux inhérentes au projet d'UMTMA sont les suivantes :

1) travaux de terrassement de la plateforme de l'UMTMA (*Cf. § 4.7 p 66*) ;
2) extraction de matériaux au niveau des carrières d'emprunt (*Cf. § 0 p 118*) ;
3) construction des nouvelles pistes desservant la plateforme de l'UMTMA (*Cf. Figure 20)* ;
4) construction et confortement des digues associées aux parcs à résidus décyanurés (*Cf. § 6.3 p 94*).

Au cours de ces différents travaux de terrassement, les eaux de ruissellement seront collectées avec mise en place de contre-pentes et fossés de colature reliés à des bassins de décantation.

Cette gestion des eaux de ruissellement réduira la libération de particules argileuses dans les eaux superficielles et évitera tout risque de stagnation d'eau pouvant conduire à la dégradation rapide des caractéristiques mécaniques des saprolites.

Ces ouvrages de gestion des eaux seront temporaires et mis en place en fonction de l'avancement des différents travaux. Leur dimensionnement et leur localisation précise seront établis avant le démarrage de chaque phase de travaux.

Les phases de travaux seront réalisées de préférence en dehors de la saison des pluies.

10.2.2. Gestion des eaux sur l'UMTMA

10.2.2.1. Bilan hydrique de l'UMTMA

Le fonctionnement de l'UMTMA nécessitera un apport d'eau permanent estimé à **35 m^3/h** (dont 21 m^3/h pour la mise en pulpe et la lixiviation et 14 m^3/h pour la destruction des cyanures). Cette alimentation sera issue :

- à **75%** (26m^3/h) seront **recyclés directement en tête de circuit** :
  - eaux issues de l'épaississage de la pulpe cyanurée appauvrie avant décyanuration (9 m^3/h)
  - eaux issues de l'épaississement des résidus décyanurés (16 m^3/h) ;
  - solution « saignée » dans le circuit d'élution (0,3 m^3/h) ;
  - solution de lavage du charbon (environ 0,1 m^3/h) ;
- à **25%** (9 m^3/h) seront i**ssus des eaux claires des bassins étanches en aval des parcs à résidus décyanurés** (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés et impluvium des parcs à résidus décyanurés).

Les eaux résultant de l'épaississement de la pulpe décyanurée et les eaux claires pompées à partir des bassins étanches en aval des parcs à résidus décyanurés (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés et impluvium des parcs à résidus décyanurés) passeront par un **bassin de polissage** couvert situé à proximité de l'UMTMA pour dernière décantation avant réinjection dans le circuit de cyanuration. Ce bassin de polissage sera dimensionné pour permettre une rétention suffisante des eaux avant leur recyclage dans le process, mais également pour pouvoir recueillir les solutions du circuit de cyanuration en cas de dysfonctionnement. Il sera couvert pour éviter tout débordement en cas de forte pluie.

L'UMTMA fonctionnera ainsi en **circuit fermé** *(Cf. Figure 35)*, aucune eau de process contenant potentiellement des cyanures ne sera libérée dans le milieu naturel. Les seules eaux éventuellement rejetées dans le milieu naturel auront préalablement stationné suffisamment dans le bassin d'eau claire pour abaisser naturellement leur concentration en cyanures.

Un **appoint d'eau claire** à partir du bassin n°1 sera nécessaire au lancement de l'installation et pour pallier aux légères pertes d'eau sur l'installation (*Cf. Annexe 16*).

La *Figure 35* illustre la gestion des eaux de procédés de l'UMTMA et des parcs à résidus décyanurés. Le bilan hydrique de l'UMTMA est présenté en Figure 36.

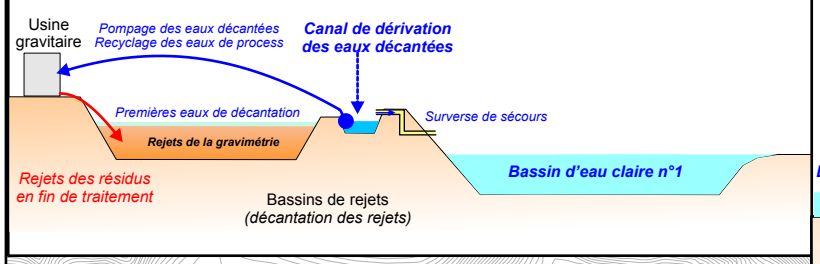
10.2.2.2. Eaux de ruissellement

Toutes les eaux de ruissellement devront être collectées et la plate-forme de terrassement de l'UMTMA sera drainée afin d'éviter les stagnations d'eau qui l'altéreraient.

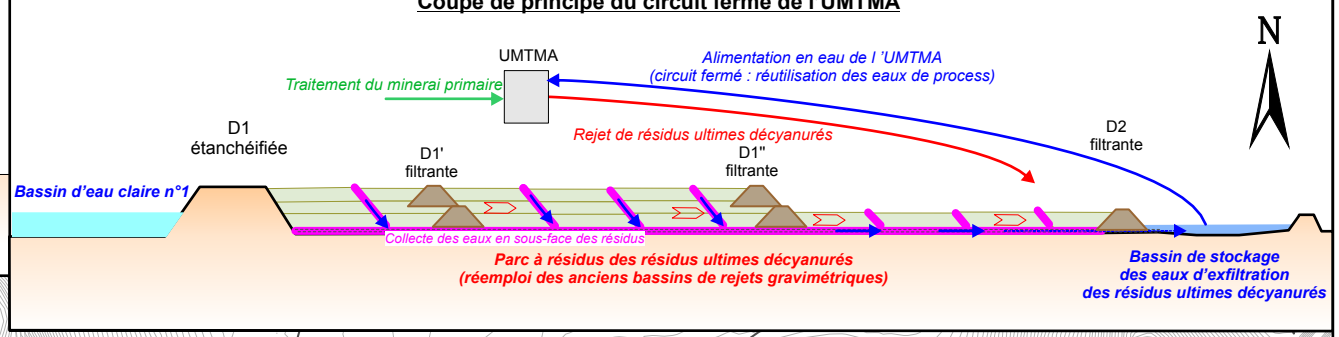
Outre la collecte systématique des eaux recueillies par les surfaces imperméabilisées (toitures,…), le bâtiment de l'UMTMA recevra un drainage périphérique classique gravimétrique avec un drain reposant sur une cunette coulée à pleine fouille au pied des murs ou à défaut avec un fossé ouvert périphérique. On veillera à maintenir partout des pentes éloignant les eaux météoriques de la construction.

Ces eaux seront acheminées vers un déshuileur et le rejet de cet ouvrage dirigé vers le bassin de collecte des eaux d'exfiltration des résidus ultimes décyanurés, bassin dimensionné pour une crue centennale.

Coupe de principe du circuit fermé de l'usine gravimétrique



Coupe de principe du circuit fermé de l'UMTMA



N

Base vie

Usine gravimétrique

PAR 1 (Fosse A)

Rejet de gravimétrie

Circuit fermé des eaux de process de la gravimétrie

Surverse de secours 1

Surverse de secours 2

Bassin Eau claire

D1

PARU 2

D1'

PARU 3

D1"

Avancée du stockage des résidus décyanurés

PAR 1 (Fosse centrale)

Atelier

Stockage des résidus décyanurés

PARU 1

PARU 4

D4

UMTMA

D2

Bassin Eau claire (eaux d'exfiltration des résidus décyanurés)

D3

Crique Yaou

Crique Matteo

Circuit fermé des eaux de process de la cyanuration

Légende

- Périmètre ICPE
- Réseau hydrographique
- Parc à résidus ultimes décyanurés
- Bassin d'eau claire
- Digue étanche à fonction de rétention des eaux
- Digue filtrante à fonction de soutènement des résidus
- Pompage
- Piste

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

Gestion future des eaux de procédés

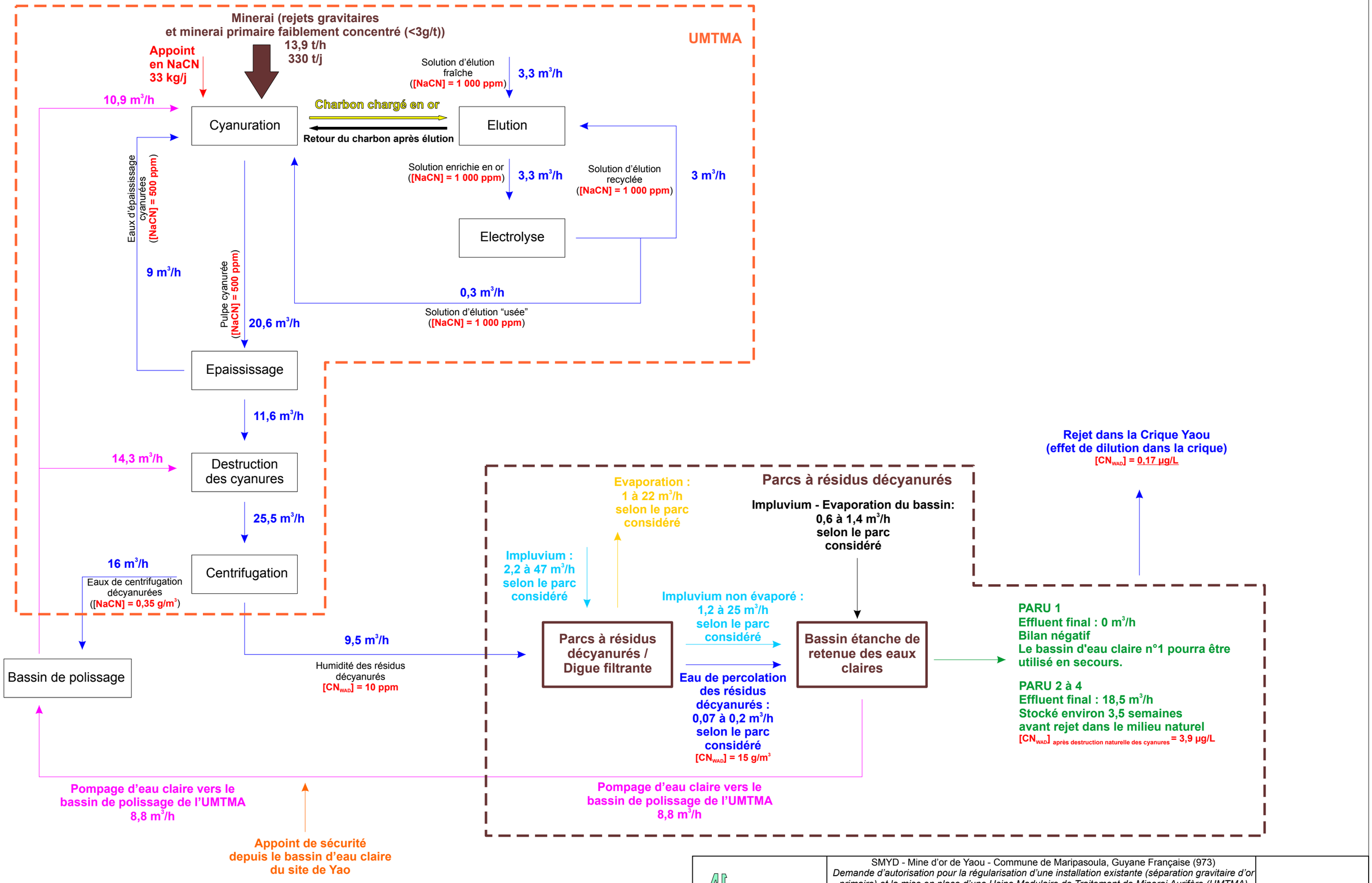
(topographie en fin de phase 3 - AP + 15 ans)

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 35

0 m 55 m 220 m

Echelle au 1 / 5 500



Nb : tous les débits indiqués sont des débits d'eau

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Bilan hydrique de l'UMTMA et des parcs à résidus décyanurés
Sources : AUPLATA et GéoPlusEnvironnement

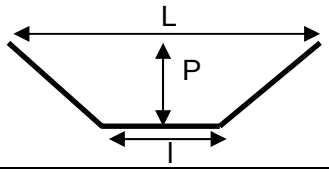
Figure 36

10.2.3. Gestion des eaux au niveau des futurs parcs à résidus décyanurés

10.2.3.1. Gestion des eaux extérieures aux futurs parcs à résidus décyanurés

Les eaux provenant des versants amont des parcs à résidus ultimes décyanurés (PARU) seront déviées par des canaux de colature dimensionnés dans les règles de l'art par l'étude hydraulique fournie en *Annexe 15*.

Les ouvrages de dérivation (canaux A et B *Cf. Figure 37*) ont été **dimensionnés pour une crue centennale**. Ils se trouveront le long des pistes et auront les dimensions suivantes :

Canal A (PARU 1)	**Canal B (PARU 2, 3 ,4)**
Profondeur P = 1 m Largeur en fond l = 1 m Pente = 1/1 Largeur en gueule L = 3 m	Profondeur P = 2 m Largeur en fond l = 1,50 m Pente = 1/1 Largeur en gueule L = 5,50 m
	

En sortie des canaux A et B, les eaux de ruissellement passeront par un bassin de décantation qui permettra de piéger une bonne partie des matières en suspension avant rejet dans la crique Yaou.

- *Dimensionnement des bassins de décantation en sortie des canaux de déviation des eaux extérieures aux parcs à résidus décyanurés* :

L'étude hydraulique (Cf. *Annexe 15*) nous fournit les données suivantes pour chaque canal :

Bassin versant	**Surface (ha)**	**$Q_{entrée}$** en m^3/s	**Qf** en m^3/s
Canal A	7	3,1	0,07
Canal B	22	6,6	0,22

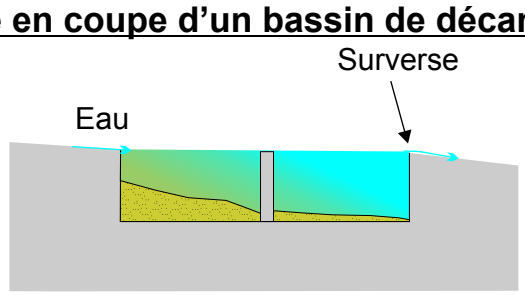
Le **temps de séjour Ts** nécessaire à obtenir une décantation satisfaisante (90% des particules en suspension) sera ici de **20 minutes** environ. Le temps de séjour permet de calculer le **volume de stockage Vs** = ($Q_{entrée}$-Qf)*Ts. Le débit de fuite Qf est fixé à 10 l/s/ha.

Ainsi, les dimensions des bassins de décantation seront les suivantes pour des débits d'entrée centenaux :

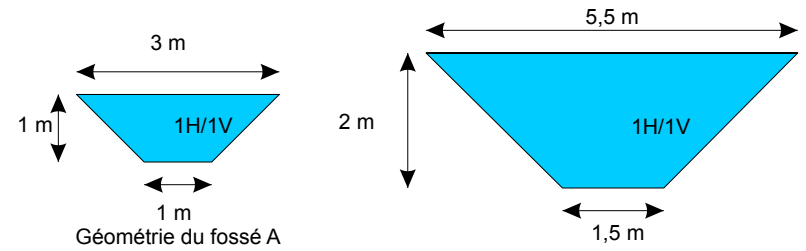
Tableau 17 : Dimensionnement des bassins de décantation en sortie des canaux de dérivation des eaux pluviales extérieures aux parcs à résidus décyanurés

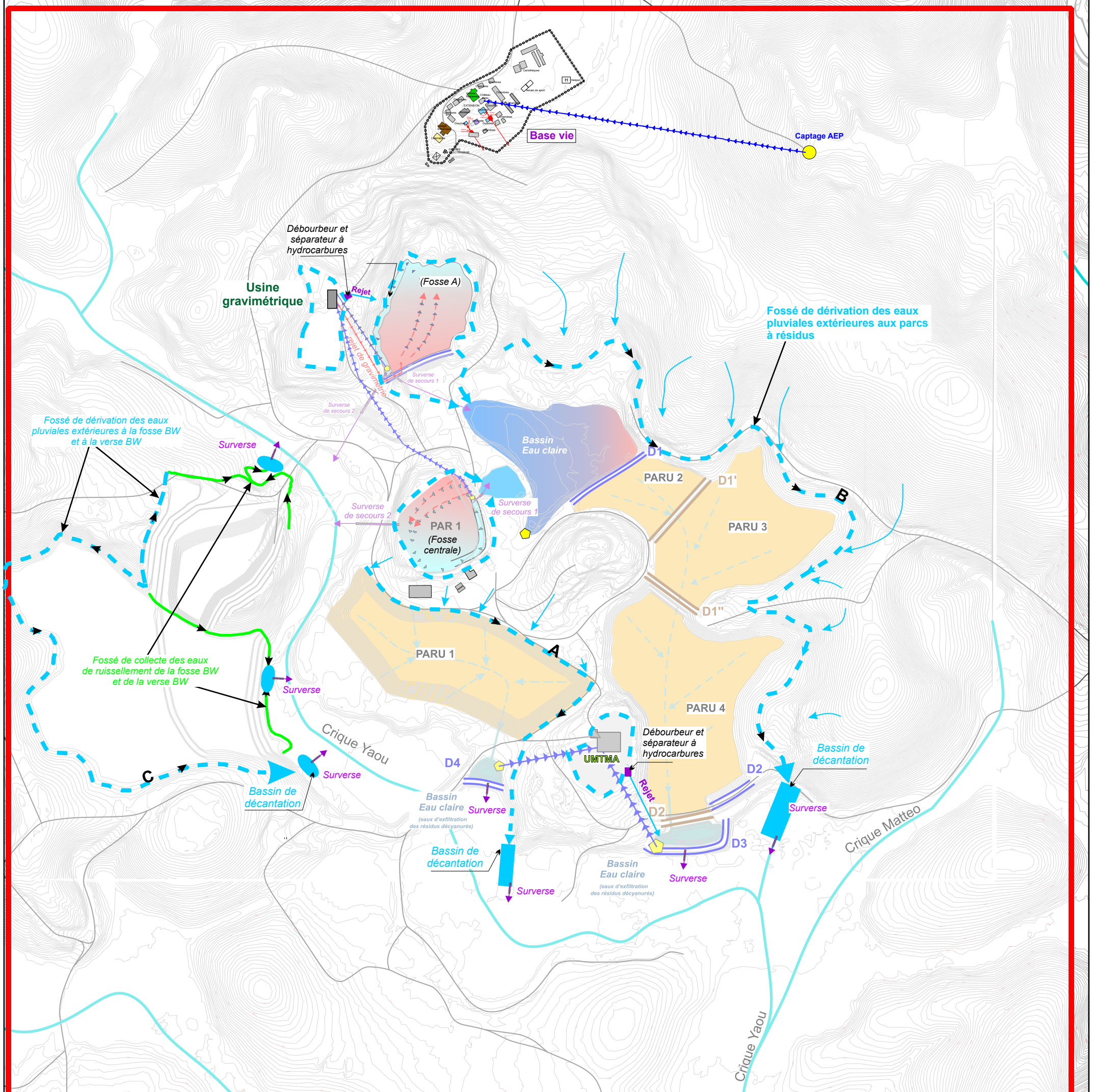
Bassin versant	**Volume du bassin de décantation** en m^3	**Surface** en m^2	**Longueur** en m	**Largeur** en m	**Profondeur** en m
Canal A	3 600	1 200	60	20	3
Canal B	7 600	2 500	83	30	3

Vue en coupe d'un bassin de décantation



Géométrie des fossés de dérivation des eaux pluviales





SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)

Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)

Mémoire Technique

Gestion à venir des eaux de ruissellement

(topographie en fin de phase 3 - AP + 15 ans)

Sources : SMYD, GéoPlusEnvironnement

Figure 37

GéoPlusEnvironnement

0 m 55 m 220 m

Echelle au 1 / 5 500

Les eaux rejetées par les canaux de dérivation des fosses A et Centrale (bassin de rejets gravimétriques) passeront préalablement par la fosse B en eau et par le bassin d'eau claire n°1 qui feront office de bassins de décantation avant rejet dans la Crique Yaou.

10.2.3.2. Gestion des eaux des futurs parcs à résidus décyanurés

Les eaux « internes » aux parcs à résidus décyanurés seront issues :

- ✓ de l'impluvium strict de ces parcs, grâce aux canaux de dérivations présentés au *§ 10.2.3.1 p 127 et dans la Figure*37 ;
- ✓ des eaux d'exfiltration des résidus décyanurés qui pourront s'échapper par la digue filtrante de retenue de ces résidus (*Cf. § 6.3.2 p 98 et Figure 25*).

Toutes ces eaux seront collectées par un bassin d'eau claire situé en aval des parcs à résidus et retenues par une **digue étanche** (*Cf. § 6.3.2 p 98 et Figure 25*). Ces bassins d'eaux claires ont été dimensionnés pour une pluie centennale par une étude hydraulique (*Cf. Annexe 15*) dont les résultats sont repris dans le tableau ci-après.

Bassin versant	Surface du bassin versant pris en compte	Q100 (débit de pointe pour une pluie centennale)	V100 (volume de stockage nécessaire pour une pluie centennale)	Capacité des bassins prévus
PARU1 (sud de l'atelier)	5,2 ha	3,1 m^3/s	100 m^3	6 000 m^3
PARU2 + 3 + 4	16,2 ha	6,6 m^3/s	200 m^3	11 000 m^3

Les eaux collectées dans ces bassins seront pompées vers un bassin de polissage couvert situé à proximité de l'UMTMA et **recyclées dans le futur circuit de cyanuration**.

Ces bassins ont été largement surdimensionnés pour 2 raisons :

1) Assurer le stockage d'un surplus d'eaux d'exfiltration et de ruissellement **en cas d'arrêt intempestif du pompage** de recyclage ;
2) Conserver une fine lame d'eau dans les bassins pour assurer une **destruction efficace des cyanures** potentiellement contenus dans les eaux par les rayons du soleil ;
3) **Eviter tout déversement non contrôlé d'effluent** dans le milieu naturel ;
4) **Assurer un circuit fermé des eaux de process.**

10.2.3.3. Bilan hydrique des futurs parcs à résidus décyanurés

La note calcul de ce bilan hydrique est fournie en Annexe 16 et il est illustré dans la Figure 36. Le tableau suivant reprend le bilan hydrique des parcs à résidus en moyenne journalière :

Tableau 18 : Bilan hydrique des futurs parcs à résidus décyanurés

	PARU 1	PARU 2 + 3 + 4
Apport BV		
Eau d'exfiltration des résidus (débit max. de percolation) (m^3/j) **(1)**	0,07	0,26
Eau de ruissellement (débit moyen annuel) (m^3/j) **(2)**	53	1 149

	PARU 1	PARU 2 + 3 + 4
Total (m^3/j)	53,07	1 149,26
Pertes BV		
Pompage d'eau claire vers l'UMTMA (m^3/j)	210	210
Evapotranspiration (46% du ruissellement) (m^3/j)	24	528
Total (m^3/j)	234	738
Bilan		
Total provenant des apports (m^3/j)	53,07	1 149,26
Total provenant des pertes (m^3/j)	234	738
[Pluvio-Evapo] sur bassins (m3/j)	**15**	**34**
Total d'eau à évacuer (m^3/j)	**0**	**444,5**
Capacité du bassin d'eau claire en aval des parcs à résidus (m^3)	**6 000**	**11 000**
Durée de stockage moyenne (j)	**0**	**25**

On observe, aux approximations de calcul près (différentes hypothèses), que lors du remplissage du parc à résidus PARU 1, le bilan hydrique sera nul voir négatif, c'est-à-dire que les eaux collectées dans le bassin étanche en aval du parc à résidus suffiront tout juste ou ne suffiront pas à assurer l'appoint en eaux claires de l'UMTMA. Le second bassin d'eau claire du site de Yaou, à l'aval de PARU 4, pourra alors être utilisé.

Ce bilan hydrique associé aux essais de lixiviation à partir des rejets gravimétriques à traiter et des analyses sur lixiviats sur les a permis de caractériser l'effluent final en termes de débit et de concentrations en polluants aqueux.

Tableau 19 : Caractéristiques de l'effluent final des parcs à résidus décyanurés

Parc à résidus	PARU 2 + 3 + 4
Débit moyen journalier de rejet (L/s)	5,1
Concentration en cyanures après destruction naturelle des cyanures libres (CN_{WAD}) en µg/L	**3,9**
Concentration en As en µg/L	0,1
Concentration en Cu en µg/L	0,1
Concentration en Ni en µg/L	0,1
Concentration en Hg en µg/L	0,3

10.2.3.4. Les évacuateurs de crue

La revanche prévue sur le parc à résidus ultimes n°4 (PARU4), égale à 0,5 m, permet de contenir une crue centennale. Il y a donc une très faible probabilité que celui-ci déborde.

Toutefois, en cas de crue exceptionnellement élevée, un déversoir busé permettra le rejet du trop plein dans la crique Yaou.

Les modalités de gestion des eaux dans le cadre de ce projet sont illustrées sur la *Figure 37.*

10.2.4. Maîtrise des eaux de ruissellement sur les digues actuelles et à venir

La forte sensibilité à l'érosion des matériaux de remblais argileux et l'intensité des épisodes pluvieux conduisent à retenir les principes généraux suivants :

- ✓ les sommets de digue auront des **pentes déversantes** vers l'extérieur, cette situation étant rendue possible par les faibles hauteurs de digues en matériaux argileux et la faible érodabilité des digues en matériaux graveleux ;
- ✓ les **talus extérieurs** des digues seront **végétalisés** autant que possible. Sur les zones sensibles, des arbres et arbustes coupés et des branches disposées en andains seront mis en place, selon des lignes horizontales, sur les talus, et retenus par des piquets en bois plantés dans la digue. De mise en place simple et économique, ces andains composés de lits de branches peuvent atteindre ainsi quelques décimètres de hauteur et freiner les phénomènes érosifs en retenant les terres tout en facilitant la végétalisation des talus ;
- ✓ les zones soumises à l'érosion pluviale pourront également recevoir un **masque superficiel en matériaux graveleux** qui facilitera de plus la végétalisation spontanée des talus et sommets de digues ;
- ✓ un **fossé de colature** sera créé **de chaque coté de la digue** afin d'éviter aux eaux de ruissellement des berges ou de la voie d'accès de se déverser sur la digue et ses talus. Une surélévation de la crête de digue par rapport aux fonds voisins de part et d'autre jouera également ce rôle.

10.3. ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Actuellement le captage AEP, qui a pour rôle l'alimentation en eau potable des employés de la SMYD sur son site de Yaou est situé dans le bassin versant situé au nord-est de celui de la crique Yaou. L'UMTMA ni aucune autre installation ne sera pas située dans le bassin versant de cette crique.

11. GESTION DES FLUIDES ET DE L'ENERGIE

11.1. STOCKAGE ET DISTRIBUTION DES CARBURANTS

11.1.1. Stockage des carburants pour véhicules

Le site dispose d'un stockage principal de carburant pour les véhicules roulants localisé à environ 50 m à l'Est de l'atelier. Ce stockage comprend une réserve d'essence pour les quads d'une capacité de 2 m^3 et d'une cuve de gasoil de 30 m^3 pour le ravitaillement des engins d'extraction. Ce stockage principal est localisé à une aire de ravitaillement étanche avec récupérateur des égouttures et reliée à un séparateurs à hydrocarbures, est accolée à cette aire de stockage.

Ces contenants sont disposés sur un bac de rétention constitué d'une **dalle bétonnée et de parpaings (enduits intérieur et partiellement extérieur)**, à une hauteur d'environ 1,4 m.

Le ravitaillement des engins peu mobiles (pelles hydrauliques notamment) sera réalisé par une citerne mobile et sur aire étanche.

Le site dispose également d'une réserve d'essence de 2 m^3 (1 fût) pour l'alimentation des quads, au niveau du magasin, sur bac de rétention autonome, de type double peau.

Enfin chaque motopompe dispose de sa réserve de 2 m^3, placée sur rétention adaptée.

Le tableau suivant récapitule les stockages de carburants pour les engins et véhicules du site de Yaou :

Dénomination du stockage	Situation sur le site	Volume stocké (m^3)
Cuve essence	Atelier	2
Cuve gasoil pour engins roulant	Atelier	30
Cuve gasoil pour groupes électrogène usine	Usine gravimétrique	40
TOTAL		**72**

Les cuves métalliques sont des cuves aériennes fournies et contrôlées par la société Bamyrag (groupe Total). Ces cuves sont disposées sur rétention largement dimensionnée en maçonnerie et couverte. Les cuves sont inspectées quotidiennement.

11.1.2. Ravitaillement des véhicules en carburant

Le ravitaillement des véhicules sur roues se fait sur l'aire bétonnée accolée au stock principal d'hydrocarbures. Le ravitaillement des engins se fait au-dessus d'une **aire étanche bétonnée et reliée à un séparateur d'hydrocarbures**, selon une procédure stricte de livraison.

Le ravitaillement des engins sur chenilles se trouvant dans les fosses d'extraction se fait depuis un citerne mobile (la citerne peut-être transportée par un tombereau), au moyen d'une **couverture étanche mobile**, et à l'aide d'un **pistolet anti-égouttures**.

Le ravitaillement des quads peut aussi être réalisé depuis le stock d'essence du magasin (Base vie), muni d'un bac de rétention, à l'aide d'un **pistolet anti-égouttures**.

11.1.3. Stockage des carburants (gasoil) pour les groupes électrogènes et les motopompes

Comme indiqué précédemment, chaque groupe électrogène (GE) et chaque motopompe à eau doit être alimenté par sa propre réserve de combustible. Pour cela, des aires de stockage des carburants ont été aménagées et largement dimensionnées. Le volume de stockage de carburant pour l'alimentation des groupes électrogènes et motopompes représente un total de **164 m^3**, réparti comme suit :

Dénomination du stockage	Localisation	Volume stocké (m^3)
Cuve GE Base vie (groupe électrogène) - **existant**	Base vie	2
Cuves GE Usine et engins d'extraction - **existant**	Hangar accolée de l'usine	40
Cuve GE UMTMA **– à venir**	UMTMA	2x40 +10
Cuve GE atelier pour engins roulant - **existant**	Atelier	30
Cuve motopompes 1 et 2 - **existant**	Futur point de recyclage des eaux de l'usine gravimétrique (bassin n°1)	2x2
Cuve motopompe 3 **– à venir**	Futur point de recyclage des d'exfiltrations des résidus ultimes décyanurés (recyclage sur le circuit fermé des eaux de l'UMTMA°	2
TOTAL		**166**

11.1.3.1. Motopompes 1, 2 et 3

Les moteurs des pompes à eau sont associés à des cuves parallélépipédiques de 2 m^3 avec toiture en tôle. Ces réservoirs présentent une rétention autonome.

11.1.3.2. Groupe électrogène (GE) de l'usine gravimétrique

Les deux GE de l'usine (GE 1 et GE 2) sont alimentés par une cuve cylindrique de 40 m^3 stockée sur rétention constituée d'une dalle étanche bétonnée d'une dizaine de centimètres sur un camion et protégée des eaux météoriques par une toiture en tôle (*Cf. Figure 14*).

11.1.3.3. Groupe électrogène (GE) de l'UMTMA

La puissance nécessaire pour alimenter les divers organes de l'UMTMA a été estimée à 1 000 kW. Ces besoins en énergie seront satisfaits par un groupe électrogène au diesel de 1 365 kW (tension de 4 000 volts, courant triphasé et fréquence de 50 Hz), 2 groupes électrogènes diesel de 100 kW spécifiques aux épaississeurs.

L'UMTMA sera munie d'une deuxième génératrice de 1 365 kW, qui sera utilisée pendant les périodes d'arrêt de la première (soit pour réparation, soit pour entretien programmé).

La salle de distribution électrique sera installée dans un container de double longueur (12,2 m), climatisé. Tous les équipements requis auront préalablement été installés et câblés à l'intérieur du container, incluant le transformateur secondaire, les disjoncteurs, les démarreurs, les variateurs de vitesse et l'automate programmable.

11.1.3.4. Groupe électrogène (GE) de la base vie

Les deux GE de la Base vie sont alimentés par une cuve de 2 m^3 équipée d'une rétention autonome, de type double peau (*Cf. Figure 14*). De plus, l'aire est couverte par une toiture en tôle.

Les GE de la base-vie sont également disposés sur un système de rétention conforme à la réglementation (réservoir à double enveloppe ou à défaut, une rétention, d'une capacité au moins égale à la capacité du réservoir s'il n'y a qu'une seule cuve).

11.2. STOCKAGES D'HUILES ET GRAISSES

Pour les besoins des machines et des outils sur l'ensemble du site, des stockages d'huiles et de graisses sont disposés à différents endroits. Les aires sont toujours couvertes par une toiture (*Cf. Figure 14*) :

Le stockage principal des fûts neufs et usagés est réalisé à proximité de l'atelier, sur une rétention dédiée et sous abris.

Dénomination du stockage	Situation sur le site	Quantité stockée
Huile minérale neuves (40 futs)	Hangar, proximité atelier	40 * 208 l soit 8m^3
Huile minérales usagée (environ 80 fûts)	Hangar, proximité atelier	80 * 208 l soit 16 m^3
TOTAL		**24 m^3 d'huiles**

Le tableau suivant résume l'ensemble des stockages d'hydrocarbures stockés sur le site de Yaou :

Tableau 20 : Liste et capacités des stockages d'hydrocarbures du site de Yaou

Localisation	Type de matière stockée	Caractéristiques du stockage		Volume des rétentions
		type	volume	
Atelier - **existant**	**Essence pour les quads**	Cuve	2 m^3	≥ 2 m^3
	Gasoil pour engins roulant	Cuve cylindrique	30 m^3	≥ 30 m^3
Proximité atelier - **existant**	**Huile minérale neuves (40 futs)**	Fûts de 208 L	8 m^3	8 m^3
	Huile minérales usagée (environ 80 fûts)	Fûts de 208 L	16 m^3	16 m^3
UMTMA **– à venir**	**Gasoil pour UMTMA**	3 cuves cylindriques	2x40 +10 m^3	90 m^3
Usine gravimétrique - **existant**	**Gasoil pour usine et engins d'extraction**	Cuve cylindrique	40 m^3	≥ 40 m^3
Base vie - **existant**	**Gasoil pour groupe électrogène base vie**	Cuve parallélépipédique	2 m^3	2 m^3
Motopompes 1 et 2(circuit fermé usine gravimétrique) - **existant**	**gasoil**	Cuve parallélépipédique	2 m^3	≥ 2 m^3
		Cuve parallélépipédique	2 m^3	≥ 2 m^3
Motopompe 3 (circuit fermé UMTMA) **– à venir**	**gasoil**	Cuve parallélépipédique	2 m^3	≥ 2 m^3
TOTAL			194 m^3	-

11.3. STOCKAGE ET MELANGE DES REACTIFS ET PRODUITS CHIMIQUES

11.3.1. Pour la fusion (projet)

11.3.1.1. Borax

Le borax, encore nommé borate de sodium, est utilisé en tant qu'adjuvant pour la fonte des lingots de « doré ». Pour la réalisation de la fusion d'un lingot doré de 1 kilogramme, il faut compter environ 400 g de borax. A raison d'en moyenne 300 kg d'or produits par an, la consommation en borax induite est de 120 kg.

La quantité maximale stockée sera de 250 kg.

La quantité annuelle consommée sera de 120 kg.

11.3.1.2. Silice

La silice est utilisée en tant qu'adjuvant pour la fonte des lingots de « doré ». Pour la réalisation de la fusion d'un lingot doré de 1 kilogramme, il faut compter environ 600 g de silice. A raison d'en moyenne 300 kg d'or produits par an, la consommation en silice induite est de 180 kg.

La quantité maximale stockée sera de 200 kg.

La quantité annuelle consommée sera de 180 kg.

11.3.1.3. Toluène

Le toluène est utilisé en tant que solvant, pour des opérations de nettoyage.

La quantité maximale stockée est de 5 L.

La quantité annuelle consommée est de 5 L.

11.3.1.4. White spirit

Le white spirit est un solvant utilisé pour des travaux divers, relatifs à l'entretien et au nettoyage. La quantité stockée actuellement est de 30 L.

La quantité maximale stockée est de 100 L.

La quantité annuelle consommée est de 50 L.

11.3.2. Pour l'UMTMA (projet)

11.3.2.1. Inventaires des réactifs utilisés

Dans l'UMTMA, les différents réactifs utilisés peuvent être classés comme suit (*Cf. Annexe 17*) :

Tableau 21 : Inventaire des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA

Produit	Phrase de risque/ nature de risque	Etiquetage
Floculant	**R36** Irritant pour les yeux	Xi - Irritant-
Cyanure de sodium solide	**R26/27/28** Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion **R32** Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	T+ - très toxique N - Dangereux pour l'environnement
Cyanure de sodium en solution	**R26/27/28** Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion **R32** Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	T+ - très toxique N - Dangereux pour l'environnement

Produit	Phrase de risque/ nature de risque	Etiquetage
Charbon actif	-	Non classé
Chaux	**R37** Irritant pour les voies respiratoires **R38** Irritant pour la peau **R41** Risque de lésions oculaires graves	Xi - Irritant
Soude solide	**R35** Provoque de graves brûlures	C-Corrosif
Acide chlorhydrique	**R 34** Provoque des brûlures. **R 37** Irritant pour les voies respiratoires	C-Corrosif
Nitrate de plomb	**R61** Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant **R20/22** Nocif par inhalation et par ingestion **R33** Dangers d'effets cumulatifs **R41** Risque de lésions oculaires graves **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique **R62** Risque possible d'altération de la fertilité.	O-Comburant T-Toxique N - Dangereux pour l'environnement
Métabisulfite	**R41** Risque de lésions oculaires graves	Xi - Irritant
Sulfate de cuivre	**R22** : Nocif en cas d'ingestion **R36/38** Irritant pour les yeux et la peau **R50/53** Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique	Xn - Nocif N - Dangereux pour l'environnement
Peroxyde d'hydrogène	**R5** Danger d'explosion sous l'action de la chaleur **R8** Favorise l'inflammation des matières combustibles **R20/22** Nocif par inhalation et par ingestion **R35** Provoque de graves brûlures	O-Comburant C-Corrosif

La plupart des réactifs utilisés sont donc considérés comme dangereux et nécessiteront de prendre des mesures particulières (*Cf. Tome 3 : Etude d'Impact*, *Tome 4 : Etude de Dangers* et *Tome 5 : Notice Hygiène & Sécurité*).

11.3.2.2. Consommation annuelle et quantité maximale stockée

La consommation des réactifs par tonne de minerai traité et la quantité maximale stockée (3 mois de stock) sur l'UMTMA sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Consommations annuelles et quantités de réactifs chimiques stockées sur l'UMTMA

Produit	Consommation (kg/T)	Consommation annuelle (T)	Quantité maximale stockée (3 mois)
Floculant	0,02	2	540 kg
Cyanure de sodium solide	0,11	12	4,5 T
Charbon actif	0,5	55	13,5 T
Chaux	2,74	300	74 T
Soude solide	0,05	5	1,35 T
Acide chlorhydrique	0,05	5	1,35 T
Nitrate de plomb	0,03	3	810 kg
Métabisulfite	0,51	56	14 T
Sulfate de cuivre	0,08	9	2,16 T
Peroxyde d'hydrogène	-	-	1 T
TOTAL			112 T

Ces quantités représentent un stock de 3 mois, nécessaire afin de prévenir de tout manque d'approvisionnement (stock fournisseur, grève, etc…).

11.3.2.3. Mode de stockage

11.3.2.3.1. Stockage du cyanure de sodium

Le cyanure de sodium **solide**, sous forme de briquettes, sera acheté et stocké dans des bidons de 50 ou 100 kg étanches et hermétiques adaptés fournis par le producteur européen de cyanure de sodium (l'aluminium et l'acier sont des matériaux à éviter pour les bidons). Ces bidons seront **entreposés sur rétention, dans un local spécifique,** totalement couvert et confiné pour éviter tout ruissellement des eaux pluviales et ainsi toute contamination des eaux superficielles.

Ce local sera situé à l'intérieur de l'UMTMA, sur une aire étanche en béton recouverte d'un enduit, d'une membrane ou d'une résine compatible avec le cyanure et imperméable à tout suintement de solution cyanurée. Cette aire étanche aura une pente faible en direction d'un puisard afin de pouvoir traiter tout suintement par du sulfate de cuivre.

Le local de stockage sera bien ventilé, à l'abri de l'humidité et du soleil, et maintenu dans un parfait état d'entretien et de propreté. De plus, il devra comprendre :

- Une laveuse haute pression ;
- Une douche d'urgence ;
- Des équipements de protection individuelle ;
- Des appareils de protection respiratoire autonomes isolants ;
- Tout autre équipement destiné à assuré la sécurité des ouvriers pénétrant dans ce bâtiment.

(Cf. *Tome 5 : Notice Hygiène & Sécurité*).

11.3.2.3.2. Stockage des autres réactifs

Les modalités et recommandations en matière de stockage des autres réactifs sont les suivantes :

Tableau 23 : Modalités de stockage des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA

Produit	Modalité de stockage	Recommandations de stockage
Floculant	Bidons de 25 kg	Stocker dans un endroit sec, dans l'emballage d'origine bien fermé, entre -8 et 35°C. Ne pas stocker à proximité des bases fortes.
Charbon actif	Sac de 25 kg	Stocker dans des conteneurs propres, secs et étanches à l'air.
Chaux	Sac de 25 kg	Conserver dans un local sec. Eviter tout contact avec l'air ou l'humidité. Tenir éloigné des acides, des quantités importantes de papier, de la paille et des composés nitrés. Ne pas utiliser d'aluminium pour le stockage s'il existe un risque de contact avec de l'eau.
Soude solide	Bidons de 25 kg (pastilles solides de soude)	Stocker les palettes dans un local sec Ne pas les gerber en plus de deux couches. Les sacs et les bulk-bags ne doivent pas être exposés au soleil, à la lumière, à l'humidité et à la pluie. Durée recommandée de conservation en stock est de deux ans à partir de la date d'emballage.
Acide chlorhydrique	Bidons de 30 kg	Entreposer les contenants fermés dans un endroit propre, frais, ouvert et bien ventilé. Entreposer à l'abri des rayons du soleil. Entreposer à distance des matériaux incompatibles.
Nitrate de plomb	Sacs de 20 kg	Stocker dans un lieu frais et bien ventilé. Garder à l'abri de la chaleur, des étincelles et des flammes. Ne pas les exposer à des températures supérieures à 40° C. Éviter l'humidité qui peut contaminer le produit. Protéger de la lumière du jour.
Métabisulfite	Sacs de 25 kg	Stocker dans un endroit sec, à température ambiante et à l'abri de la lumière.
Sulfate de cuivre	Sacs de 25 kg	Stocker dans un endroit sec, à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Produit	Modalité de stockage	Recommandations de stockage
Peroxyde d'hydrogène	Bidons de 15 L	Conserver uniquement dans le récipient d'origine dans un endroit frais et bien ventilé.

Le tableau suivant précise les incompatibilités des produits entre eux :

Tableau 24 : Tableau d'incompatibilité des réactifs chimiques utilisés pour l'UMTMA

Produits	Floculant	Cyanure de sodium	Charbon actif	Acide chlorhydrique	Soude	Métabisulfite de sodium	Peroxyde d'hydrogène	Sulfate de cuivre
Floculant					■	■		
Cyanure de sodium				■				
Charbon actif							■	
Acide chlorhydrique		■			■	■	■	■
Soude	■			■				■
Métabisulfite de sodium	■			■			■	
Peroxyde d'hydrogène			■	■		■		
Sulfate de cuivre				■	■			

■ Produits incompatibles □ Produits compatibles

11.4. STOCKAGE DE GAZ DIVERS

Certains produits pourront être stockés sur l'atelier ou le magasin de la base vie. Ils sont stockés en bouteilles standard, entreposées à l'extérieur des bâtiments. Le tableau ci-après présente les quantités stockées sur le site.

Gaz stocké	Situation sur le site	Volume stocké
Oxygène	Atelier / Magasin	44 m^3
Acétylène	Atelier / Magasin	38 m^3
Butane	Magasin	353,5 kg

11.5. CONSOMMATION D'ENERGIE

Pour fonctionner, la chaîne de traitement du minerai nécessite de l'énergie électrique qui est produite sur place par plusieurs groupes électrogènes décrits précédemment. Ce chapitre présente les besoins et la consommation en énergie, puis explique le choix énergétique du projet.

11.5.1. Besoins en énergie

Organe	Puissance nécessaire (kW)	Heures de fonctionnement (par jour)	Puissance consommée (kW/h)
Usine gravimétrique **– actuel**	800	10	8 000
UMTMA **– à venir**	1 000	24	24 000
Base vie **– actuel**	25 (GE diurne)	10	250
	25 (GE nocturne)	14	350
Atelier **– actuel**	70	1 (moyenne)	70
BESOIN EN ENERGIE DU SITE			**32 670 kW/h**

11.5.2. Choix énergétique du projet

La génération électrique se fait par le fioul domestique (gazole) ou lourd. L'exonération de la taxe spéciale sur les carburants pour l'utilisation de gazole sur les moteurs fixes permet l'utilisation de gazole, moins polluant que le fioul lourd.

L'isolement du site et son éloignement de tout réseau ne permettent actuellement pas de prévoir l'alimentation électrique du projet par une fourniture d'électricité par EDF. Cependant, cette perspective ne doit pas être délaissée par la SMYD.

L'utilisation de gazole sera cependant toujours indispensable pour les engins roulants.

11.6. TRANSPORT DES MATIERES DANGEREUSES AU NIVEAU DES INSTALLATIONS PROJETEES

Le site de Yaou nécessite le transport de matières « dangereuses » utilisées pour le traitement du minerai, ou la production d'électricité sur le site. Toutes ces matières « dangereuses » sont chargées avec soin, puis elles sont transportées sur le site de manière à éviter les contaminations accidentelles. Ces matières appartiennent à deux catégories :

- les produits chimiques,
- les carburants et le gaz.

11.6.1. Fréquence des approvisionnements

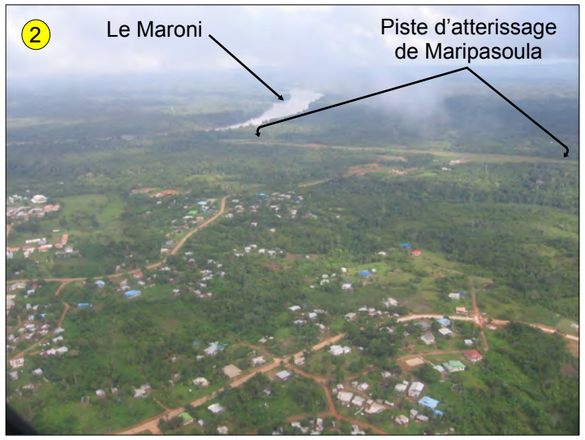
Le cyanure de sodium sera transporté par avion sous forme de briquettes (*Cf. Figure 38*) jusqu'à Maripasoula (équipée d'une piste d'atterrissage) puis par 4X4 spécialement équipé jusqu'à Yaou ou directement sur l'aérodrome qui sera aménagé sur site à terme (*Cf. Figure 3 p 16*).

Les **autres produits chimiques** seront acheminés depuis Cayenne (*Cf. Figure 38*) :

- par voie aérienne (avion), terrestre (route reliant Maripasoula à la côte) ou fluvial (sur le Maroni) jusqu'à Maripasoula ;
- puis en 4X4 sur la piste de 17 km rejoignant depuis le village le site de Yaou ;
- par voie aérienne, directement jusqu'au site de Yaou, en hélicoptère.

Le transport des produits chimiques « dangereux » sera effectué par du personnel expérimenté (sous-traitant ou non).

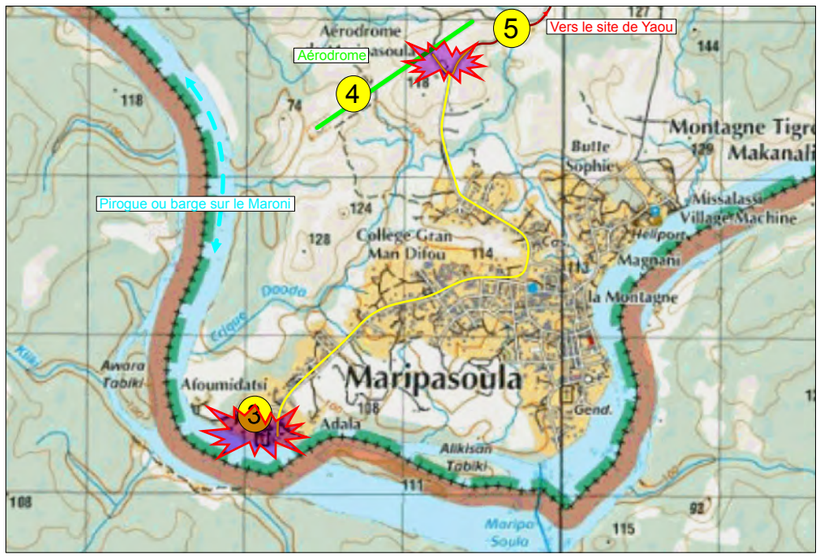
Pirogue sur le Maroni

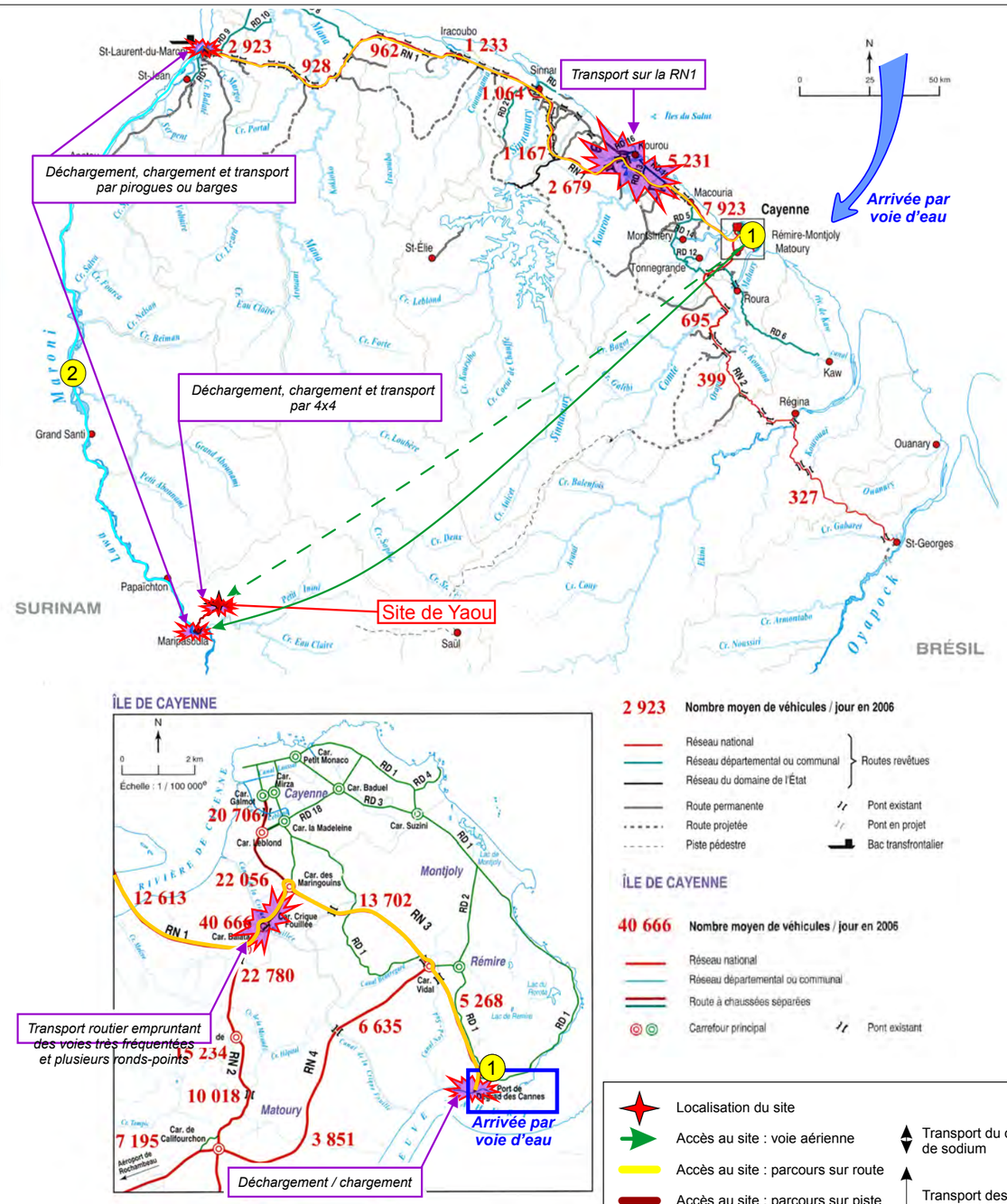


Piste d'atterissage de Maripasoula

Arrivée de la barge au dégrad de Maripasoula

Type de piste reliant Maripasoula à Yaou (*signalisation mise en place à l'entrée du site*)





2 923 Nombre moyen de véhicules / jour en 2006

- Réseau national
- Réseau départemental ou communal
- Réseau du domaine de l'État
- Route permanente
- Route projetée
- Piste pédestre

Routes revêtues

- Pont existant
- Pont en projet
- Bac transfrontalier

ÎLE DE CAYENNE

40 666 Nombre moyen de véhicules / jour en 2006

- Réseau national
- Réseau départemental ou communal
- Route à chaussées séparées
- Carrefour principal

Pont existant

- Localisation du site
- Accès au site : voie aérienne
- Accès au site : parcours sur route
- Accès au site : parcours sur piste
- Accès au site : itinéraire en pirogue
- Zones à risque

Transport du cyanure de sodium

Transport des autres réactifs chimiques

GéoPlusEnvironnement

SMYD - Mine d'or de Yaou - Commune de Maripasoula, Guyane Française (973)
Demande d'autorisation pour la régularisation d'une installation existante (séparation gravitaire d'or primaire) et la mise en place d'une Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)
Mémoire Technique

Illustration de l'acheminement des réactifs
Sources : GéoPlusEnvironnement / SMYD

Figure 38

11.6.1.1. Produits chimiques

Le tableau suivant donne la fréquence et la quantité moyenne des approvisionnements en produits chimiques « dangereux » pour le site. Le transport des produits chimiques « dangereux » est effectué par du personnel expérimenté.

Tableau 25 : Fréquence et quantité moyennes prévisionnelles des approvisionnements en produits chimiques « dangereux » pour le site de Yaou

Produit	Consommation annuelle (T/an)	Fréquence d'approvisionnement	Quantité transportée par rotation
Floculant	2 T/an	1/mois	200 kg
Cyanure de sodium solide	12 T/an	1/mois	1 T
Charbon actif	55 T/an	2/semaine	500 kg
Chaux	300 T/an	2/semaine	3 T
Soude solide	5 T/an	1/mois	400 kg
Acide chlorhydrique	5 T/an	1/mois	400 kg
Nitrate de plomb	3 T/an	1/mois	300 kg
Métabisulfite	56 T/an	2/semaine	500 kg
Sulfate de cuivre	9 T/an	1/mois	800 kg
Borax	120 kg / an	1/an	250 kg
Silice	180 kg / an	1/an	200 kg
White spirit	50 L/an	1/an	100 L

L'approvisionnement de l'UMTMA débutera un à deux mois avant le début du traitement du minerai, puis sera régulier et continu durant toute la durée de l'opération. L'objectif est de disposer sur site d'un **stock d'au moins trois mois d'avance.**

11.6.1.2. Carburants

Comme indiqué précédemment, les carburants seront de deux types :

- le gazole pour la production d'énergie électrique et pour la flotte des engins miniers et le parc automobile,
- l'essence pour les quads.

L'acheminement du carburant se fait par voie fluviale depuis Saint-Laurent-du-Maroni jusqu'à Maripasoula puis par voie terrestre.

Tableau 26 : Fréquence et quantité moyenne des approvisionnements en» carburant pour le site de Yaou

Nature du carburant	Fréquence d'approvisionnement	Quantité moyenne transportée par rotation	Trafic annuel
Gazole	2 rotations par semaine	6 000 litres	100 rotations
Essence	2 rotations par mois	400 litres (2 fûts)	24 rotations

11.6.2. Modalités de transport et conditionnement des matières dangereuses transportées

11.6.2.1. Conditionnement des produits chimiques

Le conditionnement des produits chimiques dangereux dépend de l'état physique et du potentiel de dangerosité du produit :

- Le floculant, l'acide chlorhydrique, le peroxyde d'hydrogène et la soude seront transportés en **bidons** ;

- Le charbon, la chaux, le nitrate de plomb, le métabisulfite et le sulfate de cuivre seront transportés et stockés en **sacs de 25 kg**.
- Le cyanure sera livré et transporté sur site **sous forme solide** dans des **bidons de 50 kg adaptés au transport et sellés par le fabriquant européen**. Le transport sera assuré par du personnel dûment formé à cet effet ou par une société spécialisée et habituée au transport de substances dangereuses.
- Ces bidons sont conçus pour une sécurité optimale. Le cyanure est déposé sous forme de briquettes dans le bidon chez le fabricant qui ajoute un peu de chaux. Chaque bidon contiendra 50 kg de NaCN.
- Ce type de conteneur bénéficie des agréments de transports.

Le transport des matières dangereuses suivra l'ensemble des prescriptions de l'**ADR** (accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route) pour le transport routier, de l'**ADN** (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieure) pour le transport par barge et de l'**IATA** (Association Internationale du Transport Aérien) pour le transport par avion. Les principales prescriptions (étiquetage des produits, formation des chauffeurs, chargement/déchargement…) sont reprises dans le *Tome 4 : Etude de Dangers*.

Tableau 27 : Conditionnement des produits chimiques dangereux

Produit chimique	Mode de conditionnement à la livraison	Mode de conditionnement sur site
Borax	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Silice	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Toluène	Bidons étanches de 5 L	Bidons étanches de 5 L -
White spirit	Bidons étanches de 5 L	Bidons étanches de 5 L -
Charbon	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Chaux	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Nitrate de plomb	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Métabisulfite	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Sulfate de cuivre	Sacs de 25 kg en palettes	Sacs de 25 kg
Floculant	Bidons étanches	Bidons étanches
Acide chlorhydrique	Bidons étanches	Bidons étanches
Peroxyde d'hydrogène	Bidons étanches	Bidons étanches
Cyanure	Bidons sécuritaires de 50 kg	Bidons sécuritaires de 50 kg

11.6.2.2. Conditionnement des carburants

Comme indiqué précédemment, les carburants sont amenés sur site par voie fluviale, puis par camion citerne.

Les fûts contenant de l'essence sont quant à eux amenés tels quels jusqu'au campement de Yaou.

12. GESTION DES DECHETS

12.1. GENERALITES

Les déchets du site minier de Yaou sont et seront collectés de manière sélective et stockés temporairement avant évacuation pour élimination ou valorisation.

Les différents types suivants de déchets sont triés sur le site :

- huiles et graisses usées ;
- textiles souillés ;
- filtres à huile usagés ;
- batteries et piles usées ;
- rebuts métalliques ;
- pneus usagés ;
- déchets industriels banals (bidons, verre, textiles,..) ;
- ordures ménagères ;
- véhicules hors d'usage.

Deux zones de stockages dédiées existent pour les pneus et les rebuts métalliques.

Les huiles et graisses usées font l'objet d'une attention particulière. Elles sont stockées, sur rétention bétonnées imperméables, en fûts de 200 litres, hermétiquement fermés avant d'être évacués par lot chez Endel.

Les produits souillés aux hydrocarbures (textiles, filtres…) seront également stockés dans des fûts disposés sur rétention. Ils seront ensuite évacués vers la plateforme de regroupement ENDEL de Kourou.

Une aire de stockage est dédiée aux rebuts métalliques (engins hors d'usage, consommables usés de broyeurs, châssis d'engins de chantier, grilles…). Certaines de ces ferrailles peuvent être recyclées sur place.

Une réserve de pneus est installée à proximité de l'usine et de l'atelier pour permettre une autonomie de l'ensemble des véhicules sur site. Le volume stocké est de 1,5 t (soit 16 pneus) maximum. Les pneus neufs y sont stockés. Les pneus usagés sont entreposés temporairement avant d'être coupés en deux pour être utilisés pour la stabilisation des talus.

Les conditions de stockage des déchets (hors résidus miniers), essentiellement héritées des exploitations passées, devront être revues afin de limiter les impacts du site sur son environnement. De plus, des mesures devront être mises en place afin de rapatrier certains déchets sur le littoral et les envoyer en centre de traitement agréé (*Cf. Tome 3 – Etude d'Impact*).

Pour plus de précision, se référer au Tome 3 : Etude d'Impact.

12.2. GESTION DES DECHETS (HORS RESIDUS DECYANURES)

Les déchets liés aux activités de l'UMTMA (hors résidus miniers) et des parcs à résidus ultimes associés se limiteront essentiellement aux éléments du tableau suivant.

N°	Désignation	Lieu de production	Type	Filière
13 01 10*	Huiles hydrauliques usagées	Maintenance des engins, matériels roulants, installations de levage et systèmes hydrauliques de l'usine de traitement gravimétrique et de l'UMTMA maintenance des groupes électrogènes	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
13 02 05*	Huiles moteur, de boîtes de vitesses et de lubrification usagées	Maintenance des groupes électrogènes de la base vie, de l'usine de traitement gravimétrique et de l'UMTMA, compresseurs, engins et matériel roulant	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
13 05 01*	Contenu de séparateur eau/hydrocarbures	Maintenance des séparateurs d'hydrocarbures et des bacs de rétention de l'usine de traitement gravimétrique et de l'UMTMA	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
15 01 10*	Fûts métalliques usagés	Maintenance des groupes électrogènes, engins et matériel roulant, et de l'usine de traitement gravimétrique et de l'UMTMA	DIS	Réutilisation sur site, containers à déchets et transport d'appoint du carburant ou stockage sur les aires étanches prévus au niveau de l'atelier mécanique à cet effet
15 01 10*	Conteneurs vides de cyanure de sodium	Réactifs de lixiviation (UMTMA)	DIS	Rendu au fournisseur pour réutilisation
15 01 10*	Sacs vides de Chaux éteinte	Réactifs de lixiviation (UMTMA)	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
15 01 10*	Bidons vides d'acide chlorhydrique	Réactifs de lixiviation (UMTMA)	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
15 01 10*	Conteneurs vides de soude	Réactifs de lixiviation (UMTMA)	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
15 01 10*	Conteneur vide de charbon actif	Réactifs de lixiviation (UMTMA)	DIS	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
15 01 (autres que 15 01 10*)	Autres emballages	Emballages des fondants, produits utilisés en laboratoire, etc. (usine de traitement gravimétrique et UMTMA)	DIS	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
15 02 02*	Absorbants, matériaux filtrants, chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	Maintenance des engins et des installations de traitement (usine de traitement gravimétrique et UMTMA)	DIS	Renvoi par pirogue sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
16 01 07*	Filtres à huiles	Maintenance des engins et matériel roulant	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
12 01 12*	Graisses usagées	Maintenance des engins et matériel roulant	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
16 06 01*	Batteries hors d'usage, piles	Maintenance des engins et matériel roulant, petit matériel	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
16 01 99	Utilitaires mécaniques (pièces souillées)	Maintenance des engins et matériel roulant	DIS	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)

N°	Désignation	Lieu de production	Type	Filière
16 01 (17 à 20)	Métaux ferreux et non ferreux, matières plastiques et verre provenant du démontage de véhicules hors d'usage et de l'entretien des véhicules	Maintenance des engins et matériel roulant	DIB	Renvoi par barge sur le littoral pour la prise en charge par la société ENDEL (transport et élimination)
01 03 99	Déchets métalliques issus du broyeur	Maintenance des installations de traitement (usine de traitement gravimétrique et UMTMA)	DIB	Stockage sur site en attente de recyclage (réutilisations dans les broyeurs à boulets pour obtenir des granulométries de sortie plus fines)
16 01 03	Pneus usagés	Maintenance des engins et matériel roulant	DIB	Sur site : ouvrage en pneu-sol Ou évacuation pour prise en charge par ENDEL
15 01 01	Emballages en papier/carton	Base vie, usine de traitement gravimétrique, UMTMA, maintenance	DIB	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
15 01 02	Emballages en matières plastiques	Base vie, usine de traitement gravimétrique, UMTMA, maintenance	DIB	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
15 01 03	Emballages en bois (palettes)	Base vie, usine de traitement gravimétrique, UMTMA, maintenance	DIB	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
20 03 01	Déchets ménagers et assimilés en mélange	Fonctionnement locaux sociaux et réfectoire	DA	Evacuation sur la commune de Kourou pour stockage en CET
20 03 04	Boues de fosses septiques	Fonctionnement fosses septiques	DA	Valorisation sur place, dans la pépinière (compostage, lagunage, utilisation comme amendement …)
20 02 01	Déchets verts	Défrichement des pourtours des installations, des parcs à résidus	DA	Sur site : compostage et revégétalisation

13. MISE A L'ARRET DES INSTALLATIONS

13.1. PRINCIPE DE MODULARITE ET MISE A L'ARRET DE L'UMTMA

Cette unité, modulaire, est facilement déplaçable et démontable. Une fois son utilisation terminée, elle sera donc facilement démantelée. Les produits chimiques dangereux et potentiellement dangereux seront mis dans des cuves, et évacués vers Cayenne, pour être pris en charge par des structures agréées. Il en sera de même pour tous les équipements ayant été en contact avec ces produits (canalisations, géomembranes, etc.). Les pompes seront nettoyées, et seront réutilisées par la SMYD.

13.2. NEUTRALISATION DES INSTALLATIONS

La neutralisation concerne toutes les installations susceptibles de libérer des liquides ou des gaz toxiques ou dangereux. Ces dernières comprennent principalement les stocks d'hydrocarbures, les groupes électrogènes et l'UMTMA en elle-même.

La cuve de stockage de gazole spécifique à l'UMTMA sera dégazée, puis vidangée, ainsi que les canalisations de transfert les concernant.

Les déchets découlant de ces opérations seront collectés, regroupés par catégorie, et envoyés vers des centres de traitement autorisés.

Les sacs et garnitures en plastique qui auraient pu entrer en contact avec du cyanure doivent être rincés trois fois avant d'être jetés. Toute l'eau de rinçage doit être considérée comme contenant du cyanure et sera dirigée vers le circuit de décyanuration.

Les conteneurs de cyanure, qui sont spécifiquement destinés à être **rendus au fournisseur** pour réutilisation, ne doivent pas nécessairement être rincés, mais tout résidu à l'extérieur du conteneur doit être rincé et géré selon le Code International de bonne gestion du cyanure (*Cf. Annexe 7*). Le conteneur doit également être bien fermé pour l'expédition.

13.3. DECONSTRUCTION DES SUPERSTRUCTURES

Après neutralisation des capacités et des canalisations de transfert, les superstructures de l'UMTMA seront déconstruites. Cette phase sera facilitée par le caractère « modulaire et facilement démontable » de l'UMTMA.

Cette unité pourra ainsi être ensuite installée sur un autre site AUPLATA.

Les déchets industriels (huiles usées, pièces mécaniques diverses...) seront entièrement évacués du site pour être rapatriés sur Cayenne et dirigés vers des filières de traitement autorisées. Il ne subsistera aucun déchet industriel sur le site. Les seuls déchets qui pourront être laissés sur place seront des déchets inertes (matériaux, gravats, etc. notamment issus de la déconstruction de l'aire bétonnée) qui ne présenteront aucun risque pour l'environnement et seront signalés sur un plan fourni à l'administration (DEAL).

13.4. ENLEVEMENT DES INFRASTRUCTURES

Les fondations de l'UMTMA feront l'objet d'un contrôle préalable (visuel ou si besoin en laboratoire) portant sur l'éventuelle pollution des bétons. Lorsque les matériaux seront sains, les fondations seront simplement arasées et recouvertes d'une couche de matériaux sains (stériles du site minier, …) pouvant supporter la revégétalisation. A défaut, les fondations seront purgées et les matériaux pollués éliminés.

13.5. EVACUATION DES DECHETS ISSUS DU DEMANTELEMENT

Tous les produits chimiques et pétroliers restant dans les aires de stockage seront enlevés et transportés hors site pour élimination ou retour aux fournisseurs. Les structures de stockage physiques telles que les réservoirs, cuves et toutes les installations de confinement seront enlevées ou démantelées.

Les aires présentant éventuellement une contamination superficielle ou sub-superficielle seront purgées et les matériaux contaminés seront éliminés sur le site ou hors site. Les déchets seront évacués par catégories vers des filières autorisées. Les déchets ménagers et assimilés seront enfouis ou transférés vers la décharge de Saint-Elie (si existante). Les déchets dangereux seront évacués après reconditionnement vers des filières autorisées.

L'expédition sera accompagnée des bordereaux de suivi de déchets industriels qui seront conservés.

Un diagnostic pollution sera finalement réalisé et sera notamment axé sur la recherche de cyanure.

13.6. FERMETURE DES BASSINS DE REJETS GRAVIMETRIQUES ET DES PARCS A RESIDUS DECYANURES

Les objectifs seront de minimiser l'érosion, d'interdire les pertes de résidus et de ramener le parc à un état qui se rapprochera le plus possible de l'état naturel environnant. **Les criques ont ou auront préalablement été déviées avant l'exploitation de ces parcs et le resteront après fermeture. Ainsi, elles ne mobiliseront pas les MES présentes dans les résidus, pour les évacuer vers le milieu naturel.**

Les essais de lixiviation indiquent également que les rejets gravimétriques ne génèrent pas de lixiviats pouvant affecter la qualité des eaux superficielles et souterraines.

Aucun risque de pollution n'existe donc au niveau des parcs à résidus (à part la mise en suspension de MES dans les criques en aval du site). Dans les parcs à résidus décyanurés, les cyanures seront en grande partie détruits du fait du procédé de l'UMTMA. Les éventuelles traces de cyanures subsistantes seront détruites naturellement en moins de 2 ans (cycle de dégradation naturelle).

La terre végétale, issue de la légère découverte des carrières d'emprunt, sera régalée sur les digues des parcs à résidus afin de permettre la plantation de végétaux (rôle d'intégration paysagère et de stabilisation des digues).

En fin d'exploitation, les surverses des différents bassins d'eau claire seront conservées et permettront aux eaux de ruissellement de rejoindre les criques en aval du site.

Les parcs à résidus décyanurés et bassins de rejets gravimétriques feront également l'objet d'un **réaménagement et d'une surveillance post-exploitation spécifique.** Les eaux de surverse de ces zones de stockage seront périodiquement vérifiées, ainsi que l'état des digues afin d'en vérifier l'intégrité et la qualité.

Enfin, après sèchement et tassement naturels, les parcs à résidus décyanurés et bassins de rejets gravimétriques seront revégétalisés afin de permettre le retour, à terme, d'espèces locales d'arbres de forêt primaire.

Eventuellement, la digue aval de chaque zone de stockage pourra être renforcée par un élargissement du pied de digue.

La revégétalisation des parcs à résidus décyanurés sera favorisée et accélérée grâce à l'épaississement préalable des résidus avant mise en stock. Elle **pourra être coordonnée à la mise en stock**. En effet les résidus se stabiliseront rapidement (en 1 an environ) permettant l'accès aux engins de terrassement pour les travaux de remise en état.

Le programme de surveillance est détaillé au Chapitre 8.4 du Tome 3 : Etude d'Impact.

13.7. PISTES

Les pistes permettant l'accès aux parcs à résidus décyanurés, aux bassins de rejets gravimétriques et à l'ancienne UMTMA seront conservées sur toute la durée du programme de surveillance. La piste reliant la centre de la commune de Maripasoula au site sera maintenu et régulièrement entretenue.

Elles fourniront ainsi un accès aux différents secteurs pour la réhabilitation et le suivi post-fermeture. La Base vie sera laissée en l'état ou démontée, suivant les besoins du secteur au moment de l'arrêt de l'exploitation.

13.8. CONTROLE DE LA QUALITE DES SOLS ET DES EAUX

Les sols des installations à risque feront l'objet d'un diagnostic de sols et d'une analyse de risques conformément au guide méthodologique du Ministère de l'Environnement. Le diagnostic pollution pourra être mené alors que les installations sont encore en place ou après déconstruction, et se déroulera comme suit :

- analyse historique,
- détermination des vulnérabilités et délimitation des zones potentiellement polluées,
- investigations de terrain (sondages sols et prélèvements d'eau),
- analyses en laboratoire,
- recherche de « valeurs réglementaires »,
- éventuellement, réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), et d'une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM),
- établissement d'un schéma conceptuel d'exposition,
- mise en place de préconisations éventuelles,
- conclusion et détermination des usages futurs possibles.

13.9. STRUCTURES LAISSEES EN PLACE

Les structures laissées en place dépendront en partie des activités (ICPE et/ou minière) qui se poursuivront, à l'avenir, sur le site de Yaou ou, en vue d'un arrêt total de l'activité, du projet de réaménagement envisagé.
Il est par exemple envisageable que l'UMTMA soit un jour démantelée alors que les activités d'extraction de minerai, de reprise de rejets et de traitement gravimétrique soient poursuivies.
Il est également possible que soit conservées sur site une ligne de production gravimétrique d'or, une carrière d'emprunt ou une fosse d'extraction minière afin de réaliser un sentier touristique et pédagogique (musée sur le thème de l'extraction minière).

L'ensemble des infrastructures permettant le bon déroulement des activités qui persisteront, telles qu'elles ont été décrites dans ce Tome, sera maintenu en place.

En cas d'arrêt des activités minières du site, les seules structures (sans sa globalité) laissées en place (en complément des pistes destinées au maintien de l'accès aux parcs à résidus) seront :

- les bureaux administratifs du site à partir desquels le suivi (environnement, géotechnique) pourra être assuré,
- l'héliport, afin de permettre un accès facilité au site de Yaou.

14. REAMENAGEMENT DU SITE DE YAOU DANS SON ENSEMBLE

La remise en état est détaillée dans le chapitre 8 du Tome 3 : Etude d'Impact.

La philosophie générale choisie par SMYD est de permettre un retour aussi proche que possible de l'état initial. Sous réserve d'accord du propriétaire (l'Etat français représenté par l'ONF), d'autres solutions sont et seront étudiées, à plus ou moins long terme selon la solution, telles que la poursuite des activités de ce site, la création d'un village, d'un circuit touristique, la création d'un musée de la mine ou d'un village de vacances, ou encore la mise en place d'un centre de formation aux métiers de la mine en Guyane.

La remise en état des zones concernées par les **activités ICPE et annexes** interviendra :

- ✓ après la cessation définitive des activités de traitement du minerai pour l'usine gravimétrique, l'UMTMA, les ateliers et magasins de pièces mécaniques, la base vie…
- ✓ de façon coordonnée, au fur et à mesure de la progression du remplissage des bassins de rejets et parcs à résidus décyanurés et de la stabilisation des matériaux remblayés.

Le réaménagement des **zones d'activité minière** sera opéré **de manière coordonnée**, au fur et à mesure de la progression des activités d'extraction, de mise en verse des stériles et de reprise des anciens rejets gravimétriques.

Dans un souci de clarté, ce chapitre présente le projet de réaménagement final du site de Yaou dans sa globalité (infrastructures ICPE et minières).

14.1. OBJECTIFS DU REAMENAGEMENT

L'objectif premier du réaménagement du site ICPE et minier de Yaou est, globalement, de permettre à l'environnement, après exploitation, de se rétablir et de se reconstituer d'une manière assez proche de son état initial. Cette réhabilitation consistera donc notamment à :

- **enlever les équipements**, démanteler les bâtiments et infrastructures ;
- **déblayer les débris**, démolir les fondations ;
- **nettoyer les sols** qui seraient contaminés malgré les précautions décrites dans ce dossier (réaliser un diagnostic pollution) ;
- **sécuriser les lieux** de façon à ne pas porter atteinte à la santé et sécurité des personnes ;
- remettre les surfaces perturbées dans un état où le **couvert végétal** préviendra l'érosion et permettra la reprise naturelle de la végétation ;
- **éliminer ou minimiser les effets sur les eaux** superficielles ou souterraines ;
- **éviter toute contamination** des mêmes eaux ;
- **favoriser la stabilité** à long terme des lieux.

Une surveillance post-fermeture s'appliquera aux bassins de rejets gravimétriques, parcs à résidus décyanurés, fosses et verses à stériles, pour une durée de 10 ans.

14.1.1. Mise en sécurité et accès

A l'issue de la période d'exploitation, l'accès au site depuis Maripasoula sera maintenu et régulièrement entretenu. De même, l'héliport et/ou l'aérodrome seront laissés en place afin de permettre un accès par voie aérienne. Les pistes se trouvant au cœur du périmètre ICPE seront conservées après exploitation, et permettront de rejoindre l'emplacement de la base vie, de l'UMTMA et de l'usine gravimétrique.

14.1.2. Vocation touristique, pédagogique et scientifique éventuelle

Le site minier de Yaou est l'un des rares sites miniers guyanais accessible facilement par voie aérienne (ligne directe quotidienne Cayenne/Maripasoula) puis routière.

SMYD envisage la mise en place, après activité, d'une base d'accueil touristique et/ou scientifique au niveau de la base vie.

- Le futur site minier réhabilité de Yaou pourra constituer une étape d'un **circuit touristico-pédagogique sur l'exploitation minière en Guyane**. A cette fin, plusieurs organes de la mine seraient laissés en place afin d'illustrer certaines étapes de l'exploitation du minerai aurifère :
  - une fosse d'extraction du minerai primaire, avec des gradins conservés pour illustrer le contexte géologique du site et les méthodes d'extraction ;
  - une ligne de production illustrant une étape du traitement gravimétrique du minerai ;
  - une partie des bâtiments la base vie servirait de village d'accueil ;
  - Des engins utilisés pour l'exploitation (pelle hydraulique, tombereau) pourraient également être exposés pour illustrer les procédés d'extraction et les moyens de transport.
- Le site minier de Yaou présente des caractéristiques interessantes en termes d'accès et d'infrastructures existantes pour y implanter une base de recherche à vocation **écologique** (étude de la reprise de la végétation sur un ancien site miner), **sanitaire** (comportement du mercure, techniques de dépollution, ...), **agronomique** (plantations test pour le développement d'une nouvelle filière agricole, ...)…

Ces vocations ne sont pas incompatibles avec le retour à l'état naturel puisque SMYD procèdera dans tous les cas à la réhabilitation et à la revégétalisation des parcs à résidus, bassins de rejets gravimétriques, fosses, verses, pistes. Seuls. Elles ne concerneront vraisemblablement que le secteur Yaou Central.

14.2. INSERTION DU SITE DANS SON ENVIRONNEMENT

Les travaux de réaménagement seront coordonnés à l'exploitation et au traitement du minerai du site minier de Yaou, et seront réalisés progressivement, au cours de la période d'activité des installations concernées par le présent projet. Le réaménagement sera finalisé à l'issue du démantèlement des dernières structures employées par SMYD.
Les travaux de réaménagement seront principalement menés par **enherbement et plantation d'arbres**. Tous les plants proviendront de la pépinière SMYD, implantée sur le site (au titre des ICPE).

Les **versants pentus** des **digues**, des **parcs à résidus** (PARU1) et des **verses à stériles**, ainsi que les fronts et banquettes des **fosses** d'extraction seront uniquement **enherbés** afin de lutter contre les **phénomènes d'érosion** et permettre aux compartiments visés de se stabiliser (assèchement, dépollution).

Le programme de revégétalisation sera basé sur la méthode de plantation de la société **VERDAL-Reforestage**, filiale d'AUPLATA. L'immense avantage de cette méthode, réside dans l'implantation immédiate d'espèces forestières nobles, sensibles ou patrimoniales issues du cortège floristique de la forêt tropicale humide, sans avoir recours des stades transitoires. De fait l'on élude ainsi la problématique d'avoir à utiliser des espèces exogènes présentant des risques d'invasions biologiques – observables dans des milieux profondément dénaturés par des activités industriels ou anthropiques.

14.2.1. Programme de lutte contre l'érosion des sols

Ce programme consiste à enherber un maximum de surfaces décapées, afin d'éviter le phénomène de mobilisation des fines par les eaux de ruissellement, qui constitue l'impact majeur du site sur les eaux superficielles.

L'objectif de cette mesure n'est pas esthétique, et n'aspire pas à revégétaliser ces zones durablement. En effet, il s'agit ici de lutter contre l'érosion hydrique de ces sols, dans le délai le plus court possible.

14.2.2. Programme de réaménagement des parcs à résidus

Le programme de revégétalisation sera basé sur la méthode de plantation de la société VERDAL-Reforestage, filiale d'AUPLATA. L'immense avantage de cette méthode réside dans l'implantation immédiate d'espèces forestières nobles, sensibles ou patrimoniales issues du cortège floristique de la forêt tropicale humide, sans avoir recours à des stades transitoires. De fait, est ainsi éludée la problématique d'avoir à utiliser des espèces exogènes présentant des risques d'invasions biologiques – observables dans des milieux profondément dénaturés par des activités industrielles ou anthropiques.

La revégétalisation des parcs à résidus sera favorisée et accélérée grâce à la centrifugation préalable des résidus avant mise en stock. Elle **pourra être coordonnée à la mise en stock**. En effet les résidus se stabiliseront rapidement (en 1 an environ) permettant l'accès aux engins de terrassement pour les travaux de remise en état.

14.2.3. Réaménagement des criques déviées

La crique Yaou a été déviée lors de la mise en place des bassins 2, 3 et 4 qui serviront prochainement comme parc à résidus décyanurés.

Les digues permettant leur déviation et leur canalisation devront être suffisamment dimensionnées pour en assurer la stabilité dans le temps, et permettre une gestion des évènements pluviométriques exceptionnels. Ces déviations resteront en place.

En parallèle, des **espèces héliophiles inféodées au bas fond et aux berges de criques** (*Euterpe oleacera*, *Mauritia flexuosa*, *Pterocarpus officinalis*, etc…) seront semées et/ou plantées au pied des digues et canaux de dérivation. De plus, afin de favoriser le piégeage de limes, on facilitera **l'installation de différentes cypéracées sur les zones très hydromorphes**.

Les zones en surplomb seront végétalisées (utilisation des genres *Senna* et *Serbania).*

15. CALCUL DES GARANTIES FINANCIERES

15.1. FONDEMENT REGLEMENTAIRE

L'article 4.2 de l'ex-Loi du 19 juillet 1976 (Codifié à l'art. L.516-1 du Code de l'Environnement) relative aux installations classées pour la protection de l'environnement introduit l'obligation de constitution de garanties financières, pour la mise en activité de certaines installations classées, notamment les carrières.

15.1.1. Stockage des déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive

L'article 4.2 de l'ex-Loi du 19 juillet 1976 (Codifié à l'art. L.516-1 du Code de l'Environnement) relative aux installations classées pour la protection de l'environnement introduit l'obligation de constitution de garanties financières, pour la mise en activité de certaines installations classées, notamment les carrières.

Dans sa circulaire du 9 mai 2012, Monsieur le Directeur Général de la Prévention des Risques fait les recommandations nécessaires à la mise en œuvre de ces garanties pour ce qui concerne les carrières et les stockages des déchets de l'industrie extractive, et notamment des déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive (rubrique 2720 des ICPE).

L'attestation de garanties financières prendra la forme d'un acte de cautionnement solidaire, établi conformément au modèle défini par l'arrêté ministériel du 1er février 1996 modifié par l'Arrêté du 30 Avril 1998.

Cet acte de cautionnement solidaire sera fourni à M. le Préfet soit par un établissement de crédit, soit par une société d'assurance, au terme de la procédure réglementaire d'autorisation, en même temps que la déclaration de début de travaux.

L'annexe 2 de la circulaire du 9 mai 2012 fixe les règles de calcul du montant des garanties financières pour une installation de stockage de déchets classés 2720 selon la méthode de calcul aux coûts réels ou selon la méthode de calcul forfaitaire. La Circulaire du 9 mai 2012 est fournie en *Annexe 18*. Cette circulaire semble la mieux adaptée pour le calcul des garanties financières pour la remise en état des bassins de rejets gravimétriques et des parcs à résidus décyanurés.

15.1.2. Carrières d'emprunt

L'article 4.2 de l'ex-Loi du 19 juillet 1976 (Codifié à l'art. L.516-1 du Code de l'Environnement) relative aux installations classées pour la protection de l'environnement introduit l'obligation de constitution de garanties financières, pour la mise en activité de certaines installations classées, notamment les carrières.

Dans sa circulaire du 14 février 1996, Madame le Ministre de l'Environnement fait les recommandations nécessaires à la mise en œuvre de ces garanties pour ce qui concerne les carrières.

L'attestation de garanties financières prendra la forme d'un acte de cautionnement solidaire, établi conformément au modèle défini par l'arrêté ministériel du 1er février 1996.

Cet acte de cautionnement solidaire sera fourni à M. le Préfet soit par un établissement de crédit, soit par une société d'assurance, au terme de la procédure réglementaire d'autorisation, en même temps que la déclaration de début de travaux.

L'Arrêté Ministériel du 10 février 1998, publié au Journal Officiel du 13 mars 1998, fixait les règles de calcul du montant des garanties financières à constituer par les exploitants de carrières. Le

mode de calcul des garanties est désormais fixé par voie réglementaire et de manière forfaitaire. Les surfaces considérées sont uniquement celles qui nécessitent des travaux de remise en état.

Enfin, l'arrêté du 9 février 2004 modifié par l'arrêté du 24 décembre 2009 (*Cf. Annexe 18*) relatif à la détermination du montant des garanties financières actualise la méthodologie et propose de nouveaux taux pour les calculs.

15.1.3. Autres ICPE

Le décret n°2012-633 du 3 mai 2012 impose de constituer des garanties financières pour certaines ICPE soumises à autorisation, en vue de leur mise en sécurité. La liste des ICPE concernées par cette obligation est fixée par l'Arrêté du 31/05/2012.

Pour mémoire, ce projet est soumis à autorisation pour les rubriques ICPE suivantes :

Rubrique ICPE	Capacité de l'installation
2510 - Exploitation de carrière	Régularisation des emprunts réalisés pour la création des digues et pistes internes
2515-1 - Installations de broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux, minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels ou de déchets non dangereux inertes, autres que celles visées par d'autres rubriques et par la sous-rubrique 2515-2	Broyage 2 030 kW au total (665 kW pour l'usine gravimétrique et 1 365 kW pour l'UMTMA)
2516 – Station de transit de produits minéraux pulvérulents	Bassins 2, 3 et 4 et Fosse A, actuellement ou futurement, utilisés comme stockage temporaire de rejets gravimétriques avant retraitement des matériaux par cyanuration : jusqu'à 880 000 m^3
2546 – Traitement des minerais non ferreux, élaboration et affinage des métaux et alliages non ferreux (à l'échelle industrielle)	Séparation gravimétrique d'or primaire Retraitement par cyanuration des rejets gravimétriques (minerai aurifère secondaire) Affinage des concentrés aurifères
3250 – a) Production de métaux bruts non ferreux à partir de minerais, de concentrés ou de matières premières secondaires par procédés métallurgiques, chimiques ou électrolytiques	Retraitement par cyanuration des rejets gravimétriques (minerai aurifère secondaire), élution et électrolyse de la solution enrichie
4110-1 - Toxicité aiguë catégorie 1 pour l'une au moins des voies d'exposition, à l'exclusion de l'uranium et ses composés. **Ex rubrique 1111-1**	Stock maximum de cyanure de sodium solide pur = 4,5 T
2713 – Installation de transit, regroupement ou tri de métaux ou de déchets de métaux non dangereux	Stockage de pièces mécaniques (magasin de l'atelier) : **50 m²**
2720-2 - Installation de stockage de déchets non dangereux non inertes résultant de la prospection, de l'extraction, du traitement et du stockage de ressources minérales ainsi que de l'exploitation de carrières (site choisi pour y accumuler ou déposer des déchets solides, liquides, en solution ou en suspension)	Bassins de rejets de la gravimétrie (fosses A et Centrale) Création de parcs à résidus décyanurés

La rubrique 3250 - a) est la seule concernant le projet est qui mentionnée dans l'Arrêté du 31 mai 2012.

En conséquence, **l'usine gravimétrique et l'UMTMA sont soumises à la constitution de garanties financières pour leur mise en sécurité**.

15.2. MONTANT DES GARANTIES FINANCIERES

15.2.1. Stockages déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive

Pour les installations de stockage de déchets classés 2720, la formule de calcul forfaitaire est la suivante :

$$CR = C2 \times S_{2720} \times I_{2720}$$

Avec :

- **CR** : montant de référence des garanties financières pour la période considérée (5 ans)
- **C2** : 36 290 €/ha pour les 5 premiers hectares, puis 29 625 €/ha pour les 5 suivants, et 22 220 €/ha au-delà (fixée par l'Arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières) ;
- **S_{2720} :** surface de l'installation 2720 en chantier pendant la période garantie
- **I_{2720}** : coefficient de majoration pour les installations classées 2720, de 0,30 dans notre cas :

Type de stockage	I_{2720}
Bassin enterré	0,40
Bassin endigué	0,30
Dépôt de surface et verse à flanc de relief	$S_{2720} \leq 5$ ha : 0,35 $5 < S_{2720} \leq 10$ ha : 0.25 $S_{2720} > 10$ ha : 0,15
Verse dans une fosse	0

Seuls, les parcs à résidus décyanurés sont considérés comme des installations de stockage de déchets non inertes et non dangereux issus de l'industrie extractive :

- ✓ Le caractère inerte et non dangereux des rejets gravimétriques et justifié au *§ 5.1p 68* ;
- ✓ Le caractère non inerte et non dangereux des résidus décyanurés est établi au *§ 6.1 p 88*.

La détermination des surfaces mises en jeu dans le calcul des garanties financières s'appuie sur les *Figures 27 à 32* qui permet d'estimer, pour chaque phase, les surfaces de parcs à résidus décyanurés réaménagées et en chantier restant à réaménager. Le calcul des garanties est réalisé sur la base des surfaces de l'installation 2720 en chantier (les parcs à résidus décyanurés ne sont plus considérés en chantier) :

Phase	S Surface des stockages en chantier pendant la phase (en ha)	I	C2 (€/ha)	Montant des garanties financières (€ HT)
1	PARU1 : 1,76 ha en dépôt de surface	0,35	36 290 €/ha pour les 5 premiers hectares, puis 29 625 €/ha pour les 5 suivants, et 22 220 €/ha au-delà	**55 306**
	PARU1 : 2,27 ha en bassin enterré	0,4		
2	PARU1 : 4,03 ha en dépôt de surface	0,35		**83 521**
	PARU 2 et 3 : 2,97 ha en bassin endigué	0,3		
3	PARU 3 et 4 : 7,23 ha en bassin endigué	0,3		**72 454**
4	PARU 4 : 5,07 ha en bassin endigué	0,3		**55 057**
5	PARU 4 : 2,1 ha en bassin endigué	0,3		**22 863**

La circulaire du 9 mai 2012 ne prévoit pas de formule d'actualisation de ces garanties.

15.2.2. Carrières d'emprunt

Pour les carrières à flanc de relief ou en fosse, la formule de calcul est la suivante :

$$CR = \alpha \times (S1.C1 + S2.C2 + S.3C3)$$

Avec :

- **CR** : montant de référence des garanties financières pour la période considérée (5 ans)
- **S1** : somme de la surface de l'emprise des infrastructures au sein de la surface autorisée (pistes) et de la valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par les surfaces défrichées diminuées de la valeur maximale des surfaces en chantier soumises à défrichement ;
- **C1** : 15 555 €/ha ;
- **S2** : valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la somme des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) ;
- **C2** : 36 290 €/ha pour les 5 premiers hectares, puis 29 625 €/ha pour les 5 suivants, et 22 220 €/ha au-delà ;
- **S3** : valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par le produit du linéaire de front par la hauteur des fronts ;
- **C3** : 17 775 €/ha.

Et :

- α = Index/ index0 x ((1+TVAR)/ (1+TVA0)) = 1,088
- Index : indice TP01 utilisé pour l'établissement du montant de référence des garanties financières fixé par l'arrêté préfectoral du 9 février 2004. Indice TP01 de **septembre 2016** et publié au Journal officiel le 20 décembre 2016, soit **102,6** (TP01 base 100 en 2010) ou 670,44 (TP01 base 100 en janvier 1975)
- Index0 : indice TP01 de **mai 2009**, soit **94,3** (TP01 base 100 en 2010) ou 616,5 (TP01 base 100 en janvier 1975)
- TVAR : Taux de TVA applicable soit 0 (pas de TVA en Guyane)
- TVA0 : Taux de TVA applicable en janvier 2009, soit 0 (pas de TVA en Guyane)

Nb : La référence TP01 base 100 en janvier 1975 (supprimée après le mois de septembre 2014), a été raccordée au nouveau paramètre TP01 base 100 en 2010 en appliquant un **coefficient de raccordement de 6,5345** sur la valeur du mois de mai 2016.

L'exploitation de la carrière d'emprunt du site de Yaou se fait de manière **très ponctuelle**, et seulement lors des campagnes de création, de rehaussement ou de reprofilage des digues, et de réfection des pistes. Leur superficie se limite actuellement à **environ 1 ha au total**. De plus, elle ne présente qu'un seul front de 5 m de hauteur en moyenne.

On prendra l'hypothèse qu'à chaque phase quinquennale, une surface équivalente à 1 ha restera à réaménager et que le linéaire de front associé sera de 400 m.

Le tableau suivant synthétise les coûts résultant des calculs précédents :

Phase	**Durée** (an)	**S1 Infra-structure** (ha)	**S1 x C1** (C1 = 15 555 €/ha)	**S2 Chantier** (ha)	**S2 x C2** (C2 = 36 290 puis 29 625 et 22 220 €/ha)	**S3 Fronts** (ha)	**S3 x C3** (C3 = 17 775 €/ha)	**Montant des garanties financières avant actualisa-tion** (€ TTC)	**Montant des garanties financières actualisées en mai 2016 (α=1,088)** (€ TTC)
1	5	0	0	1	54 435	0,25	4 444	58 879	64 061
2	5	0	0	1	54 435	0,25	4 444	58 879	64 061
3	5	0	0	1	54 435	0,25	4 444	58 879	64 061
4	8	0	0	1	54 435	0,25	4 444	58 879	64 061

Avec :

α = Index/ Index0 x ((1+TVAR)/ (1+TVA0))		
Index	:	102,6 ou 670,44 (TP01 de mai 2016)
Index0	:	94,3 ou 616,5 (TP01 de mai 2009)
TVAR	:	0 (pas de TVA en Guyane)
TVA0	:	0 (pas de TVA en Guyane)
α	=	1,073

15.2.3. Mise en sécurité des ICPE (Usine gravimétrique, UMTMA et Goldroom)

La formule de calcul forfaitaire du montant de référence des garanties financières de mise en sécurité des ICPE est définie par l'Arrêté du 31 mai 2010 relatif aux modalités de détermination et d'actualisation du montant des garanties financières pour la mise en sécurité des installations classées.

Le montant global de la garantie est égal à :

$$M = Sc\,[Me + \alpha(Mi + Mc + Ms + Mg)]$$

Où :

- SC : coefficient pondérateur de prise en compte des coûts liés à la gestion du chantier. Ce coefficient est égal à 1,10.
- Me : montant, au moment de la détermination du premier montant de garantie financière, relatif aux mesures de gestion des produits dangereux et des déchets présents sur le site de l'installation. Ce montant est établi sur la base des éléments de référence suivants :
  - Nature et quantité maximale des produits dangereux détenus par l'exploitant ;
  - Nature et quantité estimée des déchets produits par l'installation. La quantité retenue est égale à :
    - la quantité maximale stockable sur le site éventuellement prévue par l'arrêté préfectoral ;
    - à défaut, la quantité maximale pouvant être entreposée sur le site estimée par l'exploitant.
- MI : montant relatif à la neutralisation des cuves enterrées présentant un risque d'explosion ou d'incendie après vidange.

- MC (coût 2012) : montant relatif à la limitation des accès au site. Ce montant comprend la pose d'une clôture autour du site et de panneaux d'interdiction d'accès à chaque entrée du site et sur la clôture tous les 50 mètres.
- MS (coût 2012) : montant relatif au contrôle des effets de l'installation sur l'environnement. Ce montant couvre la réalisation de piézomètres de contrôles et les coûts d'analyse de la qualité des eaux de la nappe au droit du site, ainsi qu'un diagnostic de la pollution des sols.
- MG (coût 2012) : montant relatif au gardiennage du site ou à tout autre dispositif équivalent.
- α : indice d'actualisation des coûts
  α = Index/ index0 x ((1+TVAR)/ (1+TVA0)) = 1,088 (*Cf. 15.2.2*)

15.2.3.1. Les mesures de gestion des produits dangereux et des déchets (ME)

ME : montant relatif aux mesures de gestion des produits dangereux et des déchets.

$$ME = Q1 (C_{TR}d1 + C1) + Q2 (C_{TR}d2 + C2) + Q3 (C_{TR}d3 + C3)$$

- Les déchets et produits dangereux à évacuer peuvent être classés en trois catégories :
  - Q1 (en tonnes ou en litres) : quantité totale de produits et de déchets dangereux à éliminer.
  - Q2 (en tonnes ou en litres) : quantité totale de déchets non dangereux à éliminer.
  - Q3 (en tonnes ou en litres) : pour les installations de traitement de déchets, quantité totale de déchets inertes à éliminer.

- C_{TR} : coût de transport des produits dangereux ou déchets à éliminer.
- d1, d2, d3 : distances entre le site de l'installation classée et les centres de traitement ou d'élimination permettant respectivement la gestion des quantités Q1, Q2 et Q3.
- C1 : coût des opérations de gestion jusqu'à l'élimination des produits dangereux ou des déchets.
- C2 : coût des opérations de gestion jusqu'à l'élimination des déchets non dangereux.
- C3 : coût des opérations de gestion jusqu'à l'élimination des déchets inertes.
  Coûts unitaires (TTC) : les coûts C1, C2, C3, CTR sont déterminés par le Préfet sur proposition de l'exploitant. En cas de devis forfaitaires de la part d'une ou de plusieurs entreprises incluant les coûts des opérations de gestion jusqu'à leur élimination, l'exploitant peut dans ce cas proposer au préfet d'utiliser ces devis forfaitaires en lieu et place de la formule de calcul de ME.
  Pour les produits dangereux et déchets pouvant être vendus ou enlevés du site à titre gratuit compte tenu de l'historique de gestion des déchets ou des produits dangereux, de leurs caractéristiques et de leurs conditions de stockage et de surveillance, le coût unitaire à prendre en compte est égal à 0.

Coûts unitaires considérés pour l'estimation du montant relatif aux mesures de gestion des produits dangereux et des déchets :

Opération	Coût unitaire moyen (en €/t de déchets et produits dangereux)
Transport entre Yaou et Maripasoula par route puis par barge jusqu'à Saint-Laurent-du Maroni	350
Transport entre Yaou et Cayenne par avion	1 200
Gestion des déchets inertes sur site	1
Gestion des rejets gravimétriques sur site	0,5

Opération	Coût unitaire moyen (en €/t de déchets et produits dangereux)
Gestion des résidus cyanurés sur site (décyanuration, épaississement, stockage définitif)	4,35
Prise en charge par le CET de Saint-Laurent-du-Maroni	8
Prise en charge moyenne pour les déchets dangereux de type filtres à huile, huiles usagées, batterie, matériaux et emballages souillés	445
Prise en charge des déchets dangereux de type produits chimiques du laboratoire de l'UMTMA par ENDEL	860

En cas de défaillance de SMYD, les produits dangereux à gérer seront les suivants :

1) <u>Les hydrocarbures stockés sur site</u>

On se basera sur les quantités maximales stockées, soit :

- 150 m^3 de carburant dont de 148 m^3 de gazole et 2 m^3 essence, soit environ 127,2 t de carburant dont peut-être la moitié usagée, l'autre neuve ;
- 24 m^3 d'huiles dont 8 m^3 d'huiles neuves et 16 m^3 d'huiles usagées, soit environ 21,6 t.

Les déchets spéciaux (huiles usagées, batteries, filtres, bidons) seront acheminés jusqu'à Saint-Laurent-du-Maroni et pris en charge par ENDEL. Les hydrocarbures et huiles non utilisés seront repris par le fournisseur.

En cas de défaillance, SMYD aura à assumer le coût du transport par piste jusqu'à Maripasoula, puis par barge jusqu'à Saint-Laurent-du-Maroni, soit :
(127,2 +24) x 350 + (64 +16) x 445 = **<u>88 625 €.</u>**

2) <u>Les réactifs chimiques stockés au niveau de l'UMTMA et la Goldroom</u>

On se basera sur les quantités maximales stockées, soit :

Lieu de stockage	Produit	Consommation annuelle	Quantité maximale stockée
Goldroom	Toluène	5	5 L = 4,3 kg
	Borax	120	250 kg
	White spirit	50	100 L = 70 kg
Total Goldroom à évacuer par voie fluviale			0,3 t
UMTMA	Floculant	2	540 kg
	Cyanure de sodium solide	12	4,5 T
	Charbon actif	55	13,5 T
	Chaux	300	74 T
	Soude solide	5	1,35 T
	Acide chlorhydrique	5	1,35 T
	Nitrate de plomb	3	810 kg
	Métabisulfite	56	14 T
	Sulfate de cuivre	9	2,16 T
	Peroxyde d'hydrogène	-	1 T
Total UMTMA hors cyanure de sodium (à transporter par voie fluviale)			110 T

Les **produits de la Goldroom** ayant pu être stockés sur site depuis plusieurs années (quantité stockée supérieure aux besoins annuels), ils ne pourront pas être récupérés par le fournisseur. En cas de défaillance, SMYD qui aura à assumer le coût du transport jusqu'à Saint-Laurent-du-Maroni où ils seront pris en charge par ENDEL, homologué pour le transit des déchets dangereux. : 0,3 x (350+ 445) = **239 €.**

Concernant les produits chimiques stockés au niveau de l'UMTMA, leur rotation sera de l'ordre de 3 mois, en cas de défaillance de SMYD, les produits stockés pourront être facilement récupérés par le fournisseur en vue de leur utilisation.
SMYD aura à assumer le coût du transport du cyanure de sodium par avion jusqu'à Cayenne : 110 x 1 200= **132 000 €.**

En ce qui concerne les **déchets,** le tableau suivant résume leur nature, la quantité à gérer en cas de défaillance de SMYD, la modalité de gestion et le coût associé :

Déchet	Nature	Quantité (en t)	Modalité de gestion	Coût (€)
Non dangereux	Déchets ménager	0,5 t (quantité produite en 1 an)	Evacuation vers la décharge de Maripasoula (CCOG)	10
Autre déchets dangereux	Filtres à huile, batterie,....	3 (quantité produite en 1 an)	Evacuation vers St Laurent du Maroni et prise en charge par ENDEL	2 385
Déchets inertes	Déblais de terrassement, gravats…	7 (quantité produite en 1 an)	Remblaiement sur site	7
Total				**2 402 €**

Pour ce qui est des rejets gravimétriques et des résidus décyanurés, en cas de défaillance de SMYD et d'arrêt des activités de l'usine gravimétrique et de l'UMTMA, ces déchets issus de la valorisation du minerai aurifère auront déjà été pris en charge par SMYD. Celle-ci devra uniquement supporter la remise en état des parcs à résidus.

Le montant relatif aux mesures de gestion des produits dangereux et des déchets peut ainsi être estimé à :

Me = 88 625 + 239 + 132 000 + 2 402 = 223 266 €

15.2.3.2. La suppression des risques d'incendie ou d'explosion, vidange et inertage des cuves enterrées de carburants MI

Le site de Yaou ne comprend aucune cuve enterrée.

Le montant MI sera pris égal à 0.

15.2.3.3. Les interdictions ou les limitations d'accès au site (MC)

MC : montant relatif à la limitation des accès au site. Ce montant comprend la pose d'une clôture autour du site et de panneaux d'interdiction d'accès au lieu. Ces panneaux seront disposés à chaque entrée du site et autant que de besoin sur la clôture, tous les 50 m.

MC = P × CC + nP × PP

- P (en mètres) : périmètre de la parcelle occupée par l'installation classée et ses équipements connexes,
- CC : coût du linéaire de clôture soit 50 €/ m,

- nP : nombre de panneaux de restriction d'accès au lieu. Il est égal à : nP = Nombre d'entrées du site + périmètre/50,
- PP : prix d'un panneau soit 15 €.

Etant donnée l'emprise de l'ensemble du site de Yaou, seules, les installations concernées seront clôturée et on comptera une entrée par installation. Les périmètres à clôturer estimés sur la base du plan d'ensemble fourni dans le *Tome 1 : Document Administratif du dossier déposé le 20/06/2014* sont :

- 280 m pour l'usine gravimétrique ;
- 360 m pour l'UMTMA et la Goldroom.

Soit :

P= 640 m

nP= 2+(640/50)=15

MC=640 x 50 + 15 x 15 = 32 225 €

15.2.3.4. La surveillance des effets de l'installation sur son environnement (MS)

MS : montant relatif à la surveillance des effets de l'installation sur l'environnement. Ce montant couvre la réalisation de piézomètres de contrôles et les coûts d'analyse de la qualité des eaux de la nappe au droit du site.

MS = NP × (CP × h + C) + CD

- NP : nombre de piézomètres à installer.
- CP : coût unitaire de réalisation d'un piézomètre soit 300 € par mètre de piézomètre creusé,
- h : profondeur des piézomètres,
- C : coût du contrôle et de l'interprétation des résultats de la qualité des eaux de la nappe sur la base de deux campagnes soit 2 000 € par piézomètre,
- CD : coût d'un diagnostic de pollution des sols déterminé de la manière suivante :

Coût TTC	**ÉTUDE HISTORIQUE, étude de vulnérabilité et des investigations sur les sols**
Pour un site dont la superficie est inférieure ou égale à 10 hectares	10 000 € TTC + 5 000 € TTC/ hectare
Pour un site dont la superficie est supérieure à 10 hectares	60 000 € TTC + 2 000 € TTC/ hectare au-delà de 10 hectares

Dans le cadre du projet, les quantifications sont les suivantes :
- NP=4 (un en amont de l'ensemble des installations, un en aval de l'usine gravimétrique, un en aval de l'UMTMA, un en aval de l'ensemble des installations),
- h= 50,
- CD = 15 000 € (emprise des installations concernées d'environ 1,1 ha).

MS = 4x(300x50+2000)+15 000 = 83 000€

15.2.3.5. La surveillance du site : gardiennage ou autre dispositif équivalent (MG)

MG : montant relatif au coût de gardiennage du site pour une période de six mois.

MG = CG × HG × NG × 6

- CG : coût horaire moyen d'un gardien soit 40 € TTC/ h.
- HG : nombre d'heures de gardiennage nécessaires par mois.
- NG : nombre de gardiens nécessaires.

Sur proposition de l'exploitant, la méthode de calcul de MG peut être adaptée à d'autres dispositifs de surveillance appropriés aux besoins du site.

Dans le cadre du projet, les quantifications sont les suivantes :
- HG = 720 h
- NG = 1

MG = 40x720x1x6 = 172 800 €

Le **montant global des garanties financières** associées à la mise en sécurité de l'usine gravimétrique, de l'UMTMA et de la Goldroom, en cas de défaillance de SMYD, est de :

M = Sc [Me + α(Mi + Mc + Ms + Mg)]

M = 1,1 (223 266 + 1,088 x (0 + 32 225 + 83 000 + 172 800))

M = 590 300 €

15.2.4. Garanties financières totales

Le montant total des garanties financières de chaque phase correspondra donc à la somme des garanties relatives :
- ✓ au réaménagement des bassins de rejets gravimétriques et parcs à résidus décyanurés ;
- ✓ au réaménagement des carrières d'emprunt ;
- ✓ à la mise en sécurité des autres ICPE soumises à autorisation (usine gravimétrique, UMTMA, stockage de cyanure et stockage de pièces mécaniques.

SMYD devra donc constituer les garanties financières suivantes pour les ICPE du site de Yaou :

Phase	Période	Parcs à résidus décyanurés	Carrières d'emprunt	Mise en sécurité des ICPE	Montant Euros TTC
1	2018-2022	55 306	64 061	590 300	**709 667**
2	2023-2027	83 521	64 061	590 300	**737 882**
3	2028-2032	72 454	64 061	590 300	**726 815**
4	2033-2037	55 057	64 061	590 300	**709 418**
5	2038-2042	22 863	64 061	590 300	**677 224**

ANNEXES

Annexe 1

Cyanide detoxification INCO Sulfure dioxide.air process

Source : USEPA

CYANIDE DETOXIFICATION:
INCO SULFUR DIOXIDE/AIR PROCESS

DRAFT

August 1993

Prepared by:

U.S. Environmental Protection Agency
Office of Solid Waste
Special Waste Branch
401 M Street, S.W.
Washington, D.C. 20460

DISCLAIMER AND ACKNOWLEDGEMENTS

This document was prepared by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) with assistance from Science Applications International Corporation (SAIC) in partial fulfillment of EPA Contract No. 68-WO-0025, Work Assignment 209. Comments were received on a draft of this report from Echo Bay Minerals Company. EPA has responded to these comments and had changed the text where appropriate. The mention of company or product names is not to be considered an endorsement by the U.S. Government or the U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

TABLE OF CONTENTS

1.0 Introduction 1

2.0 INCO's Cyanide Treatment Technology 1
2.1 INCO Treatment of Tailings Pulps or Slurries 1

2.2 Treatment Chemistry 2
2.3 Costs 5
2.4 Benefits 6
2.5 Limitations 6
2.6 Case Study: Echo Bay's Cove-McCoy Mine 6

3.0 Contacts 7

4.0 References 8

5.0 Comments and Response 9

LIST OF TABLES AND FIGURES

Table 1. Sites Using INCO Process in the U.S. 2

Figure 1. A Typical Two-Stage Inco Process for Cyanide and Metals Removal 4

1.0 INTRODUCTION

As a National policy, the Environmental Protection Agency (EPA) is integrating the concept of pollution prevention and waste minimization in many of its activities. Both the Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) and the Pollution Prevention Act of 1990 (PPA), encourage the reduction in volume, quantity and toxicity of waste. While RCRA focuses primarily on the reduction in volume and/or toxicity of hazardous waste, the PPA encourages maximum possible elimination of all waste through source reduction.

EPA believes that there are pollution prevention/waste minimization practices currently being implemented by the mining industry. Many of these practices may, in addition to their environmental benefit, realize significant cost savings. It is EPA's intent to identify these practices and foster technology and information transfer throughout the mining industry.

Recognizing that unique issues are associated with the mining industry, such as large volumes of raw material used and waste generated, EPA has conducted research to identify the potential for pollution prevention/waste minimization in the mining industry. This report highlights the INCO Sulfur Dioxide/Air Process which was patented in 1984 to remove cyanide and base metal complexes from industrial wastestreams. Information used to prepare this report was either provided by INCO Exploration and Technical Services Inc. or collected from publicly available documents.

2.0 INCO'S CYANIDE TREATMENT TECHNOLOGY

2.1 INCO Treatment of Tailings Pulps or Slurries

The precious metals mining industry's use of cyanide to extract precious metals from low grade ores is widespread. Cyanidation is the predominant method for precious metals beneficiation and is used on heap leaches or in tank operations to liberate precious metal values from remaining gangue in the ore. Several cyanide detoxification technologies have been developed to treat cyanidation wastes. The International Nickel Company's (INCO) sulfur dioxide/air process is one of two patented sulfur dioxide processes (Devuyst et al., 1992). The other process is patented by Noranda Inc. Both processes are similar with some limited differences in operating procedures. (McGill and Comba 1990)

The INCO process has been commissioned at more than 36 sites in North America. Ten sites are located in the U.S. and are listed in Table 1. Six of these 10 sites, use the INCO process to treat tailings prior to disposal. After treatment, tailings are typically disposed of in a tailings impoundment subject to zero discharge requirements under the Clean Water Act. In addition to Federal Clean Water Act standards, many states have solid waste-related discharge standards for the tailings prior to discharge to the tailings impoundment and the INCO treatment process is used to meet these State requirements.

Table 1. Sites Using INCO Process in the U.S.

Operation	Commissioning Date	Location	Tonnage (MT/D)/CN in Feed	Effluent Type/ CN in Effluent
Colosseum	1987	California	3,600/350	CIP Tails/1
Mineral Hill	1989	Montana	500/150 to 500	Barren/< 1
Snow Caps	1990	California	Heap	Rinse Water
McCoy/Cove	1990	Nevada	7,500/500-1,000	Thickener U/F / < 10
Kettle River	1990	Washington	1,500/250	CIP Tails/< 10
Citigold (Ryan Lode)	1991	Alaska	Heap	Pond
Barrick Mercur	1992	Utah	5,000/50	CIP Tails/< 1
Grant	1992 (Process complete)	Alaska	- - -	Unused cyanide pellets were treated in tanks.
Hayden Hill	1992	California	- - -	Tails
San Luis	1992	Colorado	- - -	Tails

2.2 Treatment Chemistry

In the INCO process, free cyanide and weakly or moderately bound metal-cyanide complexes present in the wastestream are oxidized to cyanate (CNO^-) by the addition of sulfur dioxide and oxygen according to the following stoichiometric reaction:

$$CN^-_{WAD}(1lb) + SO_2(2.64lb) + O_2(1.23lb) + H_2O \text{ yields } OCN^-(1.88lb) + H_2SO_4(3.77lb)$$

(Cyanide + Sulfur Dioxide + Oxygen + Water yields Cyanate + Sulfuric Acid)

The reaction usually takes place in a well-mixed and aerated reactor. The aeration provides mixing and oxygen. Sulfur dioxide may be supplied to the reactor in a gas or liquid state, or by the application of sodium sulfite or sodium metabisulfite. INCO has reported actual SO_2 dosages to be 3 - 5 g/g CN_T for barren solutions and 4 - 7 g/g CN_T for tailing slurries. Theoretical reagent consumption for sulphur dioxide was 2.5 mg SO_2/mg WAD cyanide and for lime, 2.2 mg CaO/mg

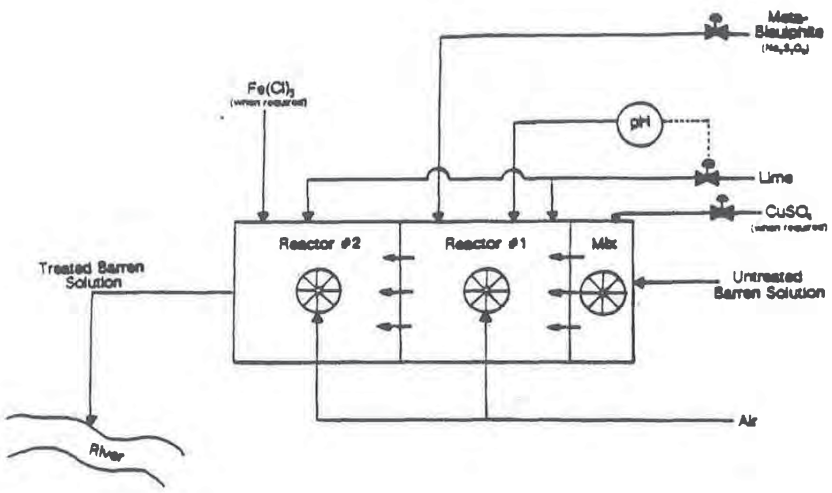
WAD cyanide. (Smith and Mudder, 1991). Higher dosages are reportedly required to treat low concentrations of weak acid dissociable (WAD) forms of cyanide (Vergunst et al., 1991). The reaction is pH dependent: the optimal pH range is 8 - 10. Incomplete oxidation may occur at pH levels > 11. At pH levels below 8, there is a reported reduction in the reaction rates. Since the oxidation reaction results in the formation of sulfuric acid, lime or caustic is added to maintain the optimal reaction pH. The presence of a copper catalyst at an approximate concentration of 50 mg/L is also necessary for the reaction to take place. If the copper concentration naturally present in the wastestream is too low, then supplemental copper may be provided by the addition of copper sulfate solution to the reactor contents.

Although oxygen is also added to the reactor, the literature is not specific as to recommended dissolved oxygen operating levels. This is probably dependent on site specific conditions. The oxidation reaction has also been reported to be temperature dependent. At 25°C, the reaction is rapid and results in a residual cyanide concentration of 0.2 mg/L whereas at 5°C the reaction is slow and results in a residual cyanide concentration of 2.0 mg/L (McGill and Comba, 1990).

In addition to the oxidation of cyanide, metals are also removed from solution by precipitation as metal hydroxides. Unlike the alkaline chlorination oxidation process, the INCO process is capable of removing stable iron-cyanide complexes from solution. Ferricyanides are reduced to insoluble ferricyanide salts and precipitated from solution. The presence of iron-cyanide complexes is undesirable given their ability to decompose in the presence of sunlight, releasing free cyanide. Under typical operating conditions, only 10-20% of thiocyanate is removed. This reportedly results in lower chemical requirements for the SO_2 compared to other oxidation processes and also ensures removal of the more toxic forms of cyanide. Additional removal of thiocyanate is possible by continuing the application of SO_2 following the complete oxidation of the free and complexed forms of cyanide.

The typical INCO treatment system components consist of a single reactor (sometimes two parallel units), SO_2 storage and feed system, lime or caustic chemical feed system, copper sulfate chemical feed system (if needed), and an aeration system. For certain situations where the wastewater contains high nickel concentrations or when arsenic removal is required, multiple stage reactors have been used. (See Figure 1) Since the typical INCO system does not remove significant levels of thiocyanate, cyanate, or ammonia, additional treatment units may be necessary to meet more stringent permit limits for those parameters. Maintaining control of the pH may be difficult due to the formation of a dense slurry in the process of neutralizing the strong acid produced during the process. (Smith and Mudder, 1991)

Figure 1. A Typical Two-Stage Inco Process for Cyanide and Metals Removal
(Source: Smith and Mudder, 1991)



All three parameters, thiocyanate, cyanate, and ammonia, have the potential to contaminate ground water and are toxic to fish. Ammonia may result in increased nitrate levels in ground water assuming nitrification takes place in the upper soil layers. Additional ammonia may be produced by the hydrolysis of cyanate in waters retained in tailings ponds. The retention of precipitated metal hydroxide sludges in tailings ponds may also have undesirable environmental effects. The tailings remaining from the INCO oxidation process may have a considerable heavy metal content. If the sludge is stored for extended periods in unlined (or improperly lined) ponds, there is potential for the metals to migrate into the groundwater.

2.3 Costs

Costs for the installation and operation of INCO's SO_2/Air cyanide destruction facility varies according to the size of the operation, and desired effluent targets. It was not determined how INCO compared to the alkaline chlorination or hydrogen peroxide treatments in similar cases.

Capital Costs

Main equipment components of the INCO process include a reaction tank, a mixer with motor and support, an air compressor or blower with associated piping, an SO_2 reagent system with associated instrumentation and piping, a copper sulfate delivery system (when required) and a lime delivery system. Use of sulfur dioxide roaster gas rather than powdered sodium sulphite or sodium meta-bisulphite, or burning of pure sulfur, is the least expensive source of sulfur dioxide for this process, and will keep costs down (Smith and Mudder, 1991).

INCO has found that equipment costs for a large installation, a site producing 3300 stpd or more, (requiring 5 to 10 stpd of SO_2), and treating their pulp tailings, may reach approximately $500,000 (Canadian dollars), or about $1.2 million (Canadian dollars) installed. (Devuyst and Robbins, undated)

Operating Costs

Operating costs include cost of reagents, labor, electric power, maintenance, and licensing fees, and may very between $0.09 to $1.58 (Canadian dollars) per standard ton of ore. Average costs for a plant treating CIP tailings using liquid SO_2 is $1.18 (Canadian dollars) per standard ton of ore. Lower operating costs may be realized in pond water treatment, where natural degradation plays a large role in detoxification. Reagent costs tend to be somewhat low, a distinct advantage of the INCO process, compared to the alkaline chlorination and hydrogen peroxide forms of cyanide detoxification.

INCO's process is patented and requires a license to operate. The associated licensing fee is determined on a site specific basis. INCO also offers services to determine process specifications and

equipment needs, and provide training and all other assistance to get the process up and running. Services are also negotiable within the framework of the license.

2.4 Benefits

The INCO treatment process treats cyanide (including ferricyanide) contaminated wastes and may be effective to concentrations less than 1.0 mg/L. According to INCO representatives, the process is relatively rapid and can be used to treat both slurries and clear solutions. The process has a flexible design, which permits possible incorporation into existing treatment or production facilities and can be used for either batch or continuous treatment.

According to INCO representatives, the process has one benefit over alkaline-chlorination in that it does not produce cyanogen chloride, as a toxic intermediate reaction by-product. However, other by-products, such as ammonia, cyanate, and thiocyanate may be generated during INCO treatment. Capital and operating costs are comparable with other chemical treatment processes.

2.5 Limitations

Although the INCO process may be effective in treating cyanide concentrations, the process has poor removal efficiency for ammonia, cyanate, and thiocyanate. Tailings treated with INCO may continue to contain ammonia, cyanate, thiocyanate, and metals and additional treatment units may be necessary to meet discharge permit limits for these constituents. Treatment may also result in increased total dissolved solids.

Strict pH control with frequent monitoring is necessary to ensure adequate oxidation of cyanide and metals precipitation. Relatively high reagent consumption (SO_2, lime and copper sulphate) can be expensive.

2.6 Case Study: Echo Bay's Cove-McCoy Mine

INCO completed installation of their largest tailings pulp treatment operation at Echo Bay's Cove-McCoy mine near Battle Mountain in Nevada on September 12, 1990. The INCO sulfur dioxide/air cyanide destruction facility was installed in response to numerous failed and costly efforts to prevent migratory fowl deaths in their 145 hectare tailings pond. (Devuyst, et al. 1992) Installation of the INCO treatment plant detoxified cyanide in the tailings, significantly reducing the numbers of mortalities. (Smith and Mudder, 1991)

The system was designed to treat tailings pulp from CCD underflow at 40 percent solids by weight for a 8,500 short tons per day mill throughput. Tailings pulp containing 268 kg CN_{WAD}/hr at 40% solids is treated with both reactors, (or 134 kg CN_{WAD}/hr per reactor), to a target residual cyanide level of 10 mg/l CN_{WAD}. The SO_2 additions are programmed and controlled by a feed-forward

control loop, based on continuous measurement of wt % solids and slurry flow rate, as well as periodical CN_{WAD} analysis. The ratio of SO_2 to CN_{WAD} load is maintained by a feed-back loop in which continuous readings of the treated effluent for pH and cyanide electrode mV's, and periodic readings of residual CN_{WAD}, are performed. The ore usually supplies sufficient copper catalyst so that the addition of copper sulfate is rarely needed.

Laboratory data showed that a dosage of 3.7g SO_2/g CN_{WAD} and 60 minutes retention time, yielded an effluent containing less than 5 mg/l CN_{WAD}. During McCoy-Cove's commissioning, a higher SO_2 to cyanide dosage ratio was used to ensure low residual cyanide in the treated tailings. As effluent levels of CN_{WAD} were reduced to 10 mg/L, SO_2 addition levels were reduced to less than 3 g/g CN_{WAD}. According to facility personnel, the current ratio ranges from 2.6 to 4 SO_2/g CN_{WAD}.

As of October 1990, McCoy-Cove increased the cyanide concentration in their leach circuit to increase their gold recovery rate from 82 percent to 90 percent. During the week of November 17, 1990, the cyanide load was at 150 percent of the design load. Currently the facility has cut cyanide consumption and need for treatment by re-using cyanide.

According to facility personnel, tailings are disposed of in the tailings impoundment where WAD cyanide levels are monitored daily and currently range from 4 to 7 ppm WAD cyanide. According to facility personnel, the INCO system is working well with the major concern being the managment and measurement of SO_2.

3.0 CONTACTS

INCO Exploration and Technical Services, Inc.

Dr. Eric A. Devuyst, Manager of Technical Sales and Service	(416) 822 - 3323

Bureau of Mines

Sandra McGill, Reno Research Center	(702) 829 - 2121

Environmental Protection Agency

Steve Hoffman, Chief, Mining Section	(703) 908 - 8413

McCoy-Cove Mine, Echo Bay Mines, Ltd.

Dana Kimbal, Metallurgist	(702) 635 - 5500

4.0 REFERENCES

Devuyst, et al., 1992. "Recent Applications of the INCO SO2/Air Cyanide Removal Process", presented at the 9th Annual General Meeting of the CIM, Montreal, Quebec. April 27-29, 1992.

Devuyst, et al., 1991. "INCO's Cyanide Removal Technology Working Well", in *Mining Engineering*, February, 1991.

Devuyst and Conard 1987. "Industrial Wastewater Cyanide Removal by the SO_2-Air Process", presented at the 10th Symposium on Wastewater Treatment, Montreal, Quebec. October, 1987.

Devuyst and Robbins, Undated. "Cyanide Pollution Control - The INCO Process", included in INCO's marketing packet. Undated.

Ingles, J. and Scott, J.S., 1987. "State-of-the-Art of Processes for the Treatment of Gold Mill Effluents", unpublished report of the Environmental Protection Service of Environment Canada.

McGill and Comba, 1990. "A Review of Existing Cyanide Destruction Practices", Presented by Sandra L. McGill and Paul G. Comba, at the Nevada Mining Association, the Nevada Department of Wildlife, Wildlife/Mining Workshop, March 29, 1990.

Palmer, S.A.K., et al., 1988. "Metal/Cyanide Containing Wastes Treatment Technologies", Noyes Data Corporation, Pollution Technology Review No. 158, Park Ridge, N.J., 1988.

Smith and Mudder, 1991. Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes, Adrian Smith and Terry Mudder; Mining Journal Books Ltd., 1991.

U.S. EPA, 1991. RM2 Briefing on Cyanidation Mining, Dated November 22, 1991

Vergunst, et al., 1991. "Heap Pad Detoxification at Snow Caps Mine Using the INCO Process", presented at the 30th Annual Conference of Metallurgists", CIM, Ottawa, Canada. August 18-21, 1991.

5.0 COMMENTS AND RESPONSE

Echo Bay Minerals Company submitted comments to EPA and requested that a number of minor edits to the draft be made. EPA has corrected the text to accommodate the requested changes.

Annexe 2

Essais de dégradation du cyanure des rejets de cyanuration du minerai Dieu Merci

Source : URSTM

Rapport final
PU-2013-01-763

Essais de dégradations du cyanure de rejets de cyanuration du minerai Dieu Merci

Présenté à :

M. Roger Jolicoeur
RWJ consultants miniers
520, route St-Philippe
Val-d'Or (Québec) J9P 4N7

Par :

Jean Lelièvre, ing., M.Sc.
819-762-0931, poste 1455
jean.lelievre@lino.sympatico.ca

URSTM
Unité de recherche et de service en technologie minérale
445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone : 819 762-0971, poste 2558 ‗ Télécopieur : 819 797-6672

JUIN 2013

Table des matières

Page

1. Introduction 1
2. Description des échantillons reçus 1
3. Essais de cyanuration 2
4. Essais de dégradation du cyanure 3
   - 4.1 Présentation de la méthode de destruction 3
   - 4.2 Description du protocole expérimental 5
   - 4.3 Résultats des essais de dégradation en cyanures 6
5. Conclusions 8

Annexe 1 : Essais de cyanuration

Annexe 2 : Essais de destruction des cyanures

Annexe 3 : Protocole de cyanuration

Annexe 4 : Certificats d'analyses chimiques

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des échantillons reçus 2

Tableau 2 : Résultats obtenus des 2 essais de cyanuration sur l'échantillon Dieu Merci 3

Tableau 3 : Résultats obtenus des essais de destruction des cyanures 7

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site minier Dieu Merci en Guyanne française 1

Figure 2 : Diviseur rotatif utilisé pour la division en lots homogènes 2

Figure 3 : Montage expérimental utilisé pour les essais de dégradations de cyanure sur la pulpe cyanurée 6

Figure 4 : Cyanures disponibles Vs dosage en métabilsufite de sodium 8

1. Introduction

Ce rapport fait suite à une demande de M. Roger Jolicoeur, de RWJ consultants miniers, pour procéder à la réalisation d'essais de dégradation de cyanure sur des échantillons de minerai provenant du site Dieu Merci de la société française Auplata en Guyanne française (*figure 1*).

.

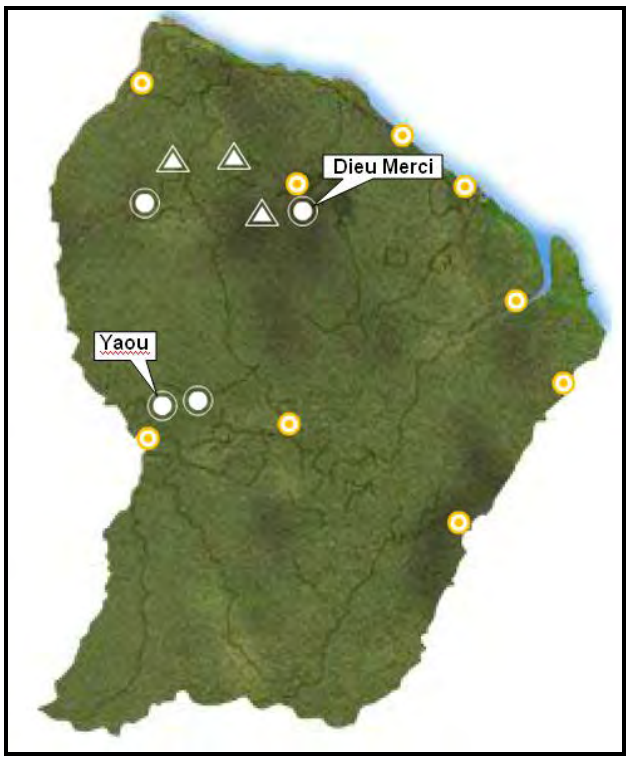


Figure 1 : Localisation du site minier Dieu Merci en Guyanne française

Des essais de cyanuration ont tout d'abord été effectués en laboratoire, afin de produire les pulpes cyanurées requises pour chaque série d'essais de dégradation de cyanure. Un essai de cyanuration a été compilé pour fins d'évaluation de la récupération en or et de la consommation en réactifs.

Les essais ont été réalisés en avril et mai 2013, dans les laboratoires du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, par Jean Lelièvre, ing., M. Sc., pour l'Unité de recherche et de service en technologie minérale (URSTM). Les pyroanalyses ont été effectuées par le Laboratoire Expert de Rouyn-Noranda (QC) et les autres analyses chez Multilab, également de Rouyn-Noranda (QC).

2. Description des échantillons reçus

Sept échantillons en provenance du site Dieu Merci ont été reçus dans nos laboratoires et ont été mélangés de façon à former un lot composite de 9,60 kg. Le *tableau 1* présente la description ainsi que la masse respective de chaque échantillon.

Tableau 1 : Description des échantillons reçus

Identification des échantillons reçus	Masse (kg)
Minerai entrée	2,73
U/F cyclone	1,01
Sortie 2KC20	0,69
Surverse cyclone	0,55
Sorties KC30	0,72
Sortie Broyeur et Marteau	1,40
Sortie B à B	2,50
Total:	**9,60**

Les échantillons reçus ont été tout d'abord été soumis à un tamisage sur un tamis 20 mailles pour désagréger les particules agglomérées. Le lot a ensuite été homogénéisé sur une grande toile et divisé ensuite en lots homogènes de 0,5 kg à l'aide d'un diviseur rotatif (*figure 2*).

Figure 2 : Diviseur rotatif utilisé pour la division en lots homogènes

3. Essais de cyanuration

Deux essais de cyanuration ont été réalisés sous conditions standard, en faisant varier uniquement le temps de séjour. Les paramètres utilisés sont les suivants :

- Cyanuration en bouteilles;
- 40 % solide;
- Concentration NaCN > 350 ppm
- 11> pH > 12
- Temps de séjour : 24 et 48 heures.

Des analyses doubles ont été effectuées sur les solutions finales ainsi que sur les rejets solides, afin d'obtenir une précision supérieure au niveau des bilans métallurgiques (*tableau 2*).

Tableau 2 : Résultats obtenus des 2 essais de cyanuration sur l'échantillon Dieu Merci

Description	Essais	Durée de cyan. (hres)	K80 (µm)	NaCN		$Ca(OH)_2$		Au		
				ppm NaCN (fin de l'essai)	kg NaCN/ tm de minerai	pH final	kg Ca(OH)2 / tm de minerai	Réc. Au	Rejet final g Au/mt	Alim. calc. g Au/tm
Cyanuration 24 h	CN-DM -1	24	79 µ	440	0,21	11,6	11,55	**97,9%**	**0,09**	4,15
Cyanuration 48 h	CN-DM -2	48	79 µ	352	0,34	11,5	11,73	**98,3%**	**0,07**	4,16
									Moyenne alim. calc. :	**4,15**

- Les essais de cyanuration sur 24 et 48 heures ont obtenu respectivement des récupérations de 97,9 et 98,3 %, ce qui est excellent.
- Les consommations en cyanures sont normales, alors que celle en chaux hydratée sont élevées mais pourraient être diminuées un peu en abaissant le pH.
- La teneur moyenne de l'alimentation est de 4,15 g Au/tm.

4. Essais de dégradation du cyanure

4.1 Présentation de la méthode de destruction

Les cyanures présents dans une pulpe de minerai cyanuré sont partagés en trois groupes :

1) Les cyanures libres (CN^-);
2) Les cyanures dissociables (CN_D), qui regroupent les cyanures libres et les cyanures complexés (Cu, Ni, Zn, Ag et Cd). On les appelle également cyanures dissociables par acide faible (en anglais, le sigle CN_W [pour « weak »] est utilisé);
3) Les complexes totaux (CN_T) : Les cyanures totaux comprennent les cyanurés forts, les cyanures dissociables par acide faibles (CN_D) et les cyanures libres (CN^-). Ils représentent donc une mesure de la totalité des cyanures présents dans la solution ou la pulpe.

Les cyanures libres sont de loin les plus toxiques[1], suivis par les cyanures dissociables et, ensuite, les forts.

Le procédé de destruction des cyanures par la méthode SO_2/Air est une méthode dont l'efficacité est reconnue de par le monde. Ce procédé peut être utilisé sur les solutions et sur les pulpes.

[1] La dose létale (DL50) du cyanure de sodium (CN^-) est de seulement 6,44 mg/kg pour le rat comparativement à 1265 mg/kg pour le cyanure de cuivre qui fait partie des cyanures CN_D et de 2970 mg/kg pour le cyanure de fer qui est un cyanure fort inclus dans les CN_T.

La technologie utilise généralement du dioxyde de souffre gazeux ou des substituts sous différentes formes : sulfite de sodium, métabisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$), SO_2 liquide ou SO_2 gazeux à partir de combustion de souffre élémentaire ou de gaz issus de fours de smeltage ou de grillage de sulfures.

Le processus de destruction des cyanures implique les *équations 1* et *2*.

$$CN^- + SO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow OCN^- + H_2SO_4 \qquad [1]$$

Dans la réaction suivante, le SO_2 est substitué par le métabisulfite de sodium.

$$CN^- + ½\ Na_2S_2O_5 + O_2 + ½\ H_2O \rightarrow ½\ Na_2SO_4 + OCN^- + ½\ H_2SO_4 \qquad [2]$$

Le cyanate (CNO) est un produit intermédiaire, qui s'hydrolyse ensuite en carbonate et en ammoniac, selon la réaction suivante :

$$OCN^- + H^+ + 2\ H_2O \rightarrow HCO_3 + NH_4^+ \qquad [3]$$

Tel qu'illustré précédemment, l'oxydation du cyanure produit un cyanate (OCN^-) et également un peu d'acide sulfurique. Conséquemment, le pH tend à s'abaisser en cours de réaction et le maintien du pH au niveau souhaité doit être régulé par ajout de chaux hydratée $Ca(OH)_2$. À ce niveau de pH, l'acide sulfurique réagit avec la chaux hydratée selon la réaction suivante :

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 * 2H_2O \qquad [4]$$

Le procédé SO_2/Air oxyde les cyanures libres (CN^-) et tous les complexes cyanurés avec les métaux suivants : cuivre, nickel, zinc, argent et cadmium.

Ce procédé exige un ajout d'ions solubles de cuivre (Cu^{2+}), qui agit ici comme catalyseur de la réaction. Le sulfate de cuivre ($CuSO_4 * 5H_2O$) est normalement utilisé comme source de cuivre, à moins que la pulpe à traiter en contienne déjà suffisamment.

À mesure que le cyanure est oxydé, les métaux complexés avec lui se libèrent et sont ensuite précipités sous forme d'hydroxydes, selon l'une ou l'autre des réactions suivantes :

$$Me^+ + OH^- \rightarrow MeOH \qquad [5]$$

$$Me^{2+} + 2\ OH^- \rightarrow Me(OH)_2 \qquad [6]$$

Les complexes cyanurés sous forme de complexes forts (Fe, Co ou Au) ne sont pas oxydés par le procédé SO_2/Air. Les complexes cyanurés d'or sont généralement récupérés dans le procédé et ne posent pas de problèmes à ce niveau. L'élimination des complexes cyanurés de fer et de cobalt se fait par précipitation avec le cuivre ou le zinc, en fonction de l'une ou l'autre des réactions suivantes :

$$2\ Me^+ + Fe(CN)_6^{-4} \rightarrow Me_2Fe(CN)_6 \qquad [7]$$

$$2\ Me^{2+} + Co(CN)_6^{-4} \rightarrow Me_2Co(CN)_6 \qquad [8]$$

Généralement, le procédé SO_2/Air possède une meilleure efficacité dans la plage de pH comprise entre 8 et 9. Les essais de laboratoire permettent normalement de préciser le pH optimal.

Le dosage en SO_2 ou de son substitut est généralement calculé en termes de ratio de SO_2 en proportion de la quantité de cyanures disponibles (cyanures à dissocier). Les essais en laboratoire permettent généralement de préciser le ratio requis pour atteindre la concentration désirée en cyanures dissociables (CN_D) et en cyanures totaux (CN_T).

Pour des raisons d'ordre pratique, le métabisulfite de sodium est généralement utilisé à l'échelle du laboratoire.

4.2 Description du protocole expérimental

Les essais effectués avaient pour objectif de simuler la dégradation des cyanures en utilisant le procédé SO_2/Air. Les paramètres opératoires sont les suivants :

- Ratio SO_2/CN_D : ($6 < SO_2 /CN_D < 20$);
- Masse de $CuSO_4 * H_2O$: ($0 <$ ppm Cu < 100 ppm)
- Durée de réaction : généralement < 2 heures
- L'oxygène exigé par la réaction est assuré par l'injection d'air dans la pulpe ou la solution;
- pH : ($8 <$ pH < 9)

Le ratio SO_2/CN_D est un des paramètres les plus importants. Le SO_2 est l'agent oxydant qui est essentiellement responsable de la destruction du cyanure. Normalement, on dose la quantité de SO_2 en fonction de la concentration de cyanures disponibles (CN_D). À l'échelle laboratoire, on substitue le gaz SO_2 par le métabisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$), plus facile d'utilisation. La masse requise de métabisulfite est calculée stoechiométriquement pour équivaloir à la masse requise de SO_2.

Les ions de cuivre agissent ici comme catalyseur et le dosage optimal est déterminé par essais de laboratoire.

L'oxygène dissout, essentiel à la réaction, est fourni par l'ajout d'air à l'aide d'une pierre poreuse immergée dans le récipient agité. Des mesures régulières en oxygène dissout sont effectuées.

L'essai est arrêté lorsque la concentration en oxygène dissout atteint la concentration proche de la saturation, signe que la réaction ne consomme plus d'oxygène. Pour préciser davantage la durée de la réaction, des essais avec prélèvements en cours de réaction peuvent être effectués.

La *figure 3* illustre le montage utilisé pour réaliser ce type d'essai.

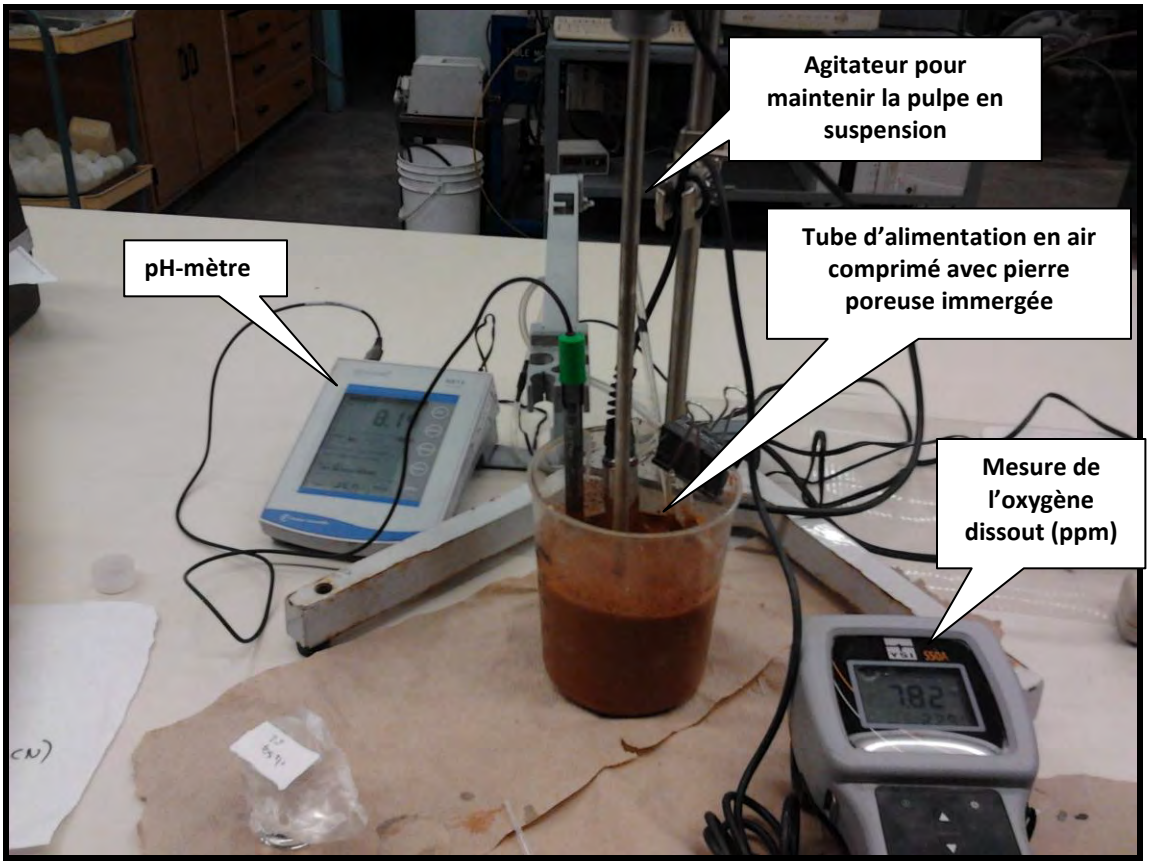


Figure 3 : Montage expérimental utilisé pour les essais de dégradations de cyanure sur la pulpe cyanurée

Compte tenu de la masse limitée d'échantillons disponibles et de l'échéancier serré, un nombre limité d'essais a été réalisé en utilisant des ratios SO_2/CN_D assez élevés, l'objectif recherché ici n'étant pas de minimiser la consommation en réactifs.

4.3 Résultats des essais de dégradation en cyanures :

Le *tableau 3* présente les principaux résultats obtenus des essais de destruction des cyanures. Les données détaillées de ces essais sont présentées en *annexe 2*.

Tableau 3 : Résultats obtenus des essais de destruction des cyanures

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h	Après destruction des cyanures								Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-1	Essai sur pulpe avec ratio SO2/CNd = 9,65 et pH = 8,5	Avant destruction CN					199		0,02	1,14	0,01	0,16	<0,0003	0,45	L- 39
		Après destruction CN	9,4	97,94	8,5	2,0	52,21		0,13	58,71	0,19	0,31	<0,0003	0,05	L- 56
DM-2	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 12,3 et pH = 8,2	Avant destruction CN					212		0,02	0,62	0,11	0,25	0,0081	0,82	L- 17
		Après destruction CN	12,0	97,48	8,19	3,0	15		0,09	27,76	0,01	0,08	<0,0003	0,01	L- 73
DM-3	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 20,4 et pH = 8,2	Avant destruction CN					212		0,02	0,62	0,11	0,25	0,0081	0,82	L- 17
		Après destruction CN	20,0	97,1	8,15	3,0	0,29		0,07	1,28	0,12	0,03	<0,0003	0,02	L- 71
DM-4	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 21,9 et pH = 8,05	Avant destruction CN					265		0,03	0,53	0,28	0,27	0,0033	1,02	L- 76
		Après destruction CN	21,4	101,7	8,1	3,2	3,05		0,72	0,34	0,59	0,02	0,002	<0,001	L- 58
DM-5	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 21,9 et pH = 8,75	Avant destruction CN					265		0,03	0,53	0,28	0,27	0,0033	1,02	L- 76
		Après destruction CN	21,4	98,29	8,75	3,2	0,35	1,67	0,01	0,24	0,07	0,01	<0,0003	<0,001	L- 51

- Les essais DM-5 et DM-3 ont obtenu les meilleurs résultats au niveau des cyanures dissociables.

- Les essais préliminaires ont atteint un seuil très inférieur à la norme française de 10 ppm en cyanures totaux[2] pour ce qui concerne la disposition de rejets dans les parcs à résidus miniers.

[2] I N E R I S - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, juin 2012.

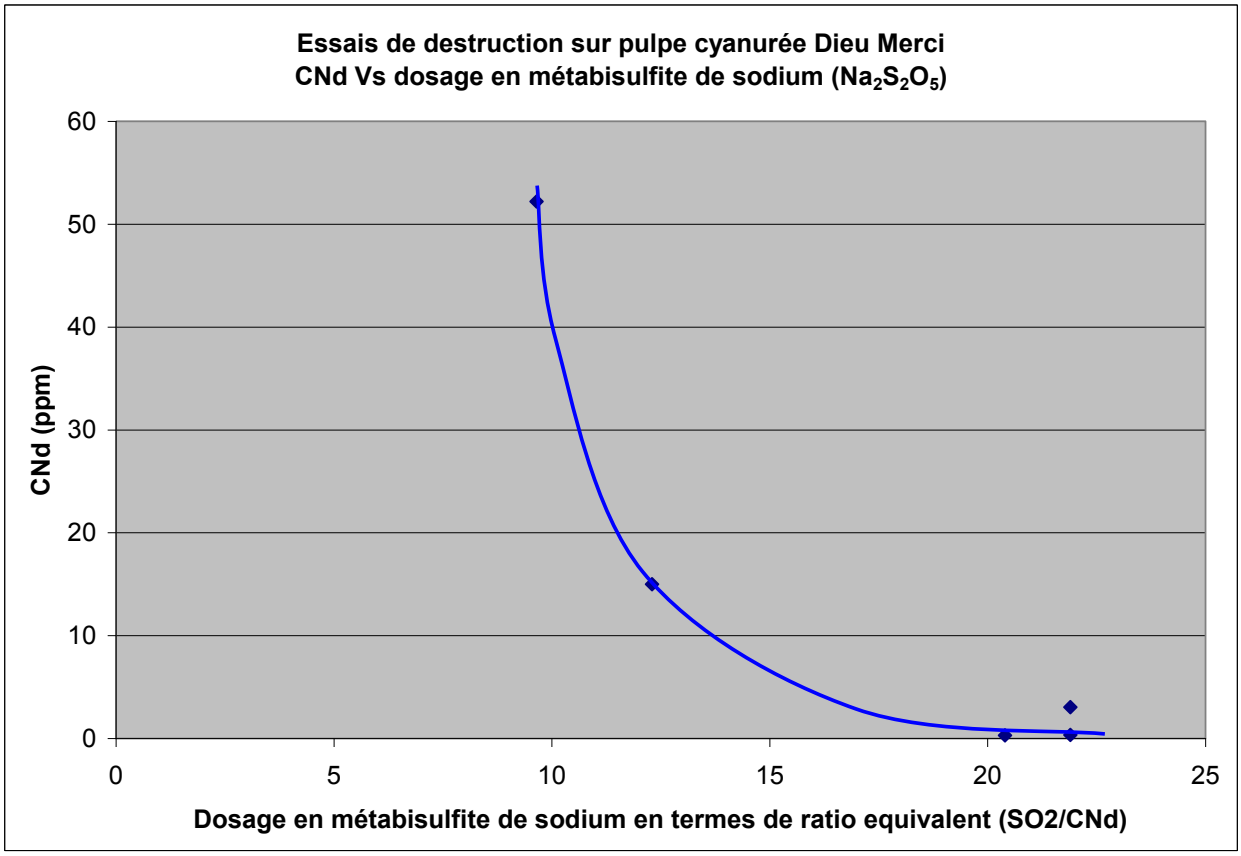


Figure 4 : Cyanures disponibles Vs dosage en métabilsufite de sodium

- Le graphique de la *figure 4* montre qu'un dosage assez élevé en métabisulfite de sodium (ratio >20) est requis pour atteindre des seuils en cyanures dissociables inférieurs à 1 ppm.

5. Conclusions

- Les essais de cyanuration réalisés sur l'échantillon composite « Dieu Merci » ont atteint des récupérations très élevées de 97,9 et de 98,3 % pour des temps de séjour de 24 et 48 heures respectivement.
- La teneur de l'alimentation calculée à partir des deux essais réalisés est de 4,15 g Au/tm.
- La consommation obtenue en cyanure est de l'ordre de 0,2 kg/tm, valeur assez habituelle pour la cyanuration d'un minerai d'or. La consommation en chaux hydratée est un peu élevée, avec une valeur de l'ordre de 11,5 kg $Ca(OH)_2$/tm.
- Les paramètres utilisés pour réaliser ces essais (K80 = 79 µ et NaCN > 350 ppm) apparaissent satisfaisants pour obtenir des récupérations très élevées. D'autres essais pourraient être réalisés pour optimiser davantage les résultats obtenus et minimiser la consommation en réactifs.
- Les essais de destruction de cyanure réalisés sur les pulpes cyanurées ont atteint des valeurs de l'ordre de 0,3 ppm de CN_D et de 1,67 ppm de CN_T. Ces résultats satisfont la norme

française concernant la disposition de rejets dans des bassins de sédimentation, qui est de 10 ppm en cyanures totaux.

- Les valeurs résiduelles obtenues en métaux (As, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn) sur les solutions traitées sont relativement basses. Le cuivre est le seul élément observé qui devra être suivi davantage au niveau du contrôle des concentrations en métaux au niveau de l'effluent final.
- Il sera cependant de la responsabilité du client de s'assurer que l'effluent final respecte les normes en cyanures[3] et en métaux applicables à ce projet.
- Les consommations en métabisulfite de sodium pour les meilleurs résultats obtenus sont relativement élevées (9,9 et 13,3 kg $Na_2S_2O_5$ /tm). D'autres essais seraient requis pour optimiser le dosage en métabisulfite et en sulfate de cuivre et tenter d'abaisser la consommation globale en réactifs.
- Enfin, il serait recommandé de procéder à une validation des paramètres d'opération du procédé de destruction des cyanures en réalisant des essais de destruction des cyanures en continu à l'échelle du laboratoire avant d'entreprendre l'implantation du procédé en usine.

Jean Lelièvre, ing.

[3] I N E R I S - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, juin 2012. - L'arrêté du 30/06/06 relatif aux installations de traitements de surface soumises à autorisation au titre de la rubrique 2565 de la nomenclature des installations classées fixe une concentration limite en cyanure aisément libérable de 0,1 mg/L (rejet direct).

Annexe 1

Essais de cyanuration

Essai CN-DM-1 :Cyanuration du composite Dieu Merci: 24 h et K80 = 79µ

Début de l'essai:	2013-04-04 12:30	
Masse solide initiale =	494,8	
Masse de la bouteille vide =	1587,1	
Masse de pulpe + bouteille à la fin =	2867,6	
Masse de solution à la fin de l'essai de cyanuration =	785,7	
Masse solide à la fin de l'essai =	497,5	
% solide de la pulpe =	38,8%	
Durée du broyage =	6' 10"	
K80 =	79µ	
	77,6%	< 200 mailles

Analyses chimiques:

	g Au / tm				**Moyenne**	**Description**
S-39 S-64	0,08	0,08	0,10		**0,09**	Rejet solide
L-39 L-64	2,58	2,56			**2,57**	Solution

	Masse (g)	Teneur g / tm	mg Au	% distribution	Code échantillon
Solution	785,70	2,57	2,02 mg Au	**97,9%**	L-53 L-69
Rejet solide	497,5	0,09	0,04 mg Au	**2,1%**	S-53 S-69
Alimentation calculée	497,5	**4,15**	2,06 mg Au	100%	

% récupération = 97,9%

Heure	NaCN			Chaux hydratée $Ca(OH)_2$				
	Avant ajout réactif	Addition de réactifs	Après ajout réactif	pH	Avant ajout réactif	Addition de réactifs	pH après ajout réactif	Après ajout réactif
2013-04-04 12:30		0,450 g	573 ppm			6,10 g	11,7	7764 ppm
2013-04-07 12:30	440 ppm			11,55	492 ppm			

Consommation de NaCN = **0,21 kg NaCN / tm minerai**
Consommation de $Ca(OH)_2$ = **11,55 kg Ca(OH)2 / tm minerai** **pH à la fin de l'essai = 11,55**

Essai CN-DM-2: Cyanuration du composite Dieu Merci: 48 h et K80 = 79µ

Début de l'essai:	2013-04-04 12:35	
Masse solide initiale =	496,6	
Masse de la bouteille vide =	1726,9	
Masse de pulpe + bouteille à la fin =	3009,9	
Masse de solution à la fin de l'essai de cyanuration =	786,4	
Masse solide à la fin de l'essai =	496,7	
% solide de la pulpe =	38,7%	
Durée du broyage =	6' 10"	
K80 =	79µ	
	77,6%	< 200 mailles

Analyses chimiques:

	g Au / tm				**Moyenne**	**Description**
S-57 S-62	0,08	0,06			**0,07**	Rejet solide
L-57 L-62	2,61	2,56			**2,59**	Solution

	Masse (g)	Teneur g / tm	mg Au	% distribution	Code échantillon
Solution	786,40	2,59	2,03 mg Au	**98,3%**	L-53 L-69
Rejet solide	496,7	0,07	0,03 mg Au	**1,7%**	S-53 S-69
Alimentation calculée	496,7	**4,16**	2,07 mg Au	100%	

% récupération = 98,3%

Heure	NaCN			Chaux hydratée $Ca(OH)_2$				
	Avant ajout réactif	Addition de réactifs	Après ajout réactif	pH	Avant ajout réactif	Addition de réactifs	pH après ajout réactif	Après ajout réactif
2013-04-04 12:35		0,445 g	566 ppm			6,10 g	11,7	7757 ppm
2013-04-07 12:35	352 ppm			11,50	352 ppm			

Consommation de NaCN = **0,34 kg NaCN / tm minerai**
Consommation de $Ca(OH)_2$ = **11,73 kg Ca(OH)2 / tm minerai** **pH à la fin de l'essai = 11,50**

Annexe 2

Essais de destruction des cyanures

Essai DM-1: Essai préliminaire de destruction des cyanures sur pulpe Dieu Merci à pH = 8,5 et ratio SO2/CNd = 9,44			Code analyse
Date de l'essai:	4 avril 2013		
Ratio calculé SO_2 / CN_{disp} =	9,44		
Concentration initiale CN_{disp} :	199	ppm	L-39
Masse pulpe =	864,4		
% solide =	38,7%		
Volume de solution:	529,9	ml	
Masse de minerai solide :	334,5	g	
Concentration Cu calculée:	97,9	ppm	
pH pendant la destruction du cyanure	8,5		
Masse utilisée $Na_2S_2O_5$ =	1,477	g	
Masse de $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,204	g	
Durée:	2,0	h	
Concentration finale CN_{disp} :	52,21	ppm	L-56
Consommation $Na_2S_2O_5$ =	4,42	kg/tm	
Consommation $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,610	kg/tm	
Consommation $Ca(OH)_2$ =	< 0,5	kg/tm	

Mesures du pH et d'oxygène dissout:

Heure	pH	O_2 ppm	Remarques
Initial	11,37	8,60	Avant ajout réactifs
16:35	8,40	0,15	Après ajout des réactifs
16:40	8,4	1,14	
16:45	8,24	2,13	
16:50	8,39	5,84	
17:00	8,3	7,44	
17:22	8,14	7,8	
18:03	8,27	8,31	
18:35	8,33	8,53	Fin de l'essai

Durée de l'essai: 2,00 h

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h									Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-1	Essai sur pulpe avec ratio SO2/CNd = 9,65 et pH = 8,5	Avant destruction CN					199		0,02	1,14	0,01	0,16	<0,0003	0,45	L- 39
		Après destruction CN	9,4	97,9	8,5	2,0	52,21		0,13	58,71	0,19	0,31	<0,0003	0,05	L- 56

Essai DM-2: Essai préliminaire de destruction des cyanures sur pulpe Dieu Merci à pH = 8,2 et ratio SO2/CNd = 12,0			Code analyse
Date de l'essai:	19 avril 2013		
Ratio calculé SO_2 / CN_{disp} =	12,05		
Concentration initiale CN_{disp} :	212	ppm	L-17
Masse pulpe =	504		
% solide =	38,9%		
Volume de solution:	307,9	ml	
Masse de minerai solide :	196,1	g	
Concentration Cu calculée:	97,5	ppm	
pH pendant la destruction du cyanure	8,19		
Masse utilisée $Na_2S_2O_5$ =	1,167	g	
Masse de $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,118	g	
Durée:	3,0	h	
Concentration finale CN_{disp} :	15,0	ppm	L-73
Consommation $Na_2S_2O_5$ =	5,95	kg/tm	
Consommation $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,602	kg/tm	
Consommation $Ca(OH)_2$ =	< 0,5	kg/tm	

Mesures du pH et d'oxygène dissout:

Heure	pH	O_2 ppm	Remarques
Initial	11,35		Avant ajout réactifs
13:00	8,17	0,15	Après ajout des réactifs
13:30	8,1		
14:11	8,2	7,36	
14:48	8,16	7,36	
15:28	8,18	7,35	
15:31	8,14	7,72	
15:56	8,16	7,93	
16:00	8,18	7,93	Fin de l'essai

Durée de l'essai: 3,00 h

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h									Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-2	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 12,0 et pH = 8,2	Avant destruction CN					212		0,02	0,62	0,11	0,25	0,0081	0,82	L- 17
		Après destruction CN	12,0	97	8,2	3,0	15,0		0,09	27,76	0,01	0,08	<0,0003	0,01	L- 73

Essai DM-3: Essai préliminaire de destruction des cyanures sur pulpe Dieu Merci à pH = 8,15 et ratio SO2/CNd = 20,0			Code analyse
Date de l'essai:	19 avril 2013		
Ratio calculé SO_2 / CN_{disp} =	20,00		
Concentration initiale CN_{disp} :	212	ppm	L-17
Masse pulpe =	506		
% solide =	38,9%		
Volume de solution:	309,2	ml	
Masse de minerai solide :	196,8	g	
Concentration Cu calculée:	97,1	ppm	
pH pendant la destruction du cyanure	8,15		
Masse utilisée $Na_2S_2O_5$ =	1,945	g	
Masse de $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,118	g	
Durée:	3,0	h	
Concentration finale CN_{disp} :	0,29	ppm	L-71
Consommation $Na_2S_2O_5$ =	9,88	kg/tm	
Consommation $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,599	kg/tm	
Consommation $Ca(OH)_2$ =	< 0,5	kg/tm	

Mesures du pH et d'oxygène dissout:

Heure	pH	O_2 ppm	Remarques
Initial	11,35		Avant ajout réactifs
13:00	8,17	0,15	Après ajout des réactifs
14:11	8,1		
14:54	8,15	7.53	
15:26	8,15	7,78	
16:00	8,15	7,76	Fin de l'essai

Durée de l'essai: 3,00 h

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h									Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-3	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 20,0 et pH = 8,2	Avant destruction CN					212		0,02	0,62	0,11	0,25	0,0081	0,82	L- 17
		Après destruction CN	20,0	97	8,2	3,0	0,287		0,07	1,28	0,12	0,03	<0,0003	0,02	L- 71

Essai DM-4: Essai préliminaire de destruction des cyanures sur pulpe Dieu Merci à pH = 8,1 et ratio SO2/CNd = 21,4			Code analyse
Date de l'essai:	28 avril 2013		
Ratio calculé SO_2 / CN_{disp} =	21,37		
Concentration initiale CN_{disp} :	265	ppm	L-76
Masse pulpe =	497		
% solide =	38,6%		
Volume de solution:	305,2	ml	
Masse de minerai solide :	191,8	g	
Concentration Cu calculée:	101,7	ppm	
pH pendant la destruction du cyanure	8,1		
Masse utilisée $Na_2S_2O_5$ =	2,564	g	
Masse de $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,122	g	
Durée:	3,17	h	
Concentration finale CN_{disp} :	3,05	ppm	L-58
Consommation $Na_2S_2O_5$ =	13,37	kg/tm	
Consommation $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,636	kg/tm	
Consommation $Ca(OH)_2$ =	< 0,5	kg/tm	

Mesures du pH et d'oxygène dissout:

Heure	pH	O_2 ppm	Remarques
Initial	11,35		Avant ajout réactifs
11:10	8,10		Après ajout des réactifs
11:15	8,16	0,04	
11:24	8,13	0,04	
11:34	8,11	0,04	
12:00	8,08	4,29	
12:30	8,15	7,49	
12:55	8,09		
13:15	8,1	7,6	
13:23	8,1		
13:58	8,1	7,8	
14:20	8,1	7,8	Fin de l'essai

Durée de l'essai: 3,17 h

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h									Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-4	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 21,4 et pH = 8,05	Avant destruction CN					265		0,03	0,53	0,28	0,27	0,0033	1,02	L- 76
		Après destruction CN	21,4	102	8,05	3,17	3,05		0,72	0,34	0,59	0,02	0,002	<0,001	L- 58

Essai DM-5: Essai préliminaire de destruction des cyanures sur pulpe Dieu Merci à pH = 8,75 et ratio SO2/CNd = 21,4			Code analyse
Date de l'essai:	28 avril 2013		
Ratio calculé SO_2 / CN_{disp} =	21,35		
Concentration initiale CN_{disp} :	265	ppm	L-76
Masse pulpe =	497		
% solide =	38,6%		
Volume de solution:	305,2	ml	
Masse de minerai solide :	191,8	g	
Concentration Cu calculée:	98,3	ppm	
pH pendant la destruction du cyanure	8,75		
Masse utilisée $Na_2S_2O_5$ =	2,562	g	
Masse de $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,118	g	
Durée:	3,17	h	
Concentration finale CN_{disp} :	0,35	ppm	L-51
Consommation $Na_2S_2O_5$ =	13,35	kg/tm	
Consommation $CuSO_4$ $5H_2O$ =	0,615	kg/tm	
Consommation $Ca(OH)_2$ =	< 0,5	kg/tm	

Mesures du pH et d'oxygène dissout:

Heure	pH	O_2 ppm	Remarques
Initial	11,35		Avant ajout réactifs
11:15	8,75		Après ajout des réactifs
11:34	8,72	0,18	
12:00	8,75	4,15	
12:30	8,77	6,34	
12:55	8,71	6,4	
13:15	8,74	6,85	
13:58	8,75	7,64	
14:25	8,72	7,44	Fin de l'essai

Durée de l'essai: 3,17 h

Code essai	Description		Ajout initial de réactifs		pH	Durée h									Code analyse
			Ratio SO2 / CNd	ppm Cu			CNd	CN_T	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
DM-5	Essai sur pulpe avec ratio SO_2/CNd = 21,4 et pH = 8,75	Avant destruction CN					265		0,03	0,53	0,28	0,27	0,0033	1,02	L- 76
		Après destruction CN	21,4	98	8,75	3,17	0,35	1,67	0,01	0,24	0,07	0,01	<0,0003	<0,001	L- 51

Annexe 3

Protocole de cyanuration

Protocole de cyanuration

Étape 1 : Préparation de l'essai

- Masse de la bouteille vide: _____ g
- Masse de la bouteille + minerai:_____ g
- Masse de la bouteille + masse de minerai + masse de l'eau: __ g (pour atteindre le % solide désiré)

Étape 2 : Ajout des réactifs et début de l'essai

La quantité de NaCN et de chaux est fonction des objectifs de l'essai et de la nature du minerai. D'une façon générale, dans les essais statiques, on s'assure d'avoir généralement moins 0,5 kg NaCN/ tm de solution et un pH > 10,5.

Pour les essais cinétiques, des prélèvements sont effectués à des temps précis, (ex. : 6, 12, 24, 48 et 72 heures), afin de permettre d'établir la consommation en réactifs ainsi que la récupération en or. À chaque prélèvement, 100 ml de solution sont prélevés et 100 ml de solution cyanurée stérile sont rajoutés dans la bouteille.

- _____ g $Ca(OH)_2$;
- _____ g NaCN;
- Brassage de la bouteille pour assurer la complète mise en pulpe du minerai;
- Les bouteilles sont alors mises sur les rouleaux pour assurer l'agitation et l'oxygénation de la pulpe.
- Le temps de démarrage de l'essai est inscrit.

Étape 3 : Contrôle du pH pendant l'essai

- Pendant l'essai, le pH est mesuré périodiquement, afin de toujours le maintenir à un niveau supérieur à 10,5. Au besoin, de la chaux hydratée ($Ca(OH)_2$) est ajoutée dans la bouteille. La quantité de chaux ajoutée est notée.

Pour l'essai statique, la concentration en cyanure de sodium (NaCN) n'est mesurée qu'à la fin de l'essai. Pour l'essai cinétique, l'évaluation est réalisée à chaque prélèvement. Avant chacun, la masse de la bouteille + pulpe est notée, afin de permettre l'estimation de la masse de solution-mère au moment du prélèvement. Un total de 100 ml de solution est prélevé après environ 5 minutes de sédimentation de la pulpe.

L'échantillon de 100 ml recueilli est ensuite filtré à l'aide d'un filtre Wattman no 40, puis inséré dans une bouteille de plastique de 250 ml, en vue de son analyse. Un échantillon de 10 ml est utilisé pour le titrage de la concentration en cyanure et de la concentration en chaux hydratée.

Étape 4 : Mesure de la concentration en réactifs dans la solution par titrage

- 10 ml de solution cyanurée filtrée;
- Ajout de 3 gouttes de KI (5 g KI dans 100 ml d'eau);
- Titrage avec solution de AgNO3 (0,8665 g $AgNO_3$ dans 500 ml) jusqu'à ce que l'on obtienne une solution jaunâtre et légèrement opaque;
- Calcul de la concentration en NaCN concentration; (1 ml solution utilisée de $AgNO_3$ = 0,1 kg NaCN/ tm de solution ou 100 ppm NaCN);
- Ajout de 3 gouttes de phénolphtaléine (0,5 g phénolphtaléine + 50 ml d'eau + 50 ml CH_3OH);
- Titrage avec une solution d'acide sulfurique diluée (1,379 g H_2SO_4 dans 1 000 ml d'eau) jusqu'à disparition de la coloration rosée;
- Calcul de la concentration en chaux (1 ml de solution utilisée de H_2SO_4 = 0,1 kg $Ca(OH)_2$/ tm de solution ou 100 ppm $Ca(OH)_2$.

Étape 5 : Arrêt de l'essai

- Mesure de la masse de la bouteille + pulpe : _____g
- Mesure du pH final de la pulpe : _____
- Vidange de la bouteille dans le filtre à pression sans utilisation d'eau de lavage;
- Prélèvement de la solution-mère de la 1re filtration et mise en bouteille. Deux échantillons de solution sont prélevés. Bien inscrire les codes d'échantillon sur la bouteille et titrage de la solution prélevée pour l'évaluation de la concentration finale en cyanure et en chaux hydratée.
- La bouteille de cyanuration est ensuite lavée avec de l'eau et insérée de nouveau dans le filtre à pression;

- Après filtration, on ajoute une solution de lavage équivalente au volume initial de solution dans la bouteille au moment de la 1re filtration. On repulpe manuellement et délicatement le solide filtré dans le fond du filtre à pression. On procède ensuite à la filtration;
- Après filtration, on insère de nouveau un 2e volume de solution d'eau de lavage et on repulpe. On procède finalement à une dernière filtration.

Étape 6 : Échantillonnage du rejet solide

- Le rejet solide séché est tout d'abord pesé;
- Il est ensuite tamisé sur un tamis 20 mailles (833µm) et mélangé environ 30 fois par la méthode des 4 coins sur une grande feuille de papier. Deux échantillons sont prélevés pour fins de pyroanalyse. Tous les rejets sont conservés pour analyse ultérieure.

Étape 7 : Titrage de la solution-mère finale

- Un titrage de la concentration en cyanure et en chaux est réalisé à partir de l'échantillon de solution-mère recueilli précédemment;
- Après titrage, on ajoute généralement une pastille de NaOH et, au besoin, un peu de cyanure pour assurer de bonnes conditions de préservation de l'échantillon en attente de son analyse;
- Les échantillons sont entreposés dans un placard sans lumière jusqu'à leur envoi au laboratoire d'analyse.

Annexe 4

Certificats d’analyses chimiques

Essais de dégradation du cyanure sur rejets de cyanuration du minerai Dieu Merci
PU-2013-01-763

Laboratoire Expert Inc.
127, Boulevard Industriel

Rouyn-Noranda
Québec
Canada J9X 6P2
Téléphone : (819) 762-710 Télécopieur : (819) 762-7510

*** Certificat d'analyses ***

Date : 2013-04-11

Client : URSTM-UQAT

Destinataire : Jean Lelièvre

445, Boul. Université
Rouyn-Noranda
Québec J9X 5E4

Téléphone : (819) 762-0931
Télécopieur :

Dossier : **37867**
Votre commande :
Projet : **PU-2013-01-763-B**

Nombre total **4**

Identification	Au FA-GRAV g/t 0,03 ========	Au-Dup FA-GRAV g/t 0,03 ========
S-39	0,08	0,08
S-57	0,08	
S-62	0,06	
S-64	0,1	

Laboratoire Expert Inc.
127, Boulevard Industriel

Rouyn-Noranda
Québec
Canada J9X 6P2
Téléphone : (819) 762-710 Télécopieur : (819) 762-7510

*** Certificat d'analyses ***

Date : 2013-04-08

Client : URSTM-UQAT

Destinataire : Jean Lelièvre

445, Boul. Université
Rouyn-Noranda
Québec J9X 5E4

Téléphone : (819) 762-0931
Télécopieur :

Dossier : **37868**
Votre commande :
Projet : **PU-2013-01-763-B**

Nombre total **4**

Identification	Au FA-GRAV g/t 0,03 ========
L-39	2,58
L-57	2,61
L-62	2,56
L-64	2,56

Multilab DIRECT

Certificat d'analyse

Numéro de projet : C-128472

Échantillon : L-39 — Date de prélèvement : 05 avril 2013

Lieu de prélèvement : Labo — Heure de prélèvement : N/D

Paramètres	Résultats	Méthode d'analyse	Date d'analyse
Arsenic (As)	0.0209 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Cuivre (Cu)	1.135 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Cyanures disponibles (CNd)	199 mg/L	M-CN-1.0	11 avril 2013
Fer (Fe)	0.01 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Nickel (Ni)	0.1595 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Plomb (Pb)	<0.0003 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Zinc (Zn)	0.448 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013

Multilab DIRECT

Certificat d'analyse

Numéro de projet : C-128474

Échantillon : L-54 — Date de prélèvement : 05 avril 2013

Lieu de prélèvement : Labo — Heure de prélèvement : N/D

Paramètres	Résultats	Méthode d'analyse	Date d'analyse
Arsenic (As)	0.0078 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Cuivre (Cu)	4.553 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Cyanures disponibles (CNd)	0.221 mg/L	M-CN-1.0	19 avril 2013
Fer (Fe)	<0.01 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Nickel (Ni)	0.2015 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Plomb (Pb)	<0.0003 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013
Zinc (Zn)	0.06 mg/L	M-MET-3.0	08 avril 2013

Multilab DIRECT

Sommaire des résultats

Client : **U.R.S.T.M.**
Responsable : M. Jean Lelièvre
Adresse : 445, boul. de l'Université
Rouyn-Noranda Qc J9X 5E4
tél.: (819) 762-0971 (---)
fax.: (819) 797-4727

Date de réception : 22 avril 2013
Nom du préleveur : Jean Lelièvre
Type d'échantillon : cyanure

No Multilab Direct	128991	128992	128993
Échantillon	L-17	L-71	L-73
Date prélèvement	19-04-2013	19-04-2013	19-04-2013
Arsenic (As) mg/L	0.0228	0.0744	0.0890
Cuivre (Cu) mg/L	0.6208	1.276	27.26
Cyanures disponibles (CNd) mg/L	212	0.287	15.00
Fer (Fe) mg/L	0.11	0.12	0.01
Nickel (Ni) mg/L	0.2520	0.0267	0.0775
Plomb (Pb) mg/L	0.0081	<0.0003	<0.0003
Zinc (Zn) mg/L	0.819	0.019	0.011

Multilab DIRECT

Sommaire des résultats

Client : **U.R.S.T.M.**
Responsable : M. Jean Lelièvre
Adresse : 445, boul. de l'Université
Rouyn-Noranda Qc J9X 5E4
tél.: (819) 762-0971 (---)
fax.: (819) 797-4727

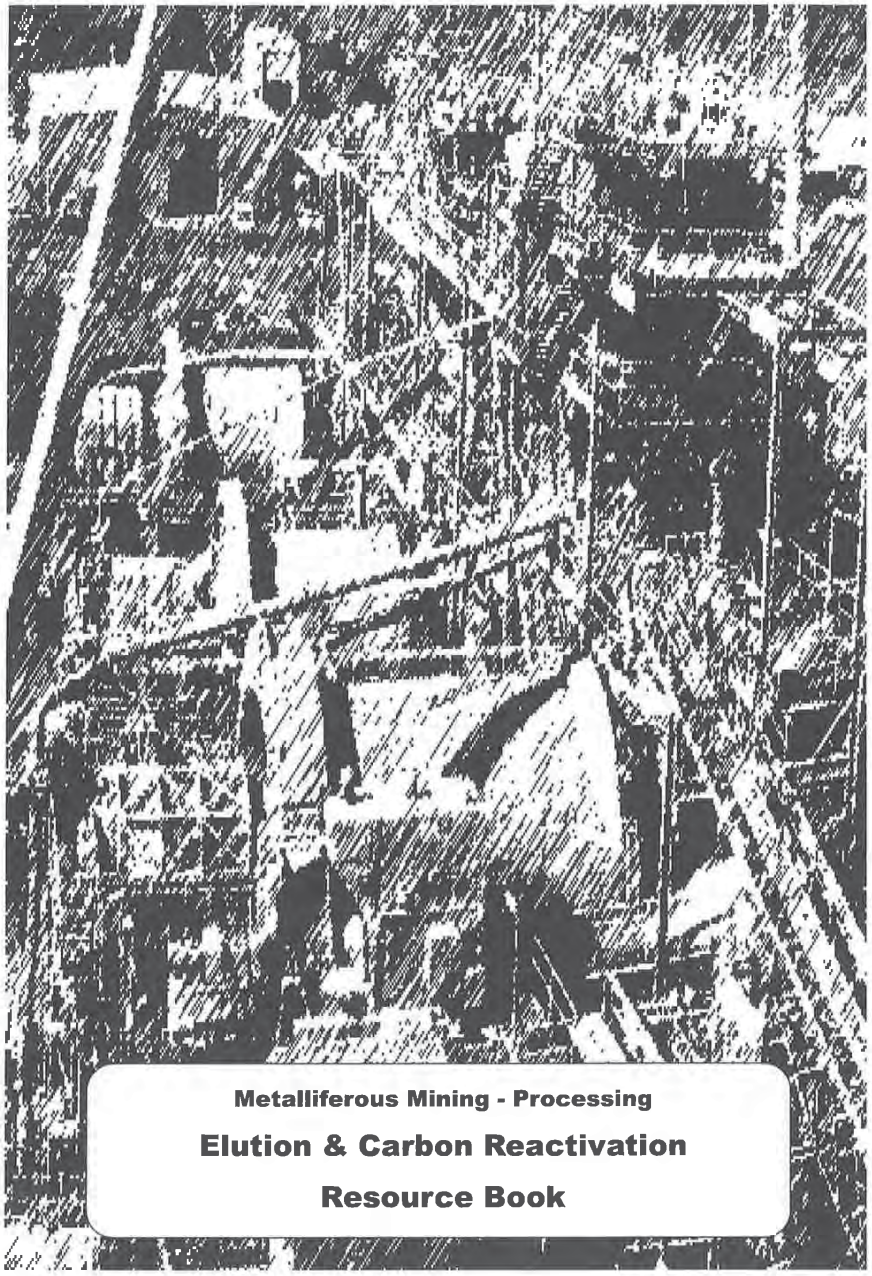
Date de réception : 29 avril 2013
Nom du préleveur : Jean Lelièvre
Type d'échantillon : cyanure
PU-2013-01-763-B

No Multilab Direct	129349	129350	129351
Échantillon	L-76	L-58	L-51
Date prélèvement	28-04-2013	28-04-2013	28-04-2013
Cyanures disponibles (CNd) mg/L	265	3.05	0.348
Arsenic (As) mg/L	0.0285	0.0722	0.0140
Cuivre (Cu) mg/L	0.5273	0.3417	0.2435
Fer (Fe) mg/L	0.28	0.59	0.07
Nickel (Ni) mg/L	0.2668	0.0180	0.0107
Plomb (Pb) mg/L	0.0033	0.0016	<0.0003
Zinc (Zn) mg/L	1.02	<0.001	<0.001
Cyanures totaux (CNt) mg/L	---	---	1.67

Annexe 3

Metalliferous Mining – Processing, Elution and carbon reactivation

Source : Resource Book



Metalliferous Mining - Processing

Elution & Carbon Reactivation

Resource Book

Table of Contents

TABLE OF CONTENTS **2**

INTRODUCTION TO ELUTION AND CARBON REACTIVATION 3
What is this module about? 3
What will you learn in this module? 3
What do you have to do to complete this unit? 3
What resources can you use to help? 3
INTRODUCTION 4

ELUTION THEORY FUNDAMENTALS **4**

ELUTION THEORY FUNDAMENTALS 5
SPLIT 'ANGLO AMERICAN RESEARCH LABORATORIES' (AARL) ELUTION PROCESS STAGES 6
ELUTION CIRCUIT COMPONENTS 9
CARBON REACTIVATION THEORY 11
THERMAL REACTIVATION 13
FACTORS AFFECTING THERMAL REACTIVATION EFFICIENCY 15
REACTIVATION CIRCUIT COMPONENTS AND PROCESS FLOW 16

Introduction to Elution and Carbon Reactivation

What is this module about?

This unit is about how we manage and use Elution and Carbon Reactivation within the processing plant

What will you learn in this module?

- Demonstrate an understanding of elution theory fundamentals.
- Demonstrate an understanding of the purpose and action of each stage of the AARL process as applied at SDGM.
- Identify the key elution circuit components.
- Demonstrate an understanding of carbon reactivation theory.
- Demonstrate an understanding of the factors affecting thermal reactivation efficiency.
- Identify and describe the purpose of the HVS screen, VFB screen, Reactivation kiln and carbon eduction vessel.

What do you have to do to complete this unit?

You will need to complete all the training tasks in your workbook, the review exercise and the assessment given to you by your supervisor.

Discuss the competency standards for this unit with the Training Coordinator or your supervisor.

What resources can you use to help?

If you need more information about topics in this unit, then you should approach:

- Your work mates and supervisor
- The training coordinator
- Metallurgists

Introduction

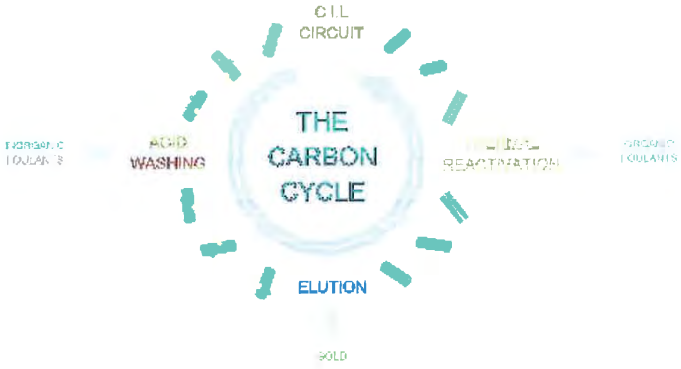
During the CIL process, gold is leached from the ore using an alkaline cyanide solution. The resulting gold cyanide complex ions are then concentrated and separated from the slurry by adsorbing onto activated carbon. Elution is the next step in the process, whereby the adsorption of the gold cyanide complex onto carbon is reversed.

Loaded carbon is removed from the CIL circuit and the gold stripped from the carbon using a number of treatment steps. The result is a solution of high gold concentration (pregnant eluate). The gold can then be removed from the solution by electrowinning onto steel wool cathodes (refer 'Electrowinning and Smelting' module).

As well as stripping the gold from the carbon, the elution process incorporates an acid wash stage, which removes inorganic foulants from the carbon. Foulants reduce the activity, and hence gold adsorbing efficiency and capacity, of carbon. Carbon is only partly reactivated by the removal of inorganic foulants (precipitated salts, mineral matter etc) in the acid washing cycle. Organic foulants such as oil, are unaffected by acid and must be removed by thermal reactivation.

Thermal reactivation (regeneration) simply involves heating the carbon in the presence of steam to 750°C in a gas fired reactivation kiln. The combination of high temperatures and the steam environment vaporises the organic foulants, returning activity to the carbon.

The reactivated carbon is returned to the circuit and the adsorption, elution (desorption) and reactivation cycle starts anew.



Elution Theory Fundamentals

Elution involves removing the gold from the activated carbon by reversing the adsorption process that occurs in the CIL circuit (refer 'Leach and Adsorption' module). Using high temperatures and pressures and treating the carbon with a concentrated cyanide/caustic solution followed by elution with potable water, the gold cyanide complex can be induced to desorb from the carbon and return to solution. The desorption process is also referred to as 'stripping'.

In the CIL circuit, adsorption of gold onto activated carbon is most effective at low temperatures, low cyanide concentrations, low pH and high gold concentration in solution (although some of these conditions aren't practically achievable). By simply reversing these conditions, elution (desorption) of gold from the carbon occurs.

The main factor that makes desorption or stripping a simple process is the fact that gold will only adsorb onto carbon at low temperatures. If the temperature of a solution and carbon mixture is increased, the gold will readily desorb from the carbon into the solution. Temperature is therefore the most important variable in the elution process and temperatures of 100-120°C are necessary to achieve optimum elution performance.

Other requirements of the elution process are:

- High cyanide concentration
- High caustic concentration
- Low ionic strength of solution (i.e. low level of salts in the water)
- Optimum flowrate of solution through the carbon
- Low gold concentration in the solution

However, these conditions are not all simultaneously achievable and hence the entire elution process occurs as a number of steps.

Split 'Anglo American Research Laboratories' (AARL) Elution Process Stages

Column Loading

Carbon is removed from the circuit from tanks 2 and 102. The slurry is pumped to the loaded carbon screen where the carbon is screened from the slurry, which is returned to the tanks. Spray bars fitted to the screen wash residual slurry from the carbon. The carbon discharges off the end of the screen into the elution column. This is done in a batch process with six tonnes of carbon being treated each strip.

When the elution column is full of carbon, potable water is flushed through the column to remove any remaining entrained slurry.

Acid Washing

Carbon fouling is the buildup of organic and inorganic substances on carbon, which detrimentally affects carbon adsorption by reducing carbon activity. The foulants precipitate or adsorb onto the carbon, taking up active sites which would otherwise be available for gold adsorption and also may block the carbon pores, restricting the flow of solution through the carbon in both the adsorption and desorption processes. The foulants may also adversely affect the eluate composition if they are desorbed in the stripping stage. Acid washing removes inorganic foulants from the carbon.

Acid washing is also critical in the AARL process to ensure elution efficiency. The acid modifies the way in which the gold cyanide ions are adsorbed onto the carbon, in preparation for the following pretreatment stage. Combined, the acid wash and pretreatment steps convert the gold cyanide ions from being strongly adsorbed to the carbon to being weakly adsorbed and hence easily desorbed in the elution stage.

- **Acid Wash Cycle**

A dilute hydrochloric acid solution (3%) is circulated/pumped into the elution column. The acid dissolves inorganic foulants such as calcium carbonate, magnesium and sodium salts, fine ore minerals such as silica, and fine iron particles. Organic foulants such as oils and fats are unaffected by the acid and are removed by thermal reactivation after the elution cycle. The acid wash cycle takes about 20 minutes. A peristaltic pump (PPD 41), feeds concentrated HCl into a water line from the elution water tank. A positive displacement pump (PPC 28) is used to pump water from the elution water tank to the column for both the acid wash and acid rinse cycles.

Hydrochloric Acid Pump

- **Acid Soak Cycle**

The acid soak cycle follows the acid wash cycle and is simply a 40-minute time period where the acid solution sits in the column, allowing time to dissolve the inorganic foulants.

- **Acid Rinse Cycle**

The acid rinse stage involves flushing four bed volumes of water through the column. The water flushes away the mineral impurities that have been freed by the acid wash. The wash also rinses the carbon of acid and raises (neutralises) the pH in the column. If this were not done, the remaining acid would react with the eluate, releasing large quantities of HCN gas.

Cyanide Pretreatment

The next stage involves treating the carbon with a caustic-cyanide solution at high temperature (115°C) and pressure (230 kPa).

The sodium cyanide is required for solubilising the adsorbed gold cyanide complex and the caustic (sodium hydroxide) is added to maintain a high pH to minimise the evolution of HCN gas. Upon the completion of this stage the gold cyanide complex is still adsorbed to the carbon (ie, no gold is removed into solution during this stage) but the attraction between the complex and the carbon is 'weakened', allowing it to be easily desorbed in the following elution stages.

High temperatures are used and hence high pressure is maintained to prevent the solution from boiling (water boils at 100°C at atmospheric pressure, and the solution is mainly water). After it has been through the column, the pretreatment solution reports to either electrolyte tank 38 or 8.

Elution

Elution is the actual gold removal stage. Potable water (low ionic strength) is pumped through the column at high temperature (115°C) and pressure (230 kPa). High temperatures are used as the gold loading capacity of carbon is reduced with increasing temperature.

Low ionic strength water (no dissolved salts) is used to enable the gold to be stripped from the carbon. The loading capacity of activated carbon for gold increases in the presence of ions such as Ca^{2+} (calcium) and Mg^{2+} (magnesium). Hence, desorption of gold from carbon is favoured by conditions of low ionic strength solutions ie; the absence of ions such as Ca^{2+} and Mg^{2+}.

Elution Tanks

The low gold concentration in the solution also aids the desorption of gold.

- **Recycle Elution Stage**

During the recycle stage, a batch of solution (called the recycled eluate or 'split') containing a small amount of gold from the previous elution cycle is flushed through the carbon bed. This solution has a relatively low ionic strength, however, does not have a low gold concentration as it contains gold from the previous strip in the form of gold cyanide complex ions. This is not a problem though, as most of the gold on the carbon will still desorb into this solution, leaving perhaps only 30% of the gold on the carbon. The solution from this stage also reports to the electrolyte tank (tank 8 or 38).

- **Water Elution Stage**

The water elution stage is essentially a repeat of the recycle stage except that fresh potable water is used, and the solution leaving the column reports to the recycle eluate tank, becoming the 'recycle eluate' for the next strip. The potable water has an extremely low ionic strength and has no gold in solution and is therefore able to extract most of the remaining gold, bringing the total gold recovery (for both steps) up to 97%.

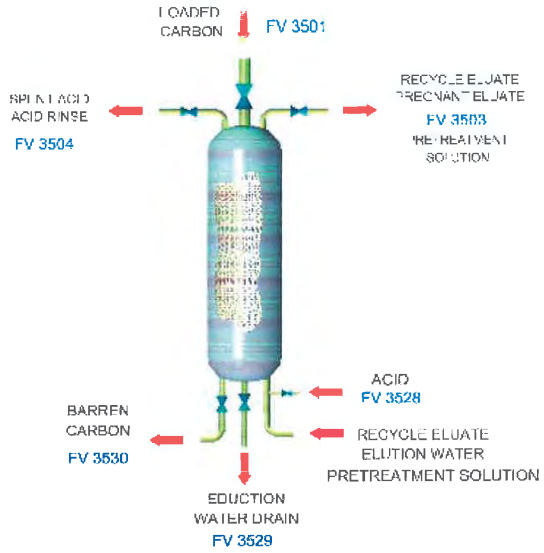
A split system is used to achieve the highest possible gold grade in the final solution and also to minimise both electrowinning solution volume and potable water consumption.

Elution Circuit Components

Elution Column

The elution column is a 10m high by 1.2m diameter mild steel rubber lined pressure vessel (rated to 350kPa). Having a high 'length to diameter' ratio enables solution to flow evenly through the bed of carbon without short-circuiting or 'tunnelling'.

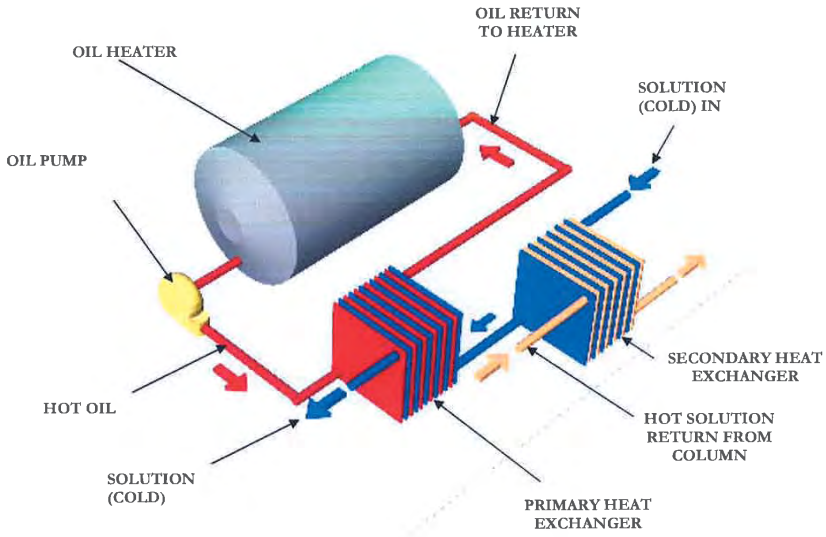
The column has a volume of 11.3m³ (1 'bed' volume) which can hold approximately 6 tonnes of carbon. External lagging (insulation) lines the exterior of the column to prevent heat loss during elution.Various valves are installed at the top and bottom of the column for; filling/eduction, liquid circulation and pressure relief.



Primary and Reclaim Heat Exchangers

A heat exchanger is a device used to transfer heat from one fluid medium to another via thin metal plates. The fluids never contact each other, they are separated by rubber gaskets. The plates are sandwiched together in a fixed frame between a movable pressure plate and tightened using lateral bolts.Oil is the medium used to transfer heat to the pretreat solution, recycle eluate and elution water via the primary heat exchanger plates. The oil is heated in a reservoir by an LPG fired burner and is circulated to the heat exchangers by a centrifugal pump (PPC 32). An expansion tank above the heater allows for the changes in the oil level in the main tank, due to the expansion or contraction of oil in the system.The reclaim heat exchanger plates allows heat remaining in solutions exiting the elution column to be transferred to the incoming fresh 'cold' solution, prior to the cold solution passing through the primary heat exchanger. Having a reclaim heat exchanger hence reduces the heat input required from the oil in the primary heat exchanger, which in turn reduces LPG costs. Removing the heat from the solution exiting the column prevents it from boiling once it is discharged at atmospheric pressure.

Basket filters (strainers) are installed on the column exit line to prevent foreign particulate material from entering and blocking the heat exchangers.



Carbon Reactivation Theory

Carbon Fouling

Carbon fouling is the build-up of organic and inorganic substances on carbon, which detrimentally affects gold adsorption. Fouling results in a decrease in the rate of and loading capacity of gold adsorption onto carbon, and may also adversely affect the efficiency of desorption (elution) processes.

Fouling occurs when:

- Undesirable organic or inorganic species are adsorbed onto the carbon surface, taking up active sites, which would otherwise be available for gold adsorption.
- Inorganic salts are precipitated onto the carbon surface, blocking active sites.
- Solid particles such as fine silica, or precipitates are physically trapped in carbon pores, restricting access to gold-bearing solution.

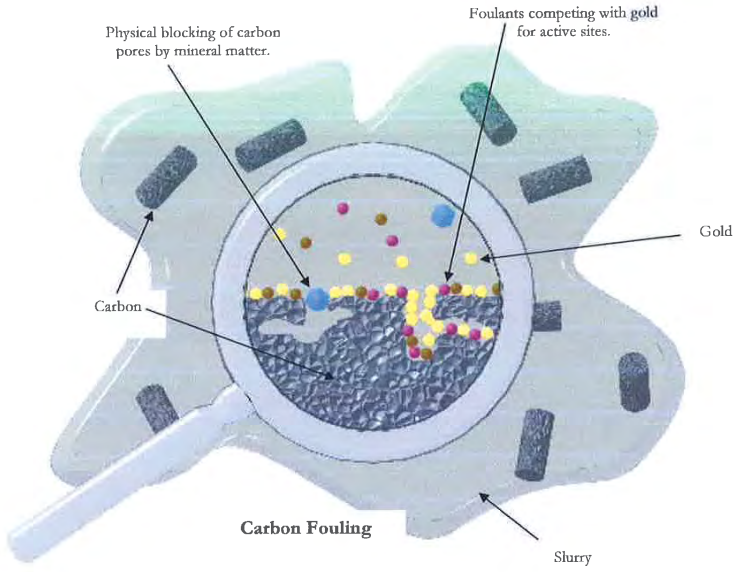
Inorganic foulants are those elements and compounds/molecules other than those composed of carbon. However, inorganic substances include carbon oxides, metal carbonates and hydrogencarbonates, but excludes all organic carbon compounds such as alcohols, esters, hydrocarbons, oils, fats etc.

Examples of inorganic foulants include magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$), calcium carbonate ($CaCO_3$), iron cyanide ($Fe(CN)_6$) and silica (SiO_2).

Conversely, organic foulants are those compounds based on carbon, not including carbon oxides, metal carbonates etc.

Examples of organic foulants include diesel fuel, lubrication oils, grease and fine vegetation/plant matter.

It is not possible to prevent fouling altogether, as salts and organic matter are invariably present in the ore and water supplies. It is, however, possible to minimise the degree of fouling by ensuring no foulants are added to the process unnecessarily (eg oils, grease etc).



Carbon Fouling

Inorganic Foulant Removal

Most of the inorganic foulants are removed in the acid washing stage of the elution cycle, whereby the precipitated/adsorbed salts are dissolved in hydrochloric acid (HCl) and then rinsed from the carbon. The HCl will readily dissolve most (70-90%) of the inorganic species, but the adsorbed gold complex is unaffected. Silver and copper cyanide complexes are also not removed by HCl.

The acid washing procedure is described earlier in this module.

Organic Foulant Removal

Thermal reactivation is used to remove organic foulants, by subjecting the carbon to temperatures in the order of 650-750°C in a steam environment.

The high temperature burns off some of the organic matter whilst reaction with the steam removes the rest. Steam also serves to keep the reactivation system oxygen free (to prevent the carbon burning) and is involved in the chemical formation of active sites within the carbon.

Thermal Reactivation

Organic Foulant Types

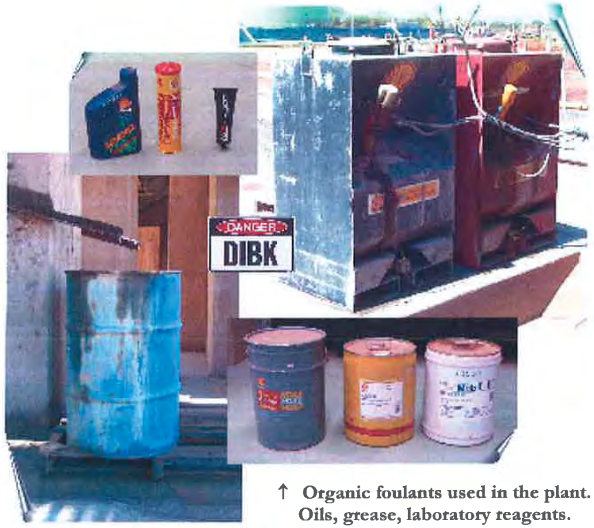
Organic foulants are loosely categorised into three main types:

- **Type I -** Volatile (easily vaporised) organic compounds, which are weakly adsorbed to active adsorption sites.

- **Type II -** Organic compounds not sufficiently volatile for thermal desorption, which require higher temperatures for thermal decomposition (cracking) and/or those compounds which are tenaciously bound to surface sites.

- **Type III -** Carbon residues remaining in the pores from the cracking of type II compounds. These carbonaceous residues are similar (but not entirely the same) to the base activated carbon. These residues are selectively removed from the activated carbon using high temperatures in a steam environment.

In reality, many organic foulants will display combinations of types I,II and III behaviour.



↑ **Organic foulants used in the plant. Oils, grease, laboratory reagents.**

Thermal Reactivation Stages

The following steps usually occur during thermal reactivation inside the kiln:

- **Drying - < 200°C**

  Carbon enters the kiln tube at approximately 60°C and 25% moisture.

  As initial heating occurs, highly volatile foulants are vaporised. As the carbon temperature passes through 100°C any moisture remaining inside the carbon pores will boil and be released as gas.

- **Vaporisation - 200-500°C**

  As the temperature rises to 200-500°C in about the first metre of the tubes, volatile 'Type I' foulants are vaporised.

- **Pyrolysis - 500-700°C**

  During this stage the cracking or pyrolysis (the decomposition of a substance by the action of heat) of non-volatile (type II) foulants occurs and 'Type III' foulants are deposited.

- **Removal of Pyrolised Residues - ≈ 750°C**

  The last metre of the kiln is operated at 750°C. Water is injected at the base of the kiln and the steam generated selectively oxidises and vaporises the pyrolised (Type III) residues.

  The steam creates an inert (oxygen deficient) atmosphere which prevents the activated carbon from burning. The steam is also thought to be responsible for generating fresh active sites on the carbon.

- **Carbon Cooling and Discharge**

  The water injection at the base of the kiln also serves to cool the carbon to approximately 250°C before exiting the kiln. If the hot (750°C) carbon were to enter the atmosphere the oxygen in the air would react with the carbon causing burning and damage of the carbon surface.The carbon discharges into the high-pressure eduction vessel (sputnik) via a discharge vibrating feeder, and is quenched in water to prevent prolonged exposure to oxygen and loss of activity.

Factors Affecting Thermal Reactivation Efficiency

Temperature

Temperature is one of the most important parameters in the reactivation of carbon for the adsorption of gold. Too low a temperature will not give adequate foulant vaporisation and hence effective reactivation will not occur. On the other hand, if the temperature is too high the carbon may degrade or become weakened.

Residence Time

If the residence time is too low then removal of the organic foulants will be insufficient.

Residence time is an important consideration in the instance that a kiln tube becomes blocked. The rate of kiln throughput is determined by the output vibrating discharge screen, which is set at a fixed speed. If a tube becomes blocked then the carbon will simply travel faster through the remaining tubes to compensate and hence carbon residence time is reduced. Therefore it is important to monitor the tubes to ensure adequate residence times.

A blocked tube, viewed through the furnace observation port, will appear 'red' whilst the others 'black'. A blocked tube should be cleaned prior to the commencement of the next regeneration cycle to prevent damage to the tube and to maintain the appropriate residence time.

Water Addition

Control of water addition is a critical factor in reactivation.

High flowrate – Heat will be consumed in vaporising excess water rather than vaporising foulants.

Low flowrate – Insufficient steam and hence pyrolysed residues remain on carbon.

No water – Leads to an oxygen rich atmosphere, which will damage/consume carbon.

The water injection rate will usually be set by the plant metallurgists.

It is also important that the initial moisture content of the carbon is minimised. This ensures maximum energy input for foulant vaporisation, rather than the heat being consumed in water vaporisation.

Feed Carbon Contaminants

Carbon feed to the kiln must be free from grit, plastic and trash materials for optimum operation. Continued periods of physically dirty feed will cause blockages and malfunctions.

Reactivation Circuit Components and Process Flow

H.V.S Screen - Carbon Dewatering

Carbon is educted from the column and fed to the HVS (Horizontal Vibrating Screen) dewatering screen. Carbon is screened from the eduction water and discharges into the VFB (Vibrating Fluidisised Bed) screen feed hopper. A potable water spray bar on the screen washes residual salts, fine grit and carbon through the screen.

V.F.B Screen - Carbon Predrying/Kiln Feeding

Carbon remains in the VFB screen feed hopper for a 45 minute period to allow water to drain from the carbon. Upon starting the kiln, the carbon moves over the VFB screen and discharges into the kiln top hopper. Hot exhaust gases from the kiln are circulated up through the screen underdeck, drying the carbon to approximately 25% moisture and heating it to 50°C.

The carbon should appear as dry, free flowing individual particles and grey in colour. Wet carbon entering the kiln may result in blocked kiln tubes. Should the carbon discharging from the screen appear black or 'sticky', it is too moist. In this instance the feed rate may be too high, the screen may be pegged or the exhaust gas fan may have malfunctioned.

V.F.B Screen

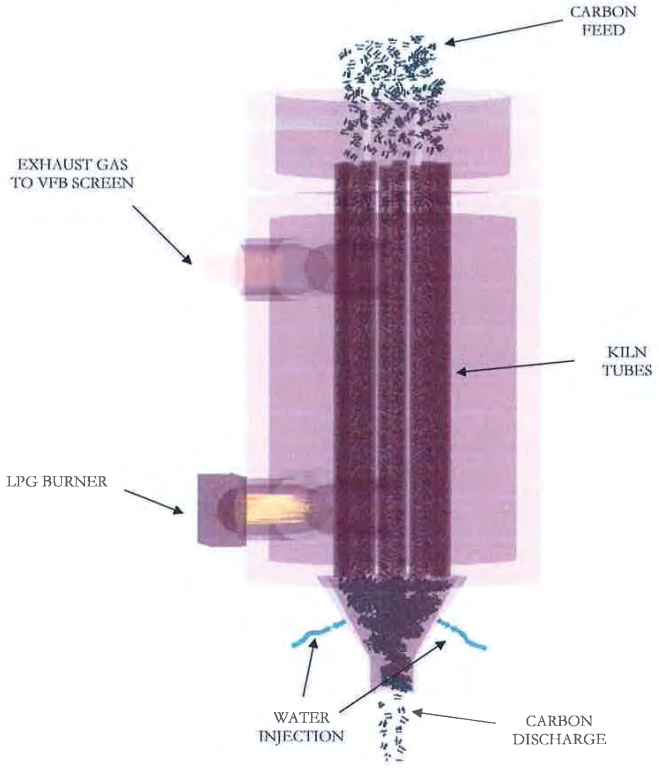
There are two level probes situated in the VFB discharge/Kiln feed funnel. When the high-level probe is clear of the carbon the VFB screen exciters are actuated, and once the probe is embedded in carbon the exciters stop, halting the flow of carbon off the screen. This way a constant stream of carbon is fed to the kiln. When the low-level probe is exposed, the kiln discharge vibrating feeder will stop.

Reactivation Kiln

The kiln is a 'Combustion Air' vertical gas fired kiln, comprised of a 1.5m diameter cylinder insulated with a 75mm think high temperature lining.

A cluster of 16, 50mm diameter tubes carry carbon through the kiln (by gravity). Water injection ports at the base of the kiln provide a steam atmosphere, and also serve to quench the carbon prior to discharge.

A vibrating feeder discharges carbon from the kiln to the transfer/eduction vessel. The output of the discharge vibrating feeder is fixed, changing the angle of the feeder alters the rate of carbon throughput though the kiln. The kiln has it's own feed and temperature control system (PLC).

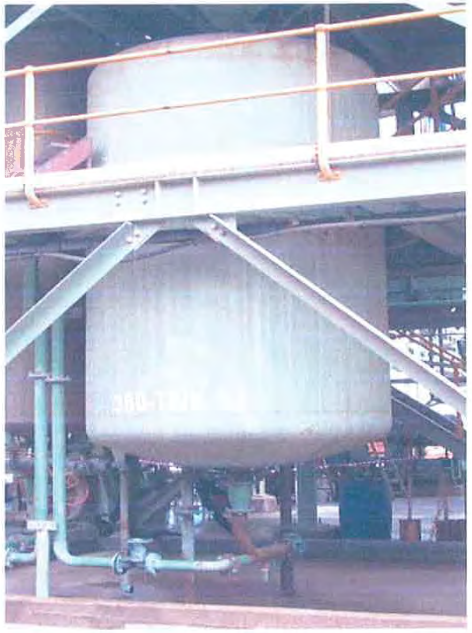


Carbon Eduction Vessel

A high pressure vessel is used to transfer (educt) the carbon back into the CIL circuit.

Once the reactivation process is complete and the transfer vessel/quench tank full of carbon, the carbon is educted to either tank 7 or 107.

All feed and discharge valves are closed to the vessel and water is pumped in to pressurise the vessel to 250kPa and fluidise the carbon bed. The bottom exit valve is then opened and the fluidised carbon and water flows out under the force of the vessel pressure.



Annexe 4

Detoxification of Cyanide in Gold processing waste water by hydrogen peroxide

Source : A. KHODADADI et. al

Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2005, Vol. 2, No. 3, pp. 177-182

DETOXIFICATION OF CYANIDE IN GOLD PROCESSING WASTEWATER BY HYDROGEN PEROXIDE

***[1]A. Khodadadi, [2]M. Abdolahi and [2]P. Teimoury**

[1]Environmental Research Center, Trabiat Modarres University, Tehran, Iran

[2]Department of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

Received 1 January 2005; revised 26 February 2005; accepted 28 April 2005

ABSTRACT

Utilizing cyanide compounds in mining and chemical industry is one of the most important environmental issues due to the acute toxic properties of many cyanide compounds to humans and aquatic life. Cyanide tends to react readily with most other chemical elements, producing a wide variety of toxic, cyanide related compounds. This research was aimed at investigating a feasible and economical technique for the detoxification of cyanide from the tailing effluent of Muteh gold mine in Isfahan, Iran. In this research cyanide detoxification was achieved through the oxidation of cyanide by hydrogen peroxide using various hydrogen peroxide solutions at pH levels between 7-13 and temperatures between 12-65 °C using copper sulfate as a catalyst. The optimum pH and dose of hydrogen peroxide for complete cyanide removal in the presence of 30 mg/L copper sulfate as a catalyst were determined as 9.7 and 9.98 g/L, respectively. At high temperatures > 35°C, cyanide was completely removed perfectly at constant pH = 9.7 which was mainly due to cyanide evaporation in the form of HCN.

Key words: Cyanide destruction, hydrogen peroxide, copper sulfate, optimum pH, cyanide

INTRODUCTION

Cyanides are present in effluent waters of several industries especially in chemical and mineral processing industry. Mineral processing industries, especially gold processors, use a great deal of cyanide Ingles and Scott, 1993. Cyanide is used in a similar manner to extract silver from ores. In the extraction of non precious metals such as copper, nickel, cobalt, molybdenum, etc., cyanide is used in the milling and concentration processes to separate the desirable metals from the wastes. Cyanide is also used in a number of chemical synthesis nylon, fibers, resins, and herbicides and metallurgical processes plating and surface fishing and therefore, it is present in their effluent waters Lordi, *et al.*, 1980, Patil and Paknikar, 2000. As a class of chemicals, cyanides are highly toxic, short-term exposure can cause the following health effects: rapid breading, tremors and other neurological effects; long term exposure can cause weight loss, thyroid effects and nerve damage. Therefore, cyanide must be destroyed or removed from wastewater prior to discharge. Stricter environmental regulations for the discharge of cyanides make it necessary to develop processes for their removal from wastewater. Several techniques are used for treating cyanide bearing effluents from gold processing. The methods to degrade cyanide solutions can be divided into three major groups: natural, chemical and biological degradation. The chemical treatments include oxidation, ion exchange and adsorption by activated carbon or natural zeolite, (Kurama and Catalsarik, 2000; Parga and Cocke, 2001, Nafaa, and Lotfy 2002).

Oxidation is one of the techniques, which are known for cyanide wastewater treatment Ingles and Scott, 1993. Common oxidants used for the removal of un complexes or weakly bound cyanides include chlorine, peroxide and chlorine dioxide. Research indicates that in the oxidation process,

*Corresponding author: Tel: 0098 21 88011001, Fax: 009821 8800 6544, Email: *akdarban@modares.ac.ir*

cyanide oxidizes and is converted to cyanide CNO^- which is 1000 times less environmentally hazardous than cyanide. Cyanide oxidation results in free cyanide CN^- being converted to cyanate CNO^-, which is a less harmful compound Lordi, 1980; Wild *et al.*, 1994. The maximum allowable cyanide concentration in drinking water is 0.07 mg/L according to EPA , whereas in our case, cyanide concentration in wastewater exceeds 250 mg/L (Anonymous, 1992).

Cyanide concentrations more than 0.07 mg/L, are intensely harmful to aquatics. A common method for the oxidation of cyanide wastewater is chlorination at high pH to form CNO^-, CO_2, N_2 and NH_4^+. However, there are several disadvantages with this type of treatment: 1 it is expensive especially in the case of concentrated solutions; 2 it is not so effective for cyanide complex wastes; and 3 it produces a large quantity of sludge, which contains heavy metal after chemical decomposition and subsequent precipitation processes. Unfortunately, the process effluents contain residual iron complexes cyanides, chlorine, and ammonia, which are toxic and must be removed through further treatment. Excessive chlorine quantities are required when thiocyanate is present, and the efficiency of metals removal is highly pH dependent Chin and Eckert, 1976; Tan, *et al.*, 1985; Hine, *et al.*, 1986; Ho, *et al.*, 1990. Oxidation should be considered when levels of oxidizable cyanide are too high to be processed by a biological treatment system. The most commonly adopted method for cyanide oxidation technique is application of peroxides, peroxymono sulfuric acid and persulfates that all are effective alternatives for cyanide destruction. Copper catalyzed hydrogen peroxide removes free and complexes cyanides including the stable iron complexes cyanides through oxidation. Using hydrogen peroxide systems depends on the reaction time, temperature, pH, the desired products cyanate, CO_2 and NH_3, the types of cyanides being treated and the system economics. While H_2O_2 will oxidize free cyanide, it is common to catalyze the reaction with a transition metal such as soluble copper, vanadium, tungsten or silver in concentrations of 5-50 mg/L Freeman, 1998. The oxidation is described as follows:

$$CN^- + H_2O_2 \rightarrow CNO^- + H_2O \quad (1)$$

With any hydrogen peroxide system, a pH of 9-10 should be maintained if cyanide is present to avoid release of hydrogen cyanide HCN gas. Reaction rate can be increased by several means: raising the temperature, increasing catalyst dose and/or using excess H_2O_2. The inclusion of 10 mg/L Cu increase the rate 2-3 fold, while a 20% excess of hydrogen peroxide will increase the rate by about 30%. Cyanide oxidation by hydrogen peroxide is also dependant on various parameters such as suspended solids metal and cyanide complexes concentrations (Chapman, 1992), pH and dosage of hydrogen peroxide for cyanide removal.

This research was aimed at investigating the optimum conditions for cyanide wastewater treatment using hydrogen peroxide.

MATERIALS AND METHODS

Wastewater samples were obtained from the tailing dam of Muteh gold processing plant in Isfahan province. Cyanide is used in this plant for gold leaching process. Wastewater at the end of the process line is pumped to the tailings dam without any treatment. The concentration of H_2O_2 and solution density used for this research was 30% and 1.11 kg/L, respectively. Copper sulfate was used as a catalyst with concentrations of 10 to 50 mg/L. Cyanide oxidation was achieved using various hydrogen peroxide solutions at pH levels between 7-13 and temperatures between (12-65) °C. The pH and temperature were monitored by Hanna pH meter. The oxidation and reduction redox reactions result in CNO^- formation as fallows Wild *et al.*, 1994:

$$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \Leftrightarrow 2H_2O \quad (2)$$

$$H_2O + CN^- \Leftrightarrow CNO^- + 2H^+ + 2e^- \quad (3)$$

$$H_2O_2 + CN^- \Leftrightarrow H_2O + CNO^- \quad (4)$$

As obviously seen from the reactions, the number of electrons transferring, i.e. N is equal to 2. According to stoichiometric balance, one mole of H_2O_2 is sufficient for one mole of CN^-. The fixed

minimum volume of H_2O_2 that is essential for cyanide neutralizing must be calculated from the normally-volume equation.

The wastewater samples consist of two main components; 1) the liquid part which is colorless and contains average 270 mg/L cyanide and other heavy metals, 2) The solid part consisting of sewage and solid wastes which are mainly black fines of activated carbon. The filtered liquid portion of the wastewater was used for this research. Cyanide analysis was performed by titration using a rhodanine solution solution prepared by dissolving para-dimethyl amino benzylidine rhodanine in pure acetone solution (Anonymous, 1992) as follows:

Rhodanine solution was prepared by dissolving para dimethyl amino benzylidine rhodanine, which was indicator for cyanide. Dissolving solid rhodanine in 50 mL pure acetone, makes a solution named rhodanine. Silver nitrate preparation for cyanide titration was made by dissolving 163.5 mg of $AgNO_3$ in 50 mL distilled water makes a 1.92 mole/L silver citrate solution. For dilution of wastewater 0.04 mole/L NaOH solution by dissolving 1.6 g NaOH in 1000 mL distilled water was used. The cyanide titration steps are summarized as follows:

1.Taking one mL cyanide wastewater sample original sample and then add 0.04 mole/L NaOH solution to it, until the total volume of mixed solution reach to 100 mL.

2.Taking 10 mL from the recently prepared solution and add 0.5 mL rhodanine indicator solution to it, which changes the solution's color to yellow. Puting the container consisting of diluted solution and rhodanin indicator solution under a micro-burette on a stand containing $Ag\ NO_3$. Opening the micro-burette's valve and stiring the container gently, as soon as the solution's color changes from yellow to onion purple color, closing the valve and write down the volume of $AgNO_3$ V which is consumed, by reading from micro-burette. Cyanide concentration in original sample containing cyanide is calculated from the following equation:

Cyanide concentration in diluted solution= Molecular weight of $AgNO_3$ (g). V_a-V_b $\frac{1}{V_a}$ Molecular weight of CN^- (g).

V_a = Volume of diluted sample, taken for titration= 10 mL

V_b = Volume of $AgNO_3$ consumed for blank solution titration.0.04 mole/L NaOH solution is named blank solution.

To determine the volume of $AgNO_3$ consumed for bonding to CN^- (forming Ag CN complex), the blank solution should be titrated by rhodanine indicator solution and silver nitrate. The procedure of blank titration is the same as cyanide titration. The detailed of the sample preparation and titration procedure can be found in Anonymous, 1992.

RESULTS

The concentration of H_2O_2 versus cyanide removal is shown in Fig. 1, which shows that cyanide removal using hydrogen peroxide and copper sulfate as catalyst generally takes place at pH= 9-10, so at the first stage, the experiments were set at pH=9.5 and temperature at 12 °C with a retention time of 60 min.

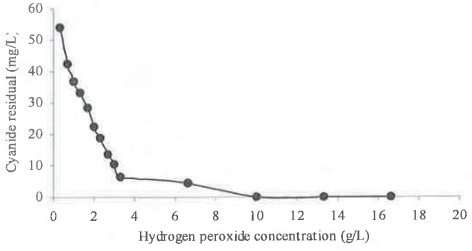


Fig. 1. Cyanide removal results using various hydrogen peroxide concentrations; copper sulfate concentration = 30 mg/L at pH=9.5 and T=12°C

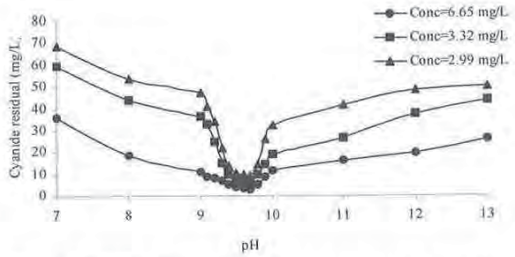


Fig. 2: The effect of hydrogen peroxide concentration on cyanide removal with the presence of 30 mg/L copper sulfate on cyanide removal

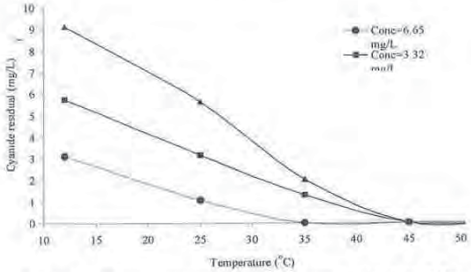


Fig. 3: The effect of temperature on cyanide removal using 6.65, 3.32 and 2.99 g/L of hydrogen peroxide

Table 1: Cyanide removal results using 6.65, 3.32, 2.99 g/L hydrogen peroxide solution and 30 mg/L of copper sulfate at pH=9.7 and temperatures 12-65 °C

Temperature (°C)	Residual cyanide concentration (g/L) 2.99 (mg/L)	3.32 (mg/L)	6.65 (mg/L)
12	9.11	5.73	3.1
25	5.62	3.15	1.05
35	2.03	1.29	0
45	0	0	0
55	0	0	0
65	0	0	0

The results of cyanide removal using 6.65, 3.32, 2.99 g/L hydrogen peroxide solutions with 30 mg/L copper sulfate at pH= 7-13 and temperature 12°C are shown in Fig. 2. As it is shown in Fig. 2 pH level of 9.6-9.7 is the optimum one for the maximum removal of cyanides.

The results of cyanide removal using 6.65, 3.32, 2.99 g/L hydrogen peroxide solutions at pH=9.7 and temperatures 12-65 °C are shown in Table 1 and Fig. 3.

The residual of cyanide concentration for all solutions at pH=9.7 and 45-65 °C was reached

zero as shown in Fig. 3. Cyanide removal at pH=9.7 and temperatures 12-65 °C is mainly due to HCN formation and its evaporation regarding the very low boiling point of HCN 25.75 °C. Thus removal of cyanide by increasing the temperature above 45 °C is misleading.

DISCUSSION

As demonstrated in Figs.1, 2 and 3, concentrations of hydrogen peroxide, pH of the solution and temperatures are the most important determining factors, the removal of cyanide from wastewater. The color of the treated cyanide wastewater can be used as a guide for recognizing the amount of residual cyanide concentration in the solution. Cyanide solutions that appear to be light green in color, have residual cyanide concentrations of less than approximately 15 mg/L and other treated cyanide wastewaters nearly white in color have exactly the same cyanide concentration as the original wastewater.

Fig. 2 shows that at pH = 9.6 - 9.7, using 6.65 g/L hydrogen peroxide solution, the residual cyanide concentration reaches zero. When the pH increases to 9.8, cyanide removal decreases again and residual cyanide concentration reaches 4.99 mg/L. This is in consistent with the results in the literature obtained from experiments for tailings slurry or low solid containing solution samples from gold mining wastewaters (Knorre and Griffiths, 1984; Botz, 2001; Mudder *et al.,* 2001; Kitis *et al.,* 2005).

The same results were obtained when the concentrations of hydrogen peroxide solutions decreased to 3.32 and 2.99 mg/L, nevertheless the residual cyanide concentrations increased as the concentrations of hydrogen peroxide were reduced. The minimum residual cyanide concentration is at pH= 9.7 for all cases. Thus the optimum pH level was set at pH= 9.7 and cyanide removal was studied at this pH with increasing temperature. Cyanide removal at pH= 9.7 and temperatures of 12-65 °C is mainly due to HCN formation and its evaporation regarding the very low boiling point of HCN 25.75 °C. Thus, removal of cyanide by increasing the temperature above 45°C is misleading. The optimum dose of hydrogen peroxide for complete cyanide removal in the presence of 30 mg/L copper sulfate as catalyst was 9.98 g/L and optimum pH was determined as equal as 9.7. By increasing the temperature at constant pH and concentration of hydrogen peroxide cyanide removal improves, but by temperature increasing, H_2O_2 released O_2 very quickly and the great potential of H_2O_2 for cyanide oxidation decreased, so that prior to cyanate formation, the great amount of cyanide was remained. Thus, cyanide removal at temperature more than 25 is misleading because of O_2 releasing from hydrogen peroxide and on the other hand, due to HCN formation, which temperature increase evaporates rapidly.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge support from Mineral Processing Laboratory of Tarbiat Modarres University, Ministry of Industry and Mines (TAVA Projects) and Muteh Complex Company for providing the tailing effluent samples.

REFERENCES

Anonymous, (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Administration (APHA), Washington DC, USA. 756.

Botz, M. M., (2001). Cyanide treatment methods. In: The Cyanide Guide.Ed, Mudder, TI A Special Edition of the Mining Environmental Management, **9**, 28–30.

Chapman, D., (1992). Water Quality Assessment. In: A guide to the use of biotas sediments and water in environmental monitoring. Ed., London, Chapman and Hall, 156-167.

Chin, D. T. and Eckert, B., (1976). Destruction of cyanide wastes with a packed-bed electrode. Plat Surf Finish. 0, 38–41.

Freeman, H. M., (1998). Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal. Ed., McGraw-Hill, New York, 325.

Hine, F., Yasuda, M., Iida, T. and Ogata, Y., (1986). On the oxidation of cyanide solutions with lead dioxide coated anode. Electrochim. Acta **31** (11), 1389–1395.

Ho, S., Wang, P. and Y, Y. and Wan, C. C., (1990). Electrolytic decomposition of cyanide effluent with an electrochemical reactor packed with stainless steel fiber. Water Res. **24** (11), 1317–1321.

Ingles, J. and Scott, J. S., (1993). State of the process for the treatment of gold effluents. In: Mining, mineral and metallurgical process division, internal report, Ontario, Canada, 175-187.

Kitis, M., Akcil, A., Karakaya, E. and Yigit, N. O., (2005). Destruction of cyanide by hydrogen peroxide in tailings

slurries from low bearing sulphidic gold ores, Minerals Engeenering **18**, 353–362.

Knorre, H. and Griffiths, A., (1984). Cyanide detoxification with hydrogen peroxide using the Degussa process. Proceedings of the Cyanide and the Environment Conference, Tucson, Arizona.

Kurama, H. and Catalsarik, T., (2000). Removal of zinc cyanide from a leach solution by an anionic, ion-exchange resin, Desalination **129**, l-5.

Lordi, D. T., LucKing, C., Whitebloom, S. W., Kelada, N. and Dennison, S., (1980). Cyanide problems in municipal waste water treatment plants. J. water Pollut. Con., 111-117.

Mudder, T. I., Botz, M. M. and Smith, A., (2001). Chemistry and treatment of cyanidation wastes second Ed., Mining Journal Books, London, UK.

Nafaa, A. and Lotfi, M. (2002). Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon. Chem Eng. Process., **41**, 17–21.

PargaJose, R. and Cocke, D., (2001). Oxidation of cyanide in a hydrocyclone reactor by chlorine dioxide, Desalination, **140** (3), 289-296.

Patil, Y. B. and Paknikar, K. M., (2000). Removal of metal cyanides from waste waters, Process Biochem., **35**, 1139–1151.

Tan, T. C., Teo, W. K. and Chin, D. T., (1985). Electrochemical destruction of complex cyanide. Chem. Eng. Common., **38**, 125–133.

Wild, S. R., Rudd, T. and Neller, A., (1994). Fate and effects of cyanide during treatment processes. Sci. Total Environ., **156**, 93–107.

Annexe 5

Brochure techniques sur les épaississeurs de type « paste thickener »

One Source

EIMCO Deep Cone Paste Thickener

FLSmidth

EIMCO® Deep Cone® Paste Thickeners

EIMCO Capabilities

- **Paste**
- **Disposal**
- **Flowsheets Capability**
- **Systems**
- **Engineering**
- **Testing**
- **Controls**
- **Pumping**
- **Construction**

Paste thickening was initially developed by Alcan International to improve disposal methodology for high-volume, low solids red mud tailings from alumina production. This development program resulted in over 50 Alcan paste thickeners in use around the world in alumina. In 1996 EIMCO (now a part of FLSmidth) entered into an exclusive license agreement for the use of Alcan paste thickening technology in non-alumina applications. FLSmidth also provides Deep Cone® Paste Thickeners to Alcan within the alumina industry. Since 1996, over 40 EIMCO Deep Cone Paste Thickeners have been designed and sold for thickening red mud, copper tailings, lead/zinc tailings and other mineral tailings for surface disposal, mine backfill, and countercurrent decantation applications.

High Unit Loadings

EIMCO Deep Cone Paste Thickeners accommodate up to 20 times the solids mass flow and 10 times the hydraulic loading of conventional thickeners. This is accomplished by optimizing solids concentration for feed dilution, chemical addition and floc formation while minimizing floc degradation. These benefits are achieved by using the patented EIMCO® E-DUC® feed system. This ensures adequate feed pulp dilution, efficient chemical dispersion, rapid flocculation which results in maximum settling rates.

Process Controls

FLSmidth can design and supply the control system required for the paste thickener system. FLSmidth's control systems have the ability to optimize a unit operation at the same time as the overall operation of a subsystem or a complete plant.

Rake Drive & Mechanism

Rake drives are key components of conventional and hi-rate thickeners but in paste thickeners, they are absolutely critical.

High mud depths that cover the entire rake structure coupled with high viscosities as the underflow reaches paste consistency means that drives must be designed to meet unusually high continuous torque requirements. No company can match FLSmidth' experience in providing heavy duty, high continuous torque, long life drives. EIMCO drives use multiple pinions, deep gear faces, precision bearings, oil bath lubrication and strain gauge high accuracy torque measurement to provide the ability to meet this demanding service.

These drives can be powered with either hydraulic or electric motors. The rake drive transmits torque to the rake mechanism that is designed to keep the thickened solids flowing toward the discharge and to assist with releasing water from the paste bed. The rake system is designed to minimize drag and to prevent the formation of doughnuts, islands and rat holes that cause process upsets.

Testing Services

FLSmidth can conduct bench scale testing to screen potential applications and provide equipment sizing. Pilot Deep Cone™ Paste Thickeners are available for on site testing to verify laboratory results and confirm sizing.

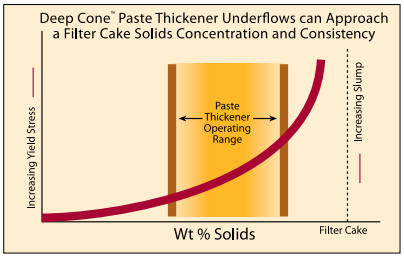
Heavy-Duty Equipment that Provides Superior Thickening Capability

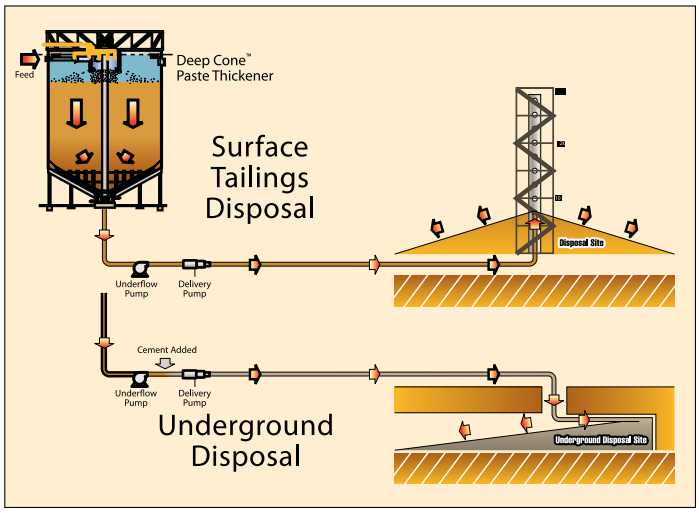
Expanded Disposal Options

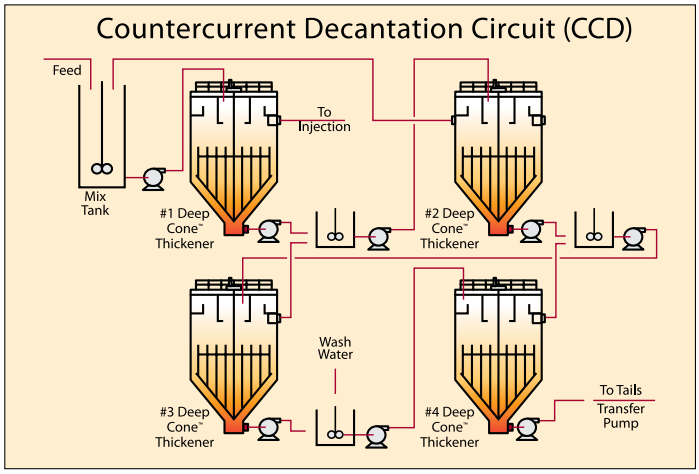
EIMCO Deep Cone Paste Thickeners are designed to maintain a deep bed of settled solids and maximize gravity compression, achieving discharge solids concentrations that can approach the limits of flowability. Improved water recovery reduces both the volumetric loading on disposal facilities and demand on raw water make up. The ability to control tailings rheology opens up novel disposal options that include underground paste backfill and numerous engineered surface disposal bed alternatives. FLSmidth offers complete tailings disposal systems tailored to any specific set of process and regulatory requirements.

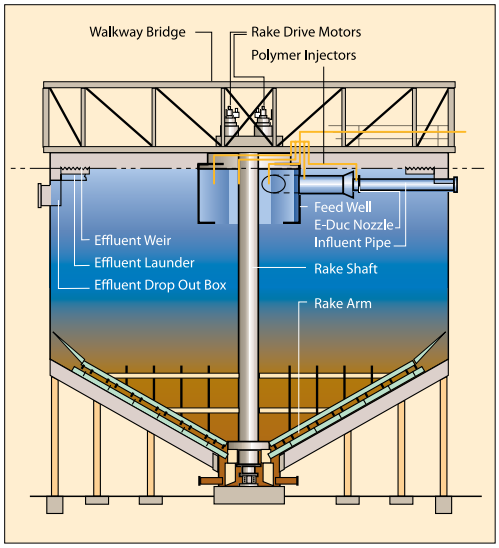
System Capabilities

Transportation of the underflow and deposition at the disposal site are major concerns when designing a new paste plant. FLSmidth can offer integrated solutions to implement this technology including complete turnkey packages with all peripheral equipment and services required to supply a functioning plant. These services include site, mechanical, civil and electrical engineering, P&ID, instruments and controls, tankage, interconnecting piping, equipment supply, construction, construction management, start up assistance and operator training.









EIMCO® Deep Cone® Paste Thickener

www.flsmidth.com

Revision 10/05/2010 bir-us

Photo used with permission of Rio Tinto Alcan

EIMCO Deep Cone Paste Thickeners produce underflow solids with a paste consistency and the highest solids concentration of any thickener on the market. Paste is a non-segregating liquid/solid mixture with a yield stress and slump. The benefits of producing paste are considerable.

- Maximum liquid recovery for water conservation
- Disposal by stacking not ponds
- Total tails backfill disposal
- Minimum installed thickener area
- Minimum disposal volume
- Transportable by pumps
- Minimum liquid expressed after deposition
- Highest CCD washing efficiency
- Minimum pipe plugging problems during shutdowns and upsets

Further Information

FLSmidth is the recognized leader in this important revolution in sedimentation technology. We also offer worldwide sales and service support; global reach, backed by local expertise. FLSmidth's full equipment life-cycle support before, during, and after delivery make the EIMCO Deep Cone Paste Thickener an attractive choice. To find out how Deep Cone Paste Thickeners can help you, please contact your local FLSmidth sales representative.

Minerals Processing Technology Center
FLSmidth Salt Lake City, Inc.
7158 S. FLSmidth Drive
Midvale, UT 84047-5559
USA
Tel: +1 801 871 7000
Fax: +1 801 871 7001
Email: info.slc@flsmidth.com

Copyright ©2010 FLSmidth A/S. ALL RIGHTS RESERVED. FLSmidth is a (registered) trademark of FLSmidth A/S. RTA settler-washer technology presented with authorization of Rio Tinto Alcan This brochure makes no offers, representations or warranties (express or implied), and information and data contained in this brochure are for general reference only and may change at any time.

FLSmidth

PASTE THICKENING IRON ORE TAILINGS

Steve Slottee[1]
Jerold Johnson[2]
Mark Crozier[3]

Summary: Paste thickening technology is rapidly emerging as an effective method for handling tailings for water recovery and as an alternative to conventional dams and ponds. This paper describes the principles of design and general operating characteristics of the paste thickener. A tailings paste is a non-settling suspension of relatively high solids content with a non-Newtonian rheology. These characteristics offer the advantages of increased water recovery and surface disposal of tailings. A pilot scale paste thickener thickened iron ore tailings to underflow solids ranging from 55 to 80 wt%. Deposition tests produced non-settling tailings with slopes ranging from 2 % to 8%. An integrated approach is to process design was used in the pilot testing to match the performance of the thickener, pumping system, and application on a common rheological basis.

Keywords: paste, tailings, stacking

XXXV Ironmaking and Raw Materials Seminar, VI Brazilian Symposium on Iron Ore, Aug 30 to Sept 2, 2005, Florianópolis – Santa Catarina - Brazil

[1] Partner, PasteThick Associates
[2] Partner, PasteThick Associates
[3] Partner, PasteThick Associates

Introduction

The use of a thickener, without filtration, to produce a non-settling paste (also called thickened tailings) with non-Newtonian rheology has been practiced in Australia for many years for red mud disposal. The application of paste thickening technology outside of alumina is relatively new. Interest and installations in paste thickening are rapidly growing. Water shortages and environmental pressures make consideration of thickening tailings to solids concentrations within the paste range necessary in most new tailings projects. The paste thickeners at the DeBeers CTP plant in Kimberley, South Africa are an example of paste tailings disposal on the surface, also called “stacking” (Houman, 2003). This paper describes the principles of design and general operating characteristics of the paste thickener. The application and operating performance of paste thickeners in surface disposal is discussed using iron ore tailings, as produced in a one meter paste thickener pilot plant, as an example.

Nature of Paste Suspensions

The commonly used term “paste” is a suspension of solids characterized by relatively non-settling, non-segregating particles at high concentration as compared to settling slurries. Paste is generally described as a Bingham plastic, characterized by a yield stress, which is measured in units of pressure and is related to the force required to make a paste flow. The shape exhibited by a paste that is not flowing is a result of the presence of a yield stress. Yield stress can be measured directly with a laboratory viscometer. The yield stress curve is correlation of yield stress with solids concentration, as shown in Figure 1.

Slump, measured in units of distance, is an indirect measurement of yield stress. As shown in Figure 2, a cylinder is filled with sample, the cylinder is manually lifted, and the distance the paste sample “slumps” is measured. Slump and yield stress have an inverse relationship.

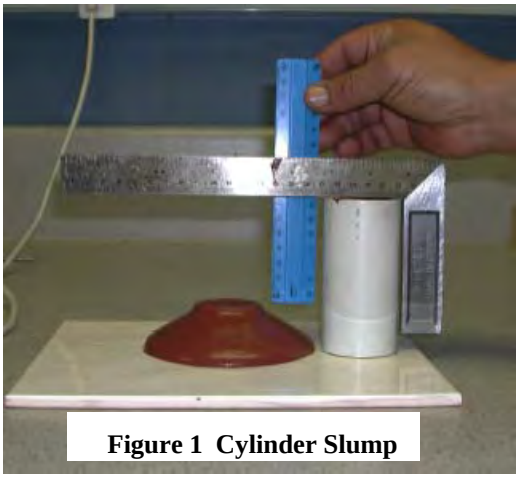


Figure 1 Cylinder Slump

Figure 2 Yield Stress Curve

The yield stress and non-settling nature of paste is produced from naturally occurring clays, silts, and fine sands. The solids content for a given yield stress is determined by the specific gravity and particle size distribution of the solids. Rheological and transport characteristics of paste are mainly dependent on the content of fine

particles (less than 20 micron) as shown in Figure 3. The rheological character of paste is a result of the interaction of solid particles of different diameters and volumes making percent volume an appropriate way to characterize solid concentrations. However, industry convention is to use weight percent. In these terms paste concentrations can be as high as 75-85 wt% for base metal tailings depending on particle size and solids specific gravity.

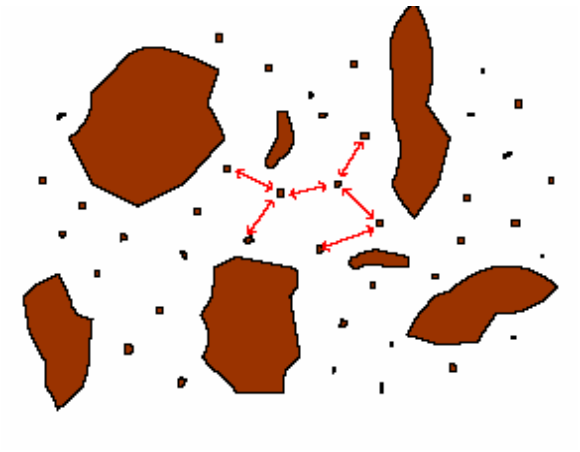


Figure 3 Fine Particles Interact Producing Paste Properties

The high viscosity of pastes makes pipeline design critical. Pastes are generally pseudoplastic where the viscosity decreases with shearing such as in pumping and pipe line flow. The yield stress of paste produced by a thickener, for example, may be higher than the yield stress at the end of the pipeline delivering the paste to the stack. More detailed descriptions of a paste can be found in sources such as Boger (1999) and Robinsky (1978) and for pipeline design, Paterson (2003).

Paste Thickener Design

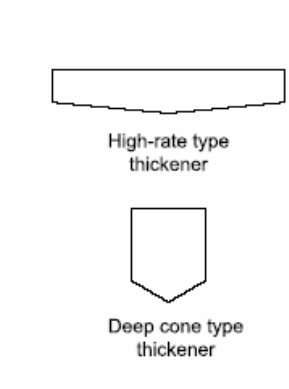


Figure 4 High-rate and Deep-cone Comparison

The concept of deep cone thickening was developed in the 1960 and 70s in the British coal industry (Abbott, 1973). Over the years the deep cone thickening idea has been combined with modern day flocculation techniques, feedwell design, and improvements on the design of the tank, rake and underflow discharge system to produce the modern deep cone type paste thickener. This thickener is characterized by a height to diameter ratio typically greater than one to one with unit areas (m^2/tph) several times smaller than for conventional and high-rate thickeners (Figure 4). The mud bed height in a deep bed thickener is much higher (several meters) than the level in a high rate thickener which more than compensates for the effect of smaller area on underflow solids concentration. The combination of the high aspect ratio and steep cone angle also facilitates the discharge of paste underflows.

Understanding yield stress is a key parameter in paste thickener design. Under gravity a tailings paste will flow to a point dictated by the yield stress and stop. The paste must move through the thickener and be delivered to the pumping system for transportation to the application point. With proper interpretation the operating range of a paste thickener can be located on the yield stress curve revealing the maximum underflow paste solids concentration and the minimum concentration below which the suspension will be settling slurry.

Bed depth distinguishes paste thickeners from other types of thickeners. Bed depths in a deep cone type paste thickener may be 10m or higher, creating compression forces which drive up the underflow solids concentration. Because of these depths, the concept of unit area, m^2/tph has little meaning for a deep cone style paste thickener. For a given diameter and tonnage throughput, a paste thickener may have a wide range of bed depths, producing a similarly wide range of underflow densities. Because of the understanding required for relating paste rheology, bed depth, and thickener design to paste production, the number of producers of this style of thickener is limited and currently includes GL&V, Outokumpu, and WesTech.

Advantages of Producing Paste as an Alternative to Conventional Disposal

Tailings slurries are most commonly disposed in an impoundment. The financial, environmental, safety and reclamation problems with tailings dams in general and coal tailings impoundments in particular are discussed in the literature in by several sources such as Hart (2004).

Surface stacking is the disposal of tailings as a paste (commonly referred to as "thickened tailings") on the surface of the ground, as a non-settling, non-segregating suspension of solids with minimal water release. There are various methods of accomplishing the stacking depending on the topography of the disposal site and the rheology of the paste. For slopes up to 5%, paste thickeners can be used.

Figure 5 shows how a paste thickener is used to produce the disposal stack. The paste thickener's underflow concentration must meet the requirements of the disposal site (stack slope) and still allow the paste to be pumped out of the thickener. Depending on the distance from the thickener to the disposal site, centrifugal or positive displacement pumps are used for transporting the tailings.

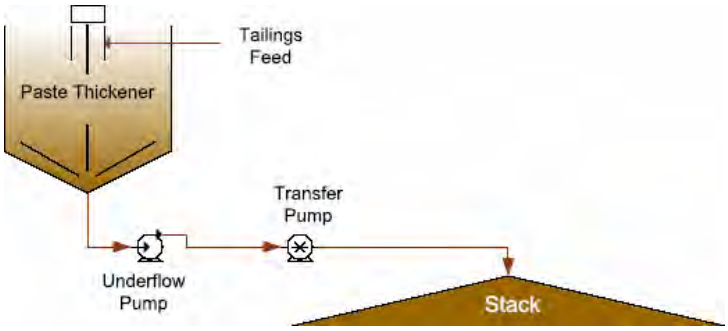


Figure 5 Paste Thickener Flowsheet for Stacking

Stacking as a method of tailings disposal, offers significant advantages over ponding. The most obvious benefit is the smaller impoundment area. In addition, there is less water in the pond, improved water or chemical recovery, a lower risk of containment breach, less groundwater contamination and easier final reclamation of the site.

Pilot-scale Paste Thickener Tests on Iron Ore Tailings

A pilot scale study for the thickening of iron ore tailings was conducted. The focus of the study was paste thickener sizing tests, generation of sample for pumping and deposition tests. The objectives of the pilot plant phase were selected and executed by the team of the customer, geotech, pipeline designer, and process designer

(PasteThick Associates). It is important to ensure the thickener, pump and pipeline and deposition are designed on a common set of rheological data (Johnson, 2004).

The Pilot Paste Thickener

A 1 m diameter, 4 m high pilot scale paste thickener (supplied by WesTech Engineering) was used, as shown in Figure 6. The feed stream was fed to the paste thickener by a peristaltic pump.

Figure 6 One Meter Pilot Paste Thickener

The pilot plant was operated under various conditions to evaluate design parameters of the paste thickener, including: feed characteristics (particle size distribution, ore-type, percent solids, etc.), mud residence time and depth, and flocculant dose. The test results were used to select operating conditions to produce the paste underflow for the deposition and pumping studies. Rheological analysis on the underflows was conducted using a VT550 Haake vane viscometer.

Pilot Plant Feed Characteristics

The particle size distributions tested were characterized by a D_{50} of 10 microns or less. The coarse fraction varied during the tests. Figure 7 shows the range of particle size distributions tested.

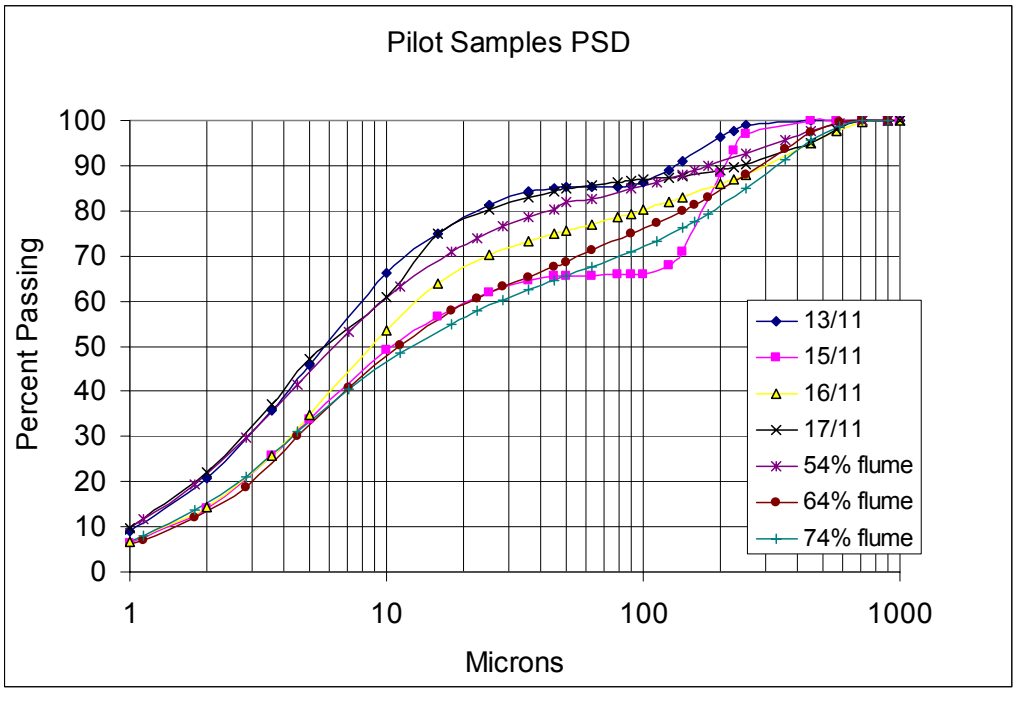


Figure 7 Pilot Plant Feed Particle Size

Test Results

Figure 8 Paste From Pilot Plant

The various test parameters (feed type, flocculant dose, etc) were evaluated under conditions designed to produce high and low and high yield stress paste. Figure 8 is an example of underflow (70% -20 µm, 10% +200 µm) of approximately 80 wt% solids with a yield stress is in excess of 400 Pa.

The variability of the tailings feed for this application is illustrated in Figure 9 where the yield stress curves for three underflow samples are compared. These samples were collected on different days and process plant operations. For these tests the differences are attributed to thickener feed variations in particle size distribution, although tailings mineralization can also be a factor.

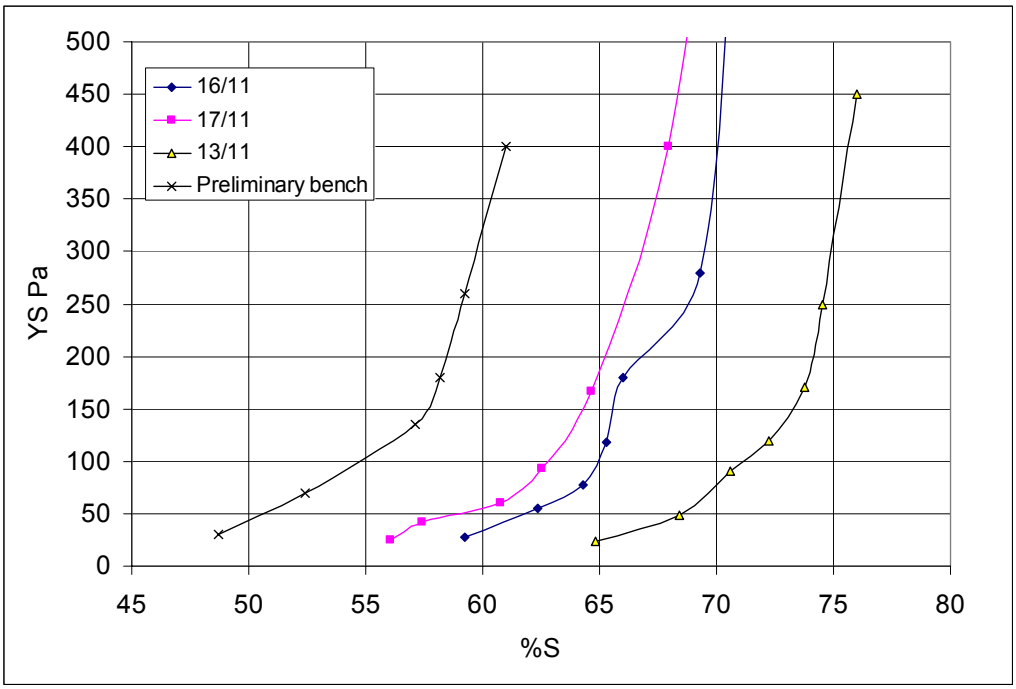


Figure 9 Yield Stress vs. Weight Percent Solids for Pilot Plant Underflow

Deposition and Pumping Studies

Pilot plant operating conditions were selected to consistently produce underflow for each of three deposition tests. The deposition tests were designed to evaluate surface stacking as well as backfilling abandoned pits. A wide range of underflow rheology was tested to provide the data base to consider several deposition methods and sites.

Three troughs, approximately 2 m wide, 0.75 m deep and about 4 m long, were dug in the ground near the paste pilot plant. Three underflow densities were selected over a wide range of rheological properties;

1. A low yield stress paste (approx. 1.6 kg/l or 50 % solids),
2. A mid-range yield stress paste (approx. 1.85 kg/l or 60% solids), and
3. A high yield stress paste (approx. 2.13 kg/l or 70 % solids).

Once the pilot plant was consistently producing paste at the desired density a trough was filled. The height of the paste was measured using with graduated rods placed in the trough at about one meter intervals along the centerline. Heights were measured at deposition and after 24 hours of drying. Figure 10 shows the 24-hour deposition data for the three underflow densities. The yield stress was measured in the field using the cylinder slumps.

The deposition slopes were: “20 Pa yield stress”, 2% to 3 %; “55 Pa yield stress” 5% to 6 %, “280 Pa yield stress”, 8 % (over the last half of the deposit). Table 1 characterizes the paste used in each of the depositions.

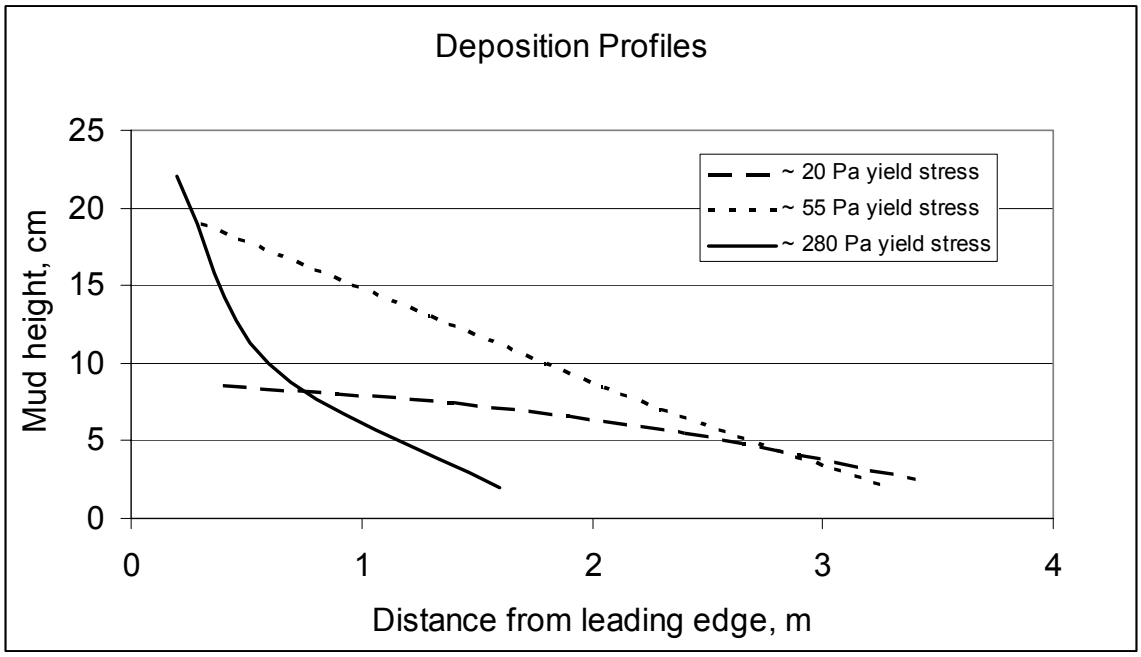


Figure 10 24-hour Deposition Height Profiles

Yield Stress (approximate)		20 Pa	55 Pa	280 Pa
Slope % (last half of deposit)		2-3 %	5-6 %	8 %
Density, kg/l		1.68	1.90	2.26
Solids Content, wt%		54.0	63.3	73.7
Particle Size, microns	D_{50}	6	10	10.2
	D_{80}	40	150	195

Table 1 Characterization of Paste Used for Deposition Tests

Particle size distributions differed (a result of changing pilot plant feed conditions) which does not allow direct comparison between the deposition tests based on

underflow density. Each test must be viewed as a single point for the given particle size distribution and yield stress. Variations feed characteristics in pilot testing are a common problem and it is important to reference test results to particle size distribution, in particular.

As part of the deposition test series underflow samples were collected and tested by a consultant for pipeline design and pump specification. A “systems” approach, which associates the thickener, deposition, and pumping tests to the same sample (and sample rheology) is important to the efficient and accurate design of paste systems.

Conclusions

Paste thickening technology is rapidly emerging as an effective method for handling tailings for water recovery and an alternative to conventional dams and ponds.

Pilot scale paste thickener tests on iron ore tailings produced underflow solids ranging from 55 to 80 wt% depending on the particle size distribution of the solids and thickener operating conditions. Deposition tests produced non-settling tailings with slopes ranging from 2 % to 8%.

An integrated approach is to process design was used in the pilot testing to match the performance of the thickener, pumping system, and application on a common rheological basis. This approach is important to ensure that none of these steps prevents achieving process performance targets.

References

Abbott (1973) J. Abbott et. al., “Coal preparation plant effluent disposal by means of deep cone thickeners”, 6th International coal preparations congress, Paris, Oct 1973.

Boger (1999) D.V. Boger, “Rheology and the Minerals Industry”, Min. Proc. Ext. Met. Rev., Vol 20, Overseas Publishers Association, 1999.

Hart (2004) B. Hart, D.V. Boger, “Tailings Waste Minimization, Rheology, and the Triple Bottom Line”, Paste 2005, Chile, April 20-22, 2005

Houman, J., Johnson, G. (2003) “Commissioning and Operation of the Paste Thickening Farm at Kimberley Combined Treatment Plant”, International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Melbourne, 2003.

Johnson (2004) J.L. Johnson and J. Stephen Slottee, “Paste technology: Success is in the approach”. Tailings and Mine Waste ’04, Vail, October 2004

Paterson (2003) A. Paterson, “The Hydraulic Design of Paste Transport Systems”, International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Melbourne, 2003.

Robinsky (1978) E.I. Robinsky, “Tailings Disposal by the Thickened Discharge Method for Improved Economy and Environmental Control”, Proceedings 2nd International Tailings Symposium, 1978.

Annexe 6

Détermination des concentrations en cyanures dans les solutions de procédés

Source : Metrohm

Méthode d'analyse par titrage potentiométrique

Metrohm No. 46/2 f

Application Bulletin

D'intérêt pour: Protection de l'environnement; Traitements de surface A 1, 2, 10

Détermination potentiométrique du cyanure

Résumé

La détermination du cyanure est d'une grande importance dans les bains galvaniques et lors de la décontamination des eaux usées mais, à cause de la forte toxicité de ce dernier, aussi dans les eaux en général. Une concentration de l'ordre de 0,05 mg/L CN^- peut déjà être mortelle pour les poissons.

Ce bulletin décrit la détermination du cyanure dans des échantillons de diverses concentrations par titrage potentiométrique.

Réactions chimiques:

$2\ CN^- + Ag^+ \rightarrow [Ag(CN)_2]^-$

$[Ag(CN)_2]^- + Ag^+ \rightarrow 2\ AgCN$

Appareils et accessoires

- Titrino SET/MET 702, Titrino DMS 716, Titrino GP 736, Titrino GPD 751 ou Titrino DMP 785 ou
  Titroprocesseur 726 avec Dosino 700 ou Dosimate 685
- Agitateur magnétique 2.728.0040
- Unités interchangeables 6.3014.223 et/ou 6.3014.213
- Titrode Ag 6.0430.100 recouverte d'Ag_2S avec câble d'électrode 6.2104.020

Réactifs

- Réactif de titrage c($AgNO_3$) = 0,1 mol/L ... 0,0002 mol/L
- Soude caustique c(NaOH) = 1 mol/L
- Réactifs chimiques pour digestion: voir sous «3. Traces de cyanure dans les eaux après préparation de l'échantillon»

Analyse

1. Bains galvaniques (concentrations de cyanure élevées): bains alcalins pour Ag, Cd, Cu, Pb, Zn etc.

Placer environ 50 mL d'eau distillée ainsi que 5 mL de c(NaOH) = 1 mol/L dans un bécher en verre. Ajouter 2,0 mL de l'échantillon de bain et titrer avec c($AgNO_3$) = 0,1 mol/L au-delà du premier point d'équivalence.

Calcul

1 mL de c($AgNO_3$) = 0,1 mol/L correspond à 2,6018 mg CN^- ou 6,5116 mg KCN ou 4,9007 mg NaCN

g/L cyanure = EP1 * C01 / C00

EP1 = consommation du réactif de titrage jusqu'au premier EP en mL
C00 = 2,0 (volume d'échantillon en mL)
C01 = 2,6018 ou 6,5116 ou 4,9007 (poids équivalent de CN^- ou KCN ou NaCN en mg/mL)

2. Eaux usées pour décontamination (1 ... 100 mg/L CN^-)

Placer 5 mL de c(NaOH) = 1 mol/L dans un bécher en verre. Ajouter 10 ... 100 mL de la solution d'échantillon (dépendant de la concentration de CN^- attendue) et titrer avec c($AgNO_3$) = 0,01 mol/L au-delà du premier point d'équivalence.

Calcul

1 mL de c($AgNO_3$) = 0,01 mol/L correspond à 0,2602 mg CN^-

mg/L CN^- = EP1 * C01 * C02 / C00

EP1 = consommation du réactif de titrage jusqu'au premier EP en mL
C00 = 10 ... 100 (volume d'échantillon en mL)
C02 = 0,2602 (poids équivalent de CN^- en mg/mL)
C03 = 1000 (facteur de conversion en mL/L)

3. Traces de cyanure dans les eaux après préparation de l'échantillon

La décomposition et la séparation des cyanures sont effectuées selon DIN 38405 D13/D14).

On fait une différence entre les cyanures volatiles et la teneur totale en cyanure.

Appareil pour la décomposition et séparation des cyanures

L'appareil est composé d'une bouteille de lavage, d'un ballon rond à trois cols, d'un condenseur et d'un vase d'absorption (voir fig. 1).

3.1 Détermination des cyanures volatiles

Ces derniers sont libérés de l'échantillon sous forme d'HCN à température ambiante et une valeur pH d'environ 4 à l'aide d'un courant d'air et absorbés dans de la soude caustique.

Réactifs

- Soude caustique c(NaOH) = 1 mol/L (pour le vase d'absorption et la bouteille de lavage)
- Acide chlorhydrique c(HCl) = 1 mol/L
- Solution de $ZnSO_4/CdSO_4$:
  Dissoudre 100 g de $ZnSO_4$ * 7 H_2O ainsi que 100 g de $CdSO_4$ * 8 H_2O dans de l'eau distillée et compléter à 1 L.

- Solution d'EDTA:
  Dissoudre en chauffant 100 g de Na_2EDTA * 2 H_2O dans 940 mL d'eau distillée.
- Solution tampon pH = 4,0:
  Dissoudre en chauffant 80 g d'hydrogénophtalate de potassium dans 920 mL d'eau distillée.
- Poudre de zinc, p.a.

Séparation des cyanures volatiles

Placer 10 mL de c(NaOH) = 1 mol/L dans le vase d'absorption et le monter directement sur le ballon à trois cols, puis connecter au système d'aspiration. A l'aide de l'entonnoir de remplissage, ajouter 10 mL de la solution d'EDTA, 10 mL de la solution de $ZnSO_4/CdSO_4$, 50 mL de la solution tampon pH = 4 ainsi que 100 mL de l'échantillon d'eau, puis mélanger. Si nécessaire, ajuster la valeur pH du mélange à 3,9 $\pm$ 0,1 en ajoutant goutte à goutte c(HCl) = 1 mol/L ou c(NaOH) = 1 mol/L à l'aide de l'entonnoir de remplissage. Puis on ajoute encore 0,3 g de poudre de zinc par le col du ballon situé sur le côté et on ferme de nouveau. La bouteille de lavage contenant environ 100 mL de c(NaOH) = 1 mol/L est connectée et la pompe d'aspiration est activée. Régler le débit d'air à 60 L/h et aspirer pendant 4 h.

Pour les eaux contenant moins de 0,1 mg/L de CN^-, utiliser un volume d'échantillon de 200 mL. Dans ce cas-là, les additions de solution d'EDTA, de solution de $ZnSO_4/CdSO_4$ et de solution tampon doivent aussi être doublées.

Il est nécessaire de déterminer la valeur à blanc des réactifs utilisés. Pour ce faire, utiliser 100 mL d'eau distillée à la place de l'échantillon. La détermination à blanc doit être répétée, lorsque des réactifs nouveaux sont employés.

Analyse

Le contenu du vase d'absorption est rincé dans un bécher en verre à l'aide d'environ 20 mL d'eau distillée.

En cas de concentrations de CN^- de l'ordre de 0,2 à 10 mg/L, on titre avec c($AgNO_3$) = 0,002 mol/L, en cas de concentrations de CN^- de l'ordre de 0,01 à 0,5 mg/L, on titre avec c($AgNO_3$) = 0,0002 mol/L utilisant les paramètres suivants:

densité pt.mes.	6
incrément mini.	10.0 µL
débit titr.	max.
dérive du sig.	20.0 mV/min
temps d'attente	20 s
pause	60 s
critère d'EP	20

Pour conditionner l'électrode, celle-ci est placée avant la première analyse pendant 20 min dans de la soude caustique d'une concentration de c(NaOH) = 0,4 mol/L, contenant en plus 0,3 mg/L de CN^-.

Calcul

1 mL de c($AgNO_3$) = 0,002 mol/L correspond à 0,052 mg CN^-
1 mL de c($AgNO_3$) = 0,0002 mol/L correspond à 0,0052 mg CN^-

mg/L CN^- = (EP1 – C31) * C01 * C02 * C30 / C00

EP1 = consommation du réactif de titrage en mL
C00 = 100 ... 200 (volume d'échantillon en mL)
C01 = 0,052 ou 0,0052 (poids équivalent de CN^- en mg/mL)

C02 = 1000 (facteur de conversion en mL/L)
C30 = titre du réactif de titrage
C31 = consommation du réactif de titrage lors de la détermination à blanc en mL

Remarques

- Le titre du réactif de titrage est déterminé avec 0,1 mg [si l'on utilise c($AgNO_3$) = 0,002 mol/L] ou 0,05 mg du standard CN^- [si l'on utilise c($AgNO_3$) = 0,0002 mol/L] dans 30 mL de c(NaOH) = 0,4 mol/L:
  titre = 1,923 / EP1 ou titre = 9,615 / EP1
- Lors de concentrations de CN^- faibles, il est possible que l'électrode répond lentement au début. C'est la raison pour laquelle une pause de 60 s est programmée sur le titreur.

3.2 Détermination de la teneur totale en cyanure

Les composés cyanure sont décomposés à l'aide d'HCl à température d'ébullition, en présence d'ions Cu(I). L'HCN formé est expulsé à l'aide d'un courant d'air et absorbé dans de la soude caustique.

Réactifs

- Soude caustique c(NaOH) = 1 mol/L (pour le vase d'absorption et la bouteille de lavage)
- Acide chlorhydrique concentré w(HCl) = 35 ... 37%
- Solution de $CuSO_4$:
  Dissoudre 200 g de $CuSO_4 * 5 H_2O$ dans de l'eau distillée et compléter à 1 L.
- Solution de Sn(II):
  Dissoudre 50 g de $SnCl_2 * 2 H_2O$ ainsi que 40 mL de c(HCl) = 1 mol/L dans de l'eau distillée et compléter à 100 mL. La solution est stable pour environ une semaine.

Décomposition et séparation du cyanure total

Placer 10 mL de c(NaOH) = 1 mol/L dans le vase d'absorption et le monter sur le condenseur à refluement, puis connecter au système d'aspiration. A l'aide de l'entonnoir de remplissage, ajouter dans l'ordre suivant: environ 30 mL d'eau distillée, 10 mL de la solution de $CuSO_4$, 2 mL de la solution de Sn(II) ainsi que 100 mL de l'échantillon d'eau. Après l'addition de 10 mL d'HCl concentré, connecter la bouteille de lavage contenant environ 100 mL de c(NaOH) = 1 mol/L à l'entonnoir de remplissage et chauffer le contenu du ballon à ébullition. Le débit d'air est réglé à environ 20 L/h; le refluement doit être de l'ordre d'environ 1 ... 2 gouttes/s. Après 1 h, la décomposition est terminée.

Pour les eaux contenant moins de 0,1 mg/L de CN^-, utiliser un volume d'échantillon de 200 mL. Dans ce cas-là, les additions de solution de $CdSO_4$, de solution de Sn(II) et d'HCl concentré doivent aussi être doublées.

Il est nécessaire de déterminer la valeur à blanc des réactifs utilisés. Pour ce faire, utiliser 100 mL d'eau distillée à la place de l'échantillon. La détermination à blanc doit être répétée, lorsque des réactifs nouveaux sont employés.

Analyse

Le contenu du vase d'absorption est rincé dans un bécher en verre à l'aide d'environ 20 mL d'eau distillée. L'analyse est ensuite effectuée comme indiqué auparavant sous «3.1 Détermination des cyanures volatiles».

Figures

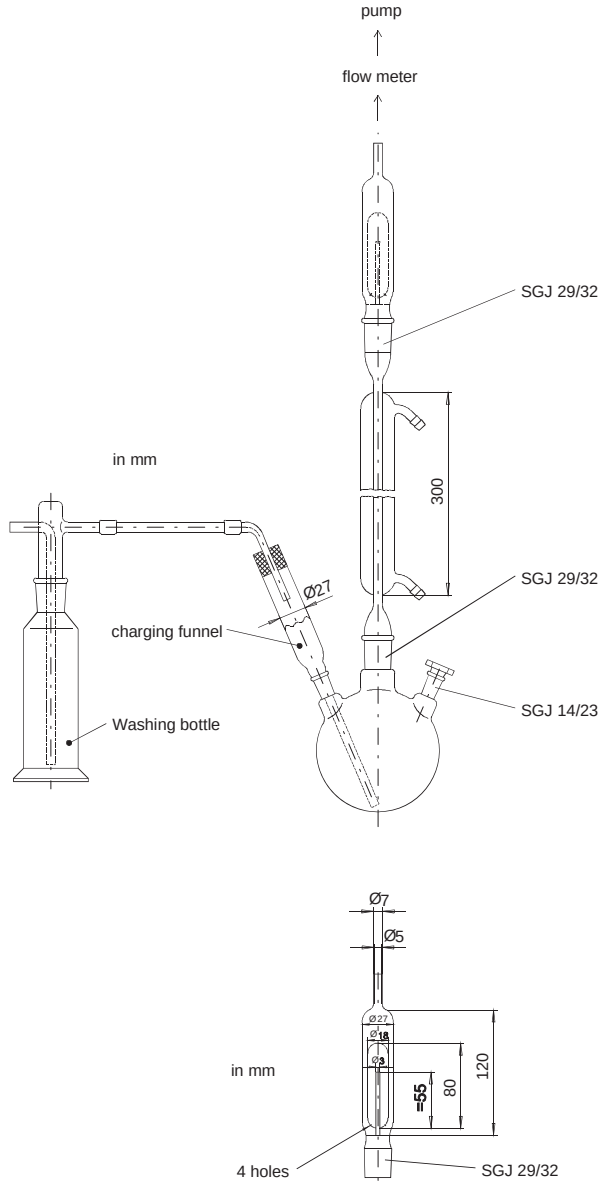


Fig. 1: *Appareil pour la décomposition et séparation des cyanures.*

```
 'pa
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-16    time  11:07        5
DET  U             ********
parameters
>titration parameters
  meas.pt.density           4
  min.incr.              10.0 µl
  dos.rate               max. ml/min
  signal drift             50 mV/min
  equilibr.time            26 s
  start V:                 OFF
  pause                     0 s
  meas.input:               1
  temperature            25.0 °C
>stop conditions
  stop V:                abs.
  stop V                    3 ml
  stop U                   OFF mV
  stop EP                   9
  filling rate           max. ml/min
>statistics
  status:                  OFF
>evaluation
  EPC                       30
  EP recognition:          all
  fix EP1 at U             OFF mV
  pK/HNP:                  OFF
>preselections
  req.ident:               OFF
  req.smpl size:           OFF
  limit smpl size:         OFF
  activate pulse:          OFF
      -----------
```

Fig. 2: *Réglage des paramètres au Titrino DMP 785 pour la détermination du cyanure dans l'eau usée avant la décontamination.*

```
 'fr
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-16    time  13:29        6
card label:Appl.751
U(init)          177 mV DET U    ********
smpl size         10 ml
EP1           1.906 ml            -182 mV
Cyanid        49.59 mg/L
stop V reached
          ============


 'cu
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-16    time  13:29        6
start V      0.000 ml  DET U    ********
1.0 ml/div      dU=200.0 mV/div
```

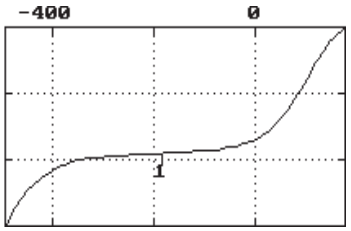


Fig. 3: *Bloc des résultats et courbe de titrage.*


```
 'pa
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-19    time  15:03        9
DET  U             ********
parameters
>titration parameters
  meas.pt.density           6
  min.incr.              10.0 µl
  dos.rate               max. ml/min
  signal drift           20.0 mV/min
  equilibr.time            20 s
  start V:                 OFF
  pause                    60 s
  meas.input:               1
  temperature            25.0 °C
>stop conditions
  stop V:                abs.
  stop V                    3 ml
  stop U                   OFF mV
  stop EP                   9
  filling rate           max. ml/min
>statistics
  status:                  OFF
>evaluation
  EPC                       73
  EP recognition:          all
  fix EP1 at U             OFF mV
  pK/HNP:                  OFF
>preselections
  req.ident:               OFF
  req.smpl size:           OFF
  limit smpl size:         OFF
  activate pulse:          OFF
      -----------
```

Fig. 4: *Réglage des paramètres au Titrino DMP 785 pour la détermination du cyanure dans l'eau de surface après décomposition selon DIN 38405 partie 14.*

```
 'fr
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-19    time  14:30        9
card label:Appl.751
U(init)           48 mV DET U    ********
smpl size        100 ml
EP1           1.208 ml            -225 mV
CN-            0.63 mg/L
stop V reached
          -----------


 'cu
785 DMP Titrino         02287   785.0010
date  1999-07-19    time  14:30        9
start V      0.000 ml  DET U    ********
2.0 ml/div      dU=100.0 mV/div
```

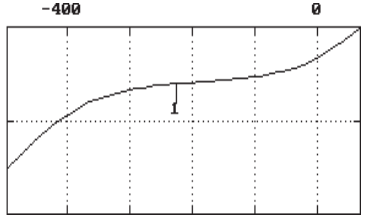


Fig. 5: *Bloc des résultats et courbe de titrage.*

Littérature

- Metrohm Application Note T-22
  Cyanide in alkaline plating baths for cadmium, copper, lead or zinc
  Metrohm SA, Herisau.
- DIN 38405, partie 13
  Anionen (Gruppe D). Bestimmung von Cyaniden.
- DIN 38405, partie 14
  Anionen (Gruppe D). Bestimmung von Cyaniden in Trinkwasser, gering belastetem Grund- und Oberflächenwasser.

Appareillages de mesure en laboratoire

915 KF Ti-Touch / 916 Ti-Touch

Compact titrator for routine analysis

Metrohm

Technical specifications

	916 Ti-Touch	915 KF Ti-Touch
Intelligent Exchange Unit/Dosing Unit with integral Data Chip	Max. 2 x 800 Dosino or 2 x 805 Dosimat	
Dosing steps per cylinder volume (resolution)	800 Dosino: 10'000 Pulse 805 Dosimat: 20'000 Pulse	
Operation, dialogue	Touch Control	Touch Control
Stirrers, titration stand	Incl. 802 Rod Stirrer Additionally 1 x 801 Magnetic Stirrer or 1 x 802 Rod Stirrer or 1 x 803 KF Titration Stand	Integral Magnetic Stirrer Additionally 1 x 801 Magnetic Stirrer or 1 x 802 Rod Stirrer or 1 x 803 KF Titration Stand
Integral membrane pump	–	yes
Attachment of Dosimats, Dosinos, Stirrers	2 MSB-Ports (Metrohm Serial Bus, Daisy Chain)	
Attachment of Sample Changer	1 Sample Changer via USB	
Attachment of balances, printer, PC, PC keyboard, barcode reader	Via USB Slave Port, USB/RS-232 Converter (optional)	
Generation of forge-proof PDF reports without PC	yes	
USB stick for saving methods, results und PDF reports	yes	
Ethernet access to connect to a local network for data archiving or printing on a network printer	yes	
Temperature sensor	Pt1000 or NTC	
«iTrodes» – intelligente electrodes	yes	–
GLP compliant electrode test	yes	–
I_{pol} and U_{pol} – integral programmable polarizer	yes	
Real-time curve on the Touch Control (90 mm x 120 mm, high-res display)	yes	
DET Dynamic Equivalence-point Titration	yes	–
MET Monotonic Equivalence-point Titration	yes	–
SET Titration to a preset endpoint with automatic conditioning	yes	–
MAT Manual Titration	yes	–
KF Volumetric Karl Fischer titration with automatic conditioning	–	yes
MEAS Measuring mode for pH, U/mV, T/°C	yes	–
CAL Calibration with automatic buffer recognition	yes	–
MEAS Measuring mode for I_{pol} and U_{pol}, T/°C	–	yes
Method and sample data memory, result memory data base	yes	
Dialog languages: English, German, Spanish, French, Chinese	yes	
Favorites for quick method access (One Touch Titration)	14 (per user)	

Ti-Touch – finally, titration reduced to the max!

«Reduce to the max» – this is the principle of the Ti-Touch. The new compact titrator from Metrohm offers simply more than any other stand-alone titrator for routine analysis:

- **Maximum system integration:** buret, stirrer, and touch control module in a single unit.
- **Maximum data security plus network integration – no need for a PC!**
  - Generate forge-proof PDF reports and save them on a USB stick or in the intranet.
  - Ethernet access: save your methods and results directly in your LIMS or intranet.
  - USB interface: simply connect a printer, USB stick or a barcode reader.
- **Maximum user safety:** no-touch reagent exchange due to patented Dosino technology.
- **Maximum ease of use**: 14 short cuts per user to start favorite methods at a single touch.

916 Ti-Touch – compact titrator for potentiometric titration

The 916 Ti-Touch is the new compact titrator for potentiometric titration. The instrument supports the following titration modes: DET (dynamic equivalence point titration), MET (monotone equivalence point titration), SET (titration to one or two given endpoints) and MAT (manual titration). The new compact titrator comes in the versions 916 Salt Ti-Touch, 916 Oil Ti-Touch and 916 Food Ti-Touch, which are all-inclusive packages containing the titrator plus the complete accessories for the respective applications.

- **Save and print data – without PC**
  USB interface for printer, USB stick or barcode reader.

- **Direct access to intranet and LIMS – without PC**
  Save methods and results directly in your intranet or LIMS.

- **Straightforward automation**
  Up to 100 samples can be determined unattended (with 814/ 815 Sample Processor).

- **Plug-and-play**
  All system components are instantly recognized and ready for use.

- **More efficiency due to 2 MSB ports**
  2 MSB (Metrohm Serial Bus) ports allow the connection of a second titration stand and buret for, e.g. the sequential titration of acidity and chloride.

- **Contact-free Reagent exchange**
  No contact with reagents due to patented 800 Dosino technology.

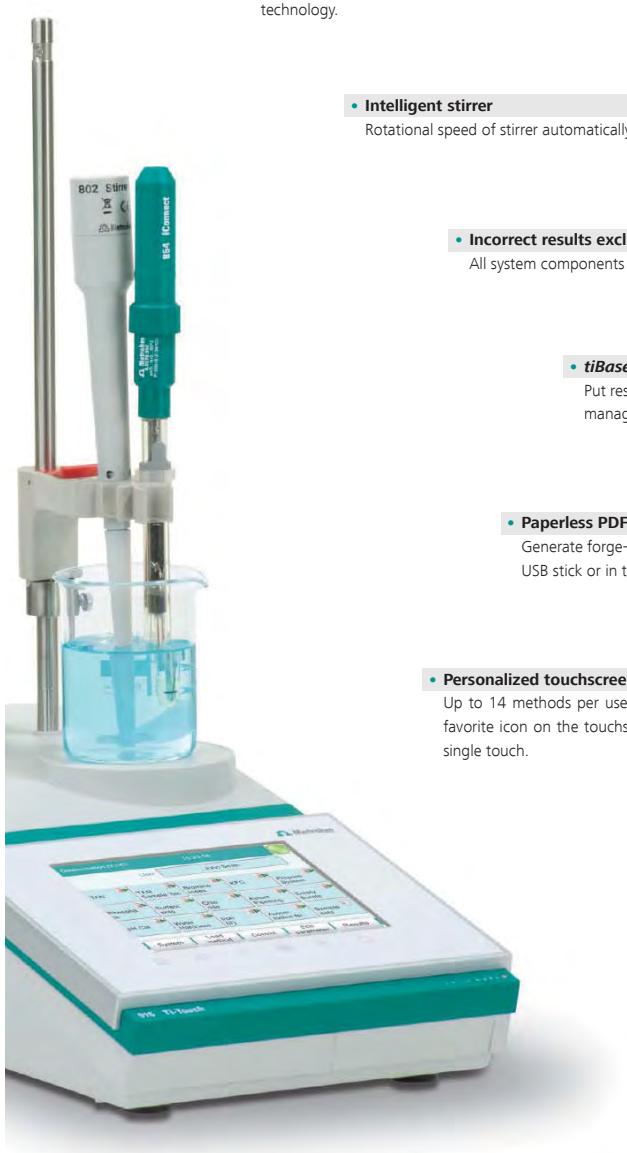
- **Intelligent stirrer**
  Rotational speed of stirrer automatically adapted.

- **Incorrect results excluded**
  All system components and results are monitored.

- ***tiBase* titration database for perfect workflow**
  Put results on a USB stick or in your network and then manage them in ***tiBase***.

- **Paperless PDF reports**
  Generate forge-proof PDF reports and save them on a USB stick or in the intranet.

- **Personalized touchscreen for fast method start**
  Up to 14 methods per user can each be linked to a favorite icon on the touchscreen. Methods start at a single touch.



915 KF Ti-Touch – compact titrator for Karl Fischer titration

The 915 KF Ti-Touch is the Karl Fischer version of Metrohm's new stand-alone titrator for routine analysis. Just as in the 916 Ti-Touch, the buret, stirrer, and touch control module of the 915 KF Ti-Touch are cased in single, compact unit. This is not only handy but saves valuable benchspace.

- **Straightforward automation**
  Straightforward automation of applications with 814 and 815 Sample Processor.

- **Paperless PDF reports**
  Generate forge-proof PDF reports and save them on a USB stick or in the intranet.

- **Save and print data – without PC**
  USB interface for printer, USB stick or barcode reader.

- **Personalized touchscreen for fast method start**
  Up to 14 methods per user can each be linked to a favorite icon on the touchscreen. Methods start at a single touch.

- **Plug-and-play**
  All system components are instantly recognized and ready for use.

- **Direct access to intranet and LIMS – without PC**
  Save methods and results directly in your intranet or LIMS.

- **Contact-free reagent exchange**
  Contact with KF reagents is avoided due to patented 800 Dosino technology.

- **KF icons tell what's going on**
  KF icons on the touchscreen show, if the instrument is still conditioning or if the titration can be started.

- ***tiBase* titration database for perfect workflow**
  Put results on a USB stick or in your network and then manage them in ***tiBase***.

- **«Safety stop» prevents titration cell from overflowing**
  Overflowing of the titration cell during conditioning is prevented in the 915 KF Ti-Touch due to the «safety stop»-feature. If, e.g., the electrode has not been connected correctly or there is moisture in the titration cell, conditioning stops automatically after a short time or after a certain amount of Karl Fischer reagent has been added.

- **Empty and fill titration cell at a push of a button**
  Thanks to the integrated pump the titration cell can be emptied and filled again with fresh solvent at the push of a button.

Ordering information

	All-inclusive packages* 916 Ti-Touch
2.916.2010	916 Salt Ti-Touch All-inclusive package for the argentometric titration of chloride
2.916.3010	916 Oil Ti-Touch All-inclusive package for the non-aqueous acid-base titration of oil products
2.916.4010	916 Food Ti-Touch All-inclusive package for the aqueous acid-base titration in foodstuffs
	All-inclusive package 915 KF Ti-Touch
2.915.0110	915 KF Ti-Touch All-inclusive package** for volumetric KF Titrations
	Optional accessories
2.800.0020	800 Dosino as additional buret for titration or addition of auxiliary solutions
2.805.0010	805 Dosimat as additional buret for titration or addition of auxiliary solutions
6.2061.010	Bottle holder for Dosino | as expansion with second titration stand
2.801.0040	801 Magnetic stirrer cpl. |
6.3026.110	Intelligent exchange unit 1 mL
6.3026.150	Intelligent exchange unit 5 mL
6.3026.210	Intelligent exchange unit 10 mL
6.3026.220	Intelligent exchange unit 20 mL
6.3026.250	Intelligent exchange unit 50 mL
6.3032.120	Intelligent dosing unit 2 mL
6.3032.150	Intelligent dosing unit 5 mL
6.3032.210	Intelligent dosing unit 10 mL
6.3032.220	Intelligent dosing unit 20 mL
6.3032.250	Intelligent dosing unit 50 mL
6.2148.010	Remote Box MSB
6.2148.050	USB/RS-232 Converter
6.2151.030	Cable USB A – USB B /0,6 m

*all-inclusive package contains 800 Dosino, 20 mL Dosing Unit, iConnect, i-Trode, Rod Stirrer, ***tiBase*** Demo version and detailed collection of applications.

all-inclusive package contains 800 Dosino, 10 mL Dosing Unit, electrode, accessories for safe reagent exchange and ***tiBase* Demo version.

Subject to change without prior notice
Layout by Eckhauer+Schoch ASW; printed by Metrohm AG, CH-9100 Herisau, Switzerland
8.916.5002EN – 2012-03

www.metrohm.com

Metrohm

875 ProcessLab

At-line Analyzer for Process Analysis

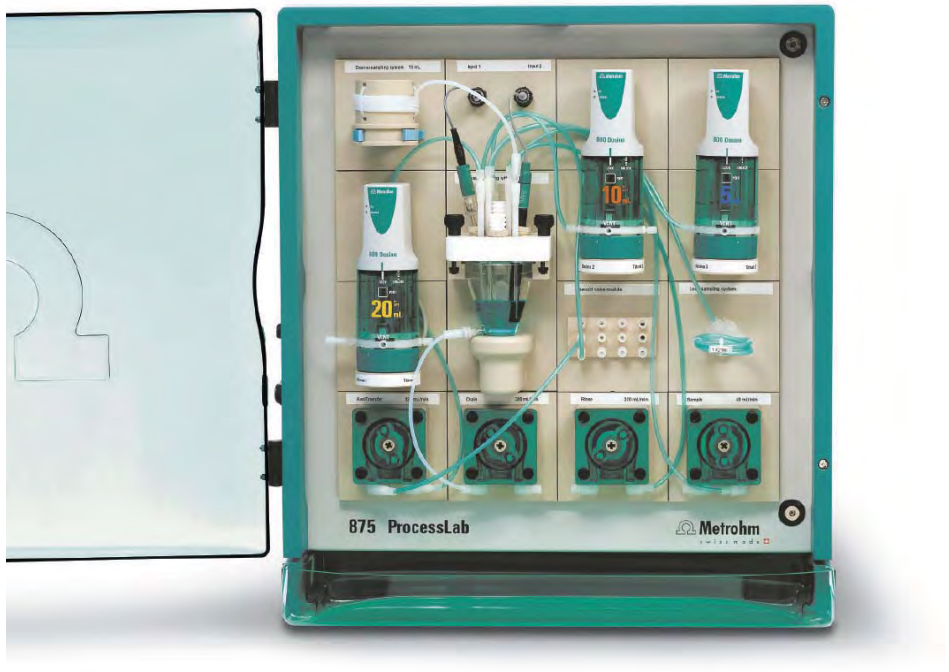
Metrohm

ProcessLab – the innovative solution for routine analysis in production

ProcessLab is a robust analytical system for routine analysis in the plant. Wherever various parameters are to be measured at different measuring points, ProcessLab is the convincing solution. Custom-made to suit your analytical requirements, ProcessLab guarantees reliable analytical results and safe process control. ProcessLab is also easy to use.

The difference between at-line and on-line analysis systems

In an at-line system the sample is taken manually and then fed into the system. In this way different samples from various process stages or units can be easily analyzed on a single system. In contrast, in an on-line system the sample is fed automatically to the analyzer via a bypass. This means that an increased effort is required to cover several baths or measuring points.



ProcessLab means

- Simple operation
- Robust hardware
- Flexibility and modularity
- Networking and process integration
- Efficient ion analysis

ProcessLab is 100% compatible with all other Metrohm laboratory analysis equipment

Fields of application for ProcessLab

Analytical methods

ProcessLab can provide the following analysis and sample preparation techniques:

- Direct measurement of pH, redox potential and conductivity
- Measurements with ion-selective electrodes (ISEs)
- Potentiometric titration
- Karl Fischer titration
- Voltammetry
- Cyclic voltammetry (CVS)
- Photometry at one wavelength or at several wavelengths in parallel
- Liquid handling for sample preparation

In addition to these techniques, instruments from other manufacturers can also be incorporated. This considerably extends the range of measuring methods. For example, the following parameters can be measured with instruments from other manufacturers:

- Temperature
- Density
- Refractive index
- Viscosity

Examples of typical applications

Thanks to Metrohm's many years of experience in the field of ion analysis, we are able to measure numerous analytical parameters, of which the following are particularly important in process analysis:

- pH value
- Conductivity
- Redox potential
- Acid content
- Free and total alkalinity
- Water hardness
- Phosphates
- Chloride
- Chlorine
- Ammonia
- Nitrite
- Fe, Cu, Ni, Zn
- Na, Ca, F (with ISE)
- Free and total SO_2
- Sulfate
- H_2S/mercaptans
- Hydrogen peroxide
- Free fatty acids
- Surfactants
- Water content
- Organic additives (CVS)

All analytical methods that are already used in the lab can easily be transferred to process analysis.

As a result of the high flexibility of the individual modules, the systems are very versatile. A few of the typical application fields of the instruments are listed below:

Etching baths in the steel industry

Determination of the content of acids and metals in etching baths.

Baths in the electroplating industry

Typical parameters in electroplating baths including the cleaning and degreasing baths used for pretreatment.

Phosphating baths in the automobile industry

All the important parameters for monitoring a complete phosphating plant.

Process baths in the paper industry

Parameters in the cooking liquor or the so-called white, green or black liquors in the paper industry.

Parameters in the food industry

Important parameters for the quality control of foodstuffs, for example in instant soups or fruit juices.

Applications for automated sample preparation

For example the automatic filtration of water samples or the extraction of organic substances as sample preparation steps for the subsequent spectroscopic or chromatographic determinations.

Modularity

The design of ProcessLab is entirely modular, which is why it adapts perfectly to your specific analytical and process requirements. The wet-chemistry part of an analysis module is modular in design, just like the electronics part. These two parts are hermetically separated from one another. Modern interfaces permit the analysis modules to be set up in different locations, or the control panel to be separate from the analysis module. This has advantages, for example in cleanroom analysis or in hazardous areas. The housings are dust-proof and splash-proof; this means that the instruments can be used in the roughest production plant environments.

Sample loops
A flexible solution for metering variable sample volumes with an 800 Dosino

Sensors
All the usual Metrosensor pH and redox electrodes, ion-selective electrodes (ISEs) and conductivity cells can be used

800 Dosino
For the exact addition of titrants and auxiliary reagents

Measuring cell with magnetic stirrer
For accurate and reproducible titrations

Loop sampling system
With fixed volumes for quick and exact dosing of defined sample volumes

Peristaltic pumps
For adding reagents and auxiliary components or also for automatically rinsing and cleaning measuring vessels

Valves
For a wide range of liquid handling tasks

Sample loop

Measuring cell with magnetic stirrer

Overflow pipet

Peristaltic pump

Countless combination options

ProcessLab is set up according to your requirements. An analysis module contains exactly those components that are required for the analysis to be carried out. A wide range of analytical systems can be configured by the combination of several analysis modules. This results in simply structured and clearly laid-out analysis units. Sample introduction can be performed manually or – considerably more conveniently – by means of a Sample Processor.

Easy operation

tiamo™ is the comprehensive control and database software for complete automation in laboratory and process analysis. ***tiamo***™ complies with the high demands of GLP/GMP as well as FDA regulation 21 CFR Part 11.

Configuration

tiamo™ automatically manages all the components and modules integrated in ProcessLab. This means that complicated manual configuration can be dispensed with. All the configuration data necessary for ProcessLab such as type of reagent, titer, electrode calibration data, calculation variables and constants are stored here. ***tiamo***™ monitors calibration and titer determination intervals as well as GLP tests and servicing and warns the user in good time before the expiry date.

Method editor

In the graphical method editor individual method blocks are assembled by simple «drag and drop» to form an analytical sequence. ***tiamo***™ also supports logical operations and parallel analytical sequences. In addition, method templates and plausibility tests make drawing up a method easier. The included method manager enables you to have an overview of the existing methods.

Workplace

Log in the sample and start. That's all! All the analysis methods linked with the sample name are called up and carried out automatically. Live curves and the current status of the analytical sequence are displayed.

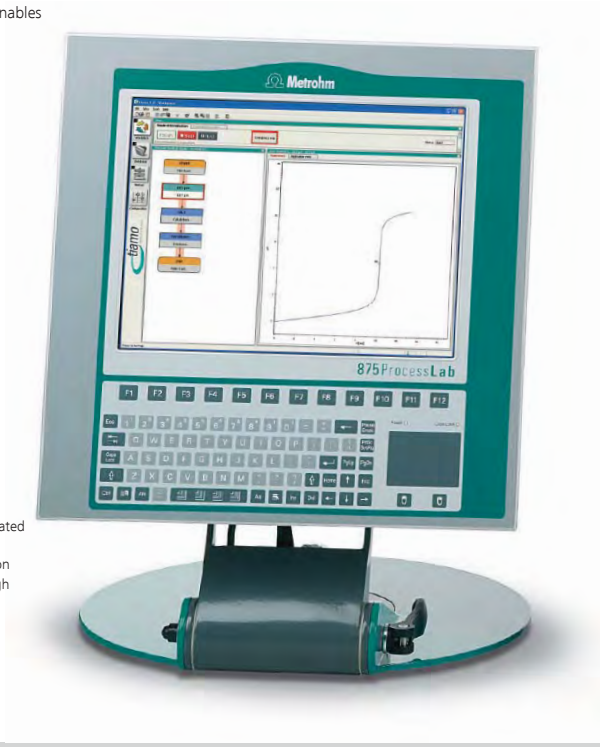
Database

Analysis results and raw data are stored centrally, thus they are protected against manipulation and loss. Efficient search and filter tools facilitate data management.

Client/server applications

In a client/server setup ***tiamo***™ is able to allow ProcessLab to function as a client. Analysis data and methods are managed centrally and, for example, are also available in the lab.

tiamo™
titration and more



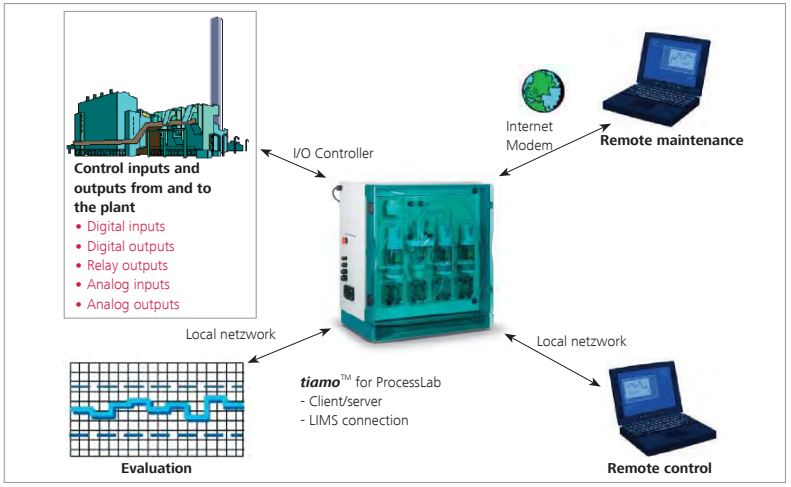
Robust operating unit

The TFT monitor is equipped with an anti-reflex-coated protection panel and can be easily and comfortably operated via the touch-sensitive keyboard with built-in touchpad. The sealed housing is splash-proof according to protection code IP 54 and guarantees smooth operation under rough process surroundings.

Networking and process integration

The digital and analog input/output (I/O) components available allow the system to be very easily incorporated in the process surroundings. In this way the system can react to different input signals, for example automatically measure different parameters depending on the sample, trigger an alarm if limits are infringed or transfer measured values as analog 4...20 mA signals.

ProcessLab can also be easily integrated in a local network or be fully operated by remote control. Analysis data can be exported to any LIMS or made available to a process control system.



Comprehensive communication possibilities

Ordering information

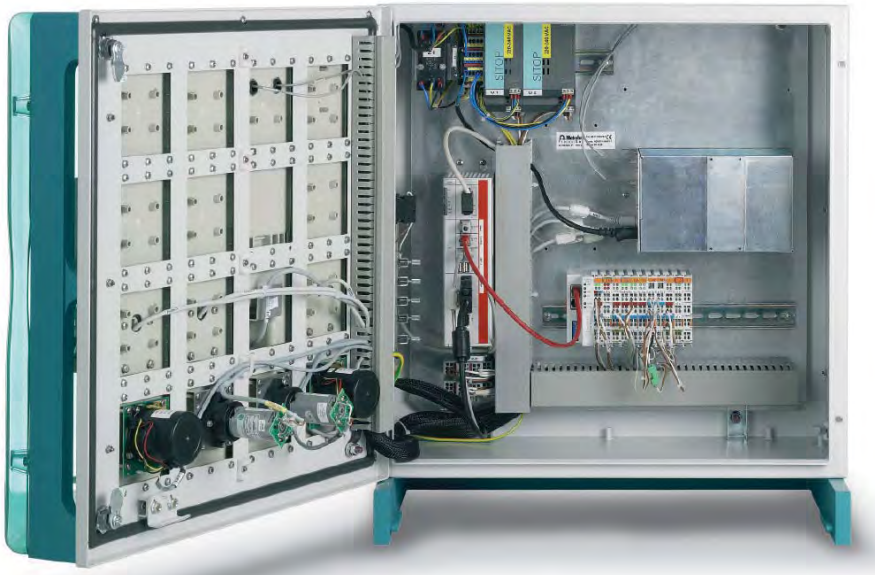
The 875 ProcessLab is of modular design and always consists of a complete Base Unit and any Extension Modules that may be required. The Base Unit contains all the system components required for correct functioning, but still requires to be completed by the wet-chemistry components mounted on the front panel and by I/O components.

875 ProcessLab Base Unit
ProcessLab Base Unit with integral industrial PC, operating unit with 15-inch TFT monitor, ***tiamo***™ for ProcessLab software plus base I/O controller and power supplies. With an integral Metrohm Dosing & Measuring (MDM) Controller, up to 4 Dosinos can be controlled.

2.875.0010	875 ProcessLab Base Unit, left-hinged door, 1 MDM Controller
2.875.0020	875 ProcessLab Base Unit, right-hinged door, 1 MDM Controller
2.875.0030	875 ProcessLab Base Unit, left-hinged door, 2 MDM Controllers
2.875.0040	875 ProcessLab Base Unit, right-hinged door, 2 MDM Controllers

875 ProcessLab Extension Module
Module for extending an 875 ProcessLab Base Unit

2.875.0110	875 ProcessLab Extension Module, left-hinged door
2.875.0120	875 ProcessLab Extension Module, right-hinged door
2.875.0130	875 ProcessLab Extension Module, left-hinged door, 1 MDM Controller
2.875.0140	875 ProcessLab Extension Module, right-hinged door, 1 MDM Controller



Options

The following lists a small selection of the comprehensive range of complementary modules and components that are at your disposal:

- ProcessLab measuring amplifier for connecting various sensors
- ProcessLab digital input and output 24 V DC
- ProcessLab analog input and output 4...20 mA
- ProcessLab relay output
- ProcessLab sensor connection
- ProcessLab measuring vessel holder with stirrer and different measuring vessels
- ProcessLab peristaltic pumps with flow rates of 40 mL/min, 120 mL/min or 320 mL/min
- ProcessLab sampling system with sample loops
- ProcessLab overflow pipet in different sizes
- ProcessLab solenoid-valve module for controlling liquid flows
- Containers with liquid-level sensor in different sizes

Please contact your local Metrohm distributor for the precise configuration and setup of a ProcessLab system. Thanks to its modularity, the system allows on-site adaptation to any individual requirements.

For further information, consult
www.metrohm-processlab.com

www.metrohm.com

Subject to change without prior notice
Layout by Ecknauer+Schoch ASW, printed by Metrohm AG, CH-9100 Herisau, Switzerland
8.875.5002EN – 2011-12

Metrohm

Application Bulletin

Of interest to:	General analytical chemistry, water, waste water, environmental protection, metals, electroplating, mineral resources, cyanide, ISE, CN^-, process water, standard addition, potentiometry, steel, cast steel, ISE	P 1, 2, 10, 15

Determination of cyanide in process water of the steel industry

Summary

The production of steel involves many different materials and procedures. In order to achieve a smooth, reliable production process and obtain a good product quality, the materials and procedures have to be controlled very thoroughly. One important component in the steel production is process water that is used for cooling the blast furnace and for washing and cleaning of the top gases (blast-furnace gases). After top gas purification the scrubbing water contains dissolved cyanide and the water can only be returned to the public sewage if the cyanide concentration is below the legal limits.

The ProcessLab setup described here offers a measurement and monitoring solution and provides various options for reacting to any situation. With the aid of the input/output controller, the measured analytical values are easily transferred to the process control center in the form of 4…20 mA analog signals. On the basis of these values, all further process steps are initiated and controlled automatically in the process control center.

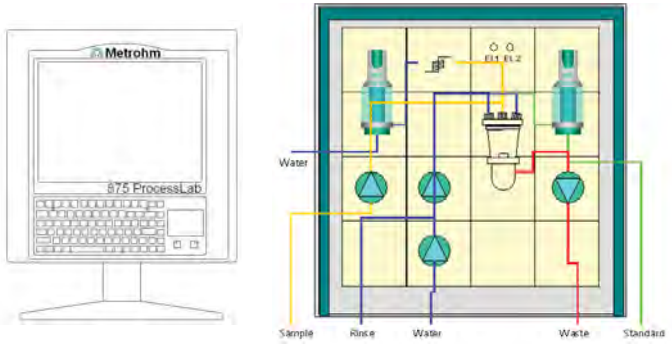
Features/general information

- Automated measurement of cyanide using the standard addition technique
- Autonomous action if the cyanide level exceeds a given limit
- Ready for analysis at any time (24 h)
- Less consumption of CN^--containing chemicals due to «Result on request»
- Analysis time approx. 5 minutes per sample
- Automated monitoring of reagent levels

Parts used (only the most important parts are listed)s

- 1 x 2.875.0010; 875 ProcessLab Base Unit L, 1 Metrohm Dosing & Measuring Controller (incl. IPC, I/O controller and TFT/Keyboard terminal)
- 2 x 2.800.0010; 800 Dosino
- 2 x 6.3032.220; Buret 20 mL
- 2 x 6.7205.030; Peristaltic pump 320 mL/min
- 2 x 6.7205.020; Peristaltic pump 120 mL/min
- 1 x 6.7204.000; Vessel mounting with stirrer
- 1 x 6.7206.040; Sample loop 10 mL var. compl. for 875
- 1 x 6.7201.000; Measuring amplifier
- 1 x 6.0502.130; CN^- Ion-selective electrode
- 1 x 6.0750.100; ISE LL reference electrode
- 2 x 6.7202.100; Digital input 4 DI 24 V DC
- 2 x 6.7202.200; Digital output 4 DO 24 V DC
- 1 x 6.7202.400; Analog output 2 AO 4-20 mA

System overview



Wet part setup

Reagents

- TISAB* c(NaOH) = 0.1 mol/L
- CN^- standard 500 mg/L**
- Demineralized water

* **T**otal **I**onic **S**trength **A**djustment **B**uffer; ISE measurements need a strong ionic activity and a buffered or pH-controlled matrix

** To avoid dilution errors, the highest possible standard concentration should be used.

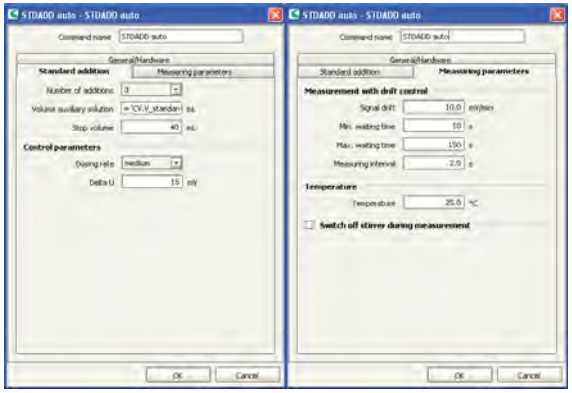
Calibration and storage of sensors

- Electrodes have to be checked regularly for correct function using a reference standard with known content
- When not used the CN- ISE is stored dry with the protection cap on
- There is no calibration necessary for this application

Analysis

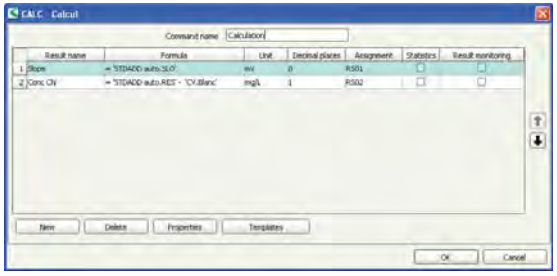
The determination of the cyanide content is based on the standard addition method using an ion-selective cyanide electrode (cyanide ISE). Prior to the first analysis the system is preconditioned using a method which flushes the tubing and the titration vessel. For the determination ProcessLab automatically transfers a defined amount of water sample into the titration vessel and then a Dosino takes an aliquot (10 mL) in a sample loop. The remaining sample is discharged and the titration vessel rinsed. Next 15 mL TISAB solution (NaOH, 0.1 mol/L) is transferred into the titration vessel as auxiliary reagent and then the sample is transferred from the loop back to the vessel. The cyanide content of the water sample is calculated by the standard addition method from the potential measurements performed after each addition of cyanide standard solution.

The measurements are carried out using the following parameter set:



Parameter set (may vary depending on the individual requirements)

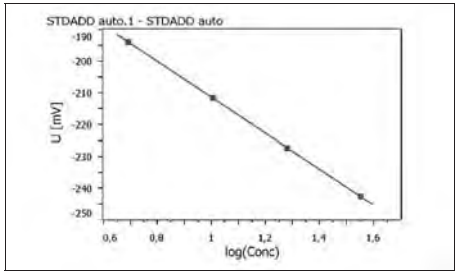
The amounts of cyanide contained in the treated process waters are normally so small that they are below the detection limit of the ion-selective cyanide electrode. To obtain a measuring solution whose cyanide content is in the usable linear region of the cyanide ISE, a known amount of cyanide standard solution is added to the original water sample (step 1). This means that at the start of the determination, the measuring solution contains cyanide ions of an unknown but very low concentration from the water sample as well as the exactly known amount of cyanide ions from the standard solution. After the determination, this known amount of cyanide ions added in step 1 has to be subtracted from the result obtained. The cyanide concentration of the measuring solution is determined by the standard addition method by adding further cyanide standard solutions (step 2).



Calculation example including the subtraction of the known amount of cyanide ions (CV.Blanc) added in step 1

Practical examples

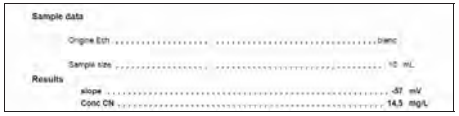
An example of a standard addition curve is shown below together with the evaluation.



Plot of measuring results obtained with the standard additions

Slope ..... -56,6 mV
E (0) ..... -154,8 mV
F (-1) ..... 14,5 ppm
Variance 0,008

	dV [mL]	U [mV]	dU [mV]	t [s]
Sample		-194,0		97
Increment 1	0,312	-211,7	-17,7	165
Increment 2	0,552	-227,4	-15,7	253
Increment 3	1,077	-242,6	-15,2	416



Measured values and result of the standard addition method

In step 1, the cyanide content of the water sample is increased by 15.0 mg/L CN^- by the addition of standard solution. The determination of the content of this measuring solution by the standard addition method gave a result of 14.5 mg/L CN^-. This means that mathematically a value of -0.5 mg/L is obtained for the cyanide content of the water sample after subtracting the amount of cyanide ions added in step 1; the negative result is due to the measuring uncertainty.

Literature

Dr. Haider, Christian (2004) Monograph: «Electrodes in potentiometry» Metrohm No. 8.015.5013

Metrohm instructions for use: «Ion-selective electrodes (ISE)» No. 8.109.1476

Appareillages automatiques de mesure en continu

Single Method On-line Analyzers

ADI 2016 Titrolyzer • ADI 2018 Ion-Analyzer • ADI 2019 Process Colorimeter

applikon® ANALYTICAL

Automatic and dependable On-line Ion Analysis

The single method Process Analyzers of Applikon Analytical B.V. can be applied in many different industries to analyze and control their wet chemical processes.

The single method analyzers are available for:

Titrations
ADI 2016 Titrolyzer

Ion Selective measurements
ADI 2018 Ion-Analyzer

Colorimetric analysis
ADI 2019 Process Colorimeter

- Many proven applications in the analysis of wet chemical processes are available for (petro)chemical-, mining-, semi-conductor-, pulp-, paper-, textile-, food- and many other industries for process as well as effluent streams.
- A flexible wet part containing modules like valves, sampling devices, pumps, sensors etc. and the flexibility in setting up program runs, measuring ranges and result calculation allow a configuration for almost every application.
- Easy operation by use of programmable macro's with dia-log functions.
- Combination of corrosion resistant plastic and epoxy coa-ted steel, or fully stainless steel cabinets.
- Electronics fully shielded from the so-called wetpart.
- Ingress protection according to IP65 and NEMA 4X.
- Smart design of hard- and software and application of special analytical methods allows automatic calibration and validation of the results.
- Batch-wise operation allows the analysis frequency to be de-fined, which leads to a significant reduction in reagent usage.
- A flexible design makes it possible to automate your laboratory method ensuring that the analyzer generates the same result as your laboratory.

Automation

The analyzers can run three different programs which can conveniently be adapted to the specific needs of the application.

- *A Clean program for periodic cleaning of sampling device, analysis vessel or cuvette and sample lines.*
- *A Reference or calibration program for periodically performing a reference analysis on a standard. A titrant or electrode offset can automatically be adjusted.*
- *An Analysis program for on-line sample analysis.*

The programs are executed in a user definable sequence with a user selectable time interval. Conditional actions based on the result outcome are available to trigger alarms, increase/decrease analysis frequency, and perform Cleaning and Reference programs.

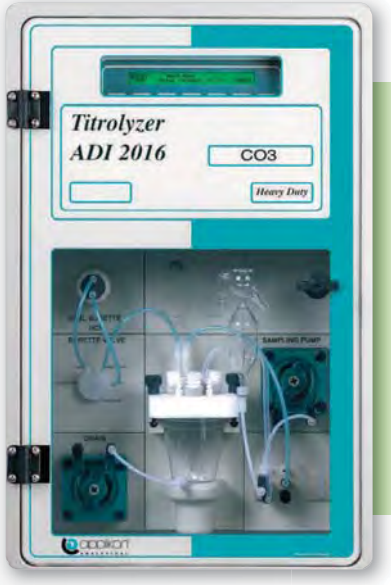
ADI 2016
Titrolyzer

Analysis techniques

The ADI 2016 Titrolyzer performs potentiometric titrations by means of a high precision burette system and high-performance electrodes:

- *Acid/Base titrations*
- *Redox titrations*
- *Precipitation titrations*
- *Karl Fischer titrations*

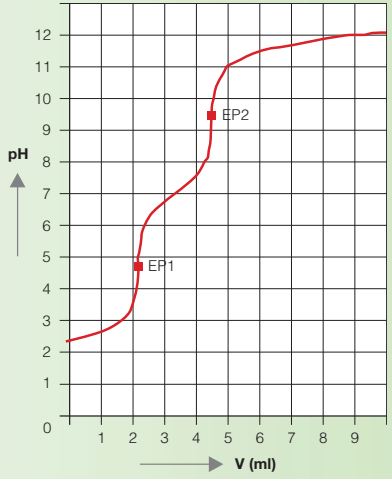
A self finding inflection point technique can be applied for most applications. This can be performed either with fixed time interval additions or with drift controlled additions, depending on the application. For some applications also a (temperature compensated) end-point technique is available. Karl Fischer titration is a special version of that.

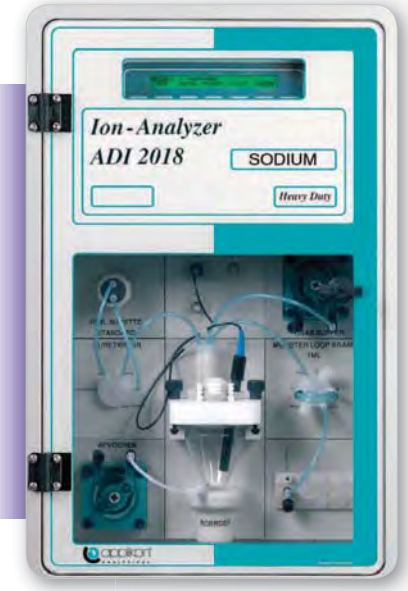


Titration

Titration is one of the most applied and proven analysis techniques. This can be explained by the fact that it uses very straightforward instrumentation and yet delivers most accurate analysis results. This is also reflected in the following features brought by the ADI 2016 Titrolyzer:

- ✓ No need for calibration since titration is an absolute method.
- ✓ Also the applied electrode does not need calibration because the inflection point is derived from the measured potential differentials, rather than the absolute potentials.
- ✓ Great selectivity through the use of dedicated titrants and electrodes.
- ✓ Several parameters can be obtained by multipoint titration, e.g. P and M number, or Alkalinity and Carbonate.





ADI 2018
Ion-Analyzer

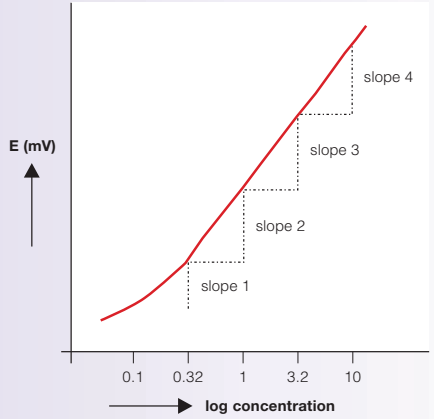
Analysis technique

The ADI 2018 Ion-Analyzer performs a dynamic standard addition method by means of a high precision burette and high-performance Ion Selective Electrodes (ISE). These methods adapt the standard addition volume to the actual sample concentration by means of a dynamic differential approach. Moreover it takes into account ISE slope values over several ranges. This means that ISE's can be used to their ultimate low (or high) measuring range which is mostly non-linear. Finally an accompanying temperature measurement eliminates possible temperature effects on the analysis results.

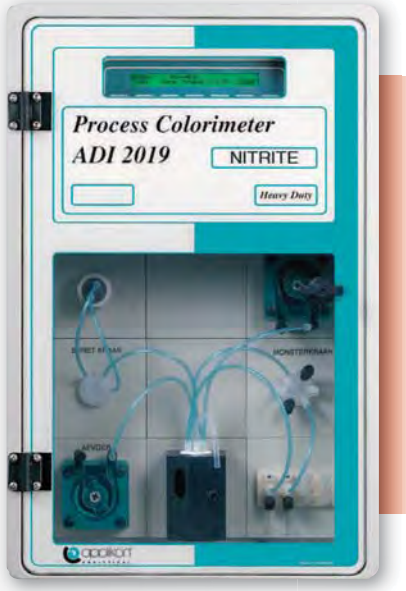
Dynamic Standard Addition

The above described method brings important benefits making ion selective measurements a robust on-line analysis approach with the following features:

- Intrinsic result validation. Elimination of sample matrix effects.
- Automatic ISE calibration.
- Wide measuring range of approx. 2.5 decades.
- Easy adaptable measuring range by choosing the standard concentration.
- Significant reagent usage reduction; only buffer and standard solution (typical 0.5 to 1 ml per analysis).
- Automatic temperature compensation.



ADI 2019
Process-Colorimeter

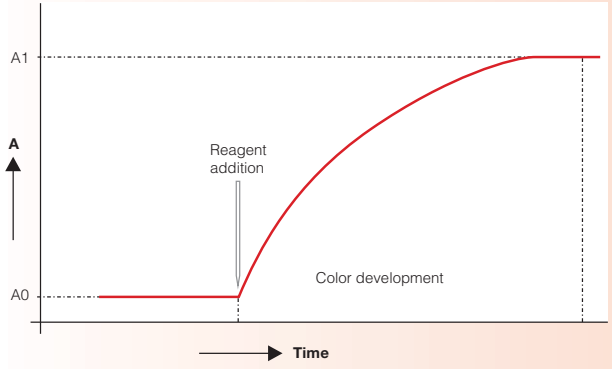


Analysis technique

The ADI 2019 Process-Colorimeter performs photometric absorption measurements in the visible light range. A by Applikon Analytical developed high performance compact photometer module is utilized. It comprises a thermostated cuvette with 3 cm light path and LED technology. The color development stabilization is automatically detected by making use of differential absorbance measurements. The ADI2019 will have no problem performing your color laboratory method; in most cases it can be directly implemented in a simple way.

Differential colorimetry

Differential measuring method as applied by Applikon Analytical makes colorimetry a robust, accurate on-line analysis tool, featuring:



- Insensitive for cuvette fouling, background sample color or ageing of light source.
- High accuracy and repeatability.
- High sensitivity, typical in the low µg/l.
- Processes linear as well as curved calibration lines, in order to offer wide measuring ranges.
- Significant reagent usage reduction; only buffer and standard solution (typical 0.5 to 1 ml per analysis).
- Insensitive to sample temperature variations

Preconditioning and Stream selector

Not only the chemical analysis, but also the sample preparation or preconditioning is of the utmost importance for the success of a process analyzer system. Furthermore, the analyzer location is an important part of the analysis. The sample needs to be as representative as possible, which means that the sampling point needs to be as close to the analyzer as possible.

Applikon Analytical can engineer and supply virtually any 'unit operation' for sample preconditioning:

- pressure reduction
- cooling
- heating, heat tracing
- (ultra) filtration
- precipitation
- dilution to avoid crystallisation
- degassing
- homogenising
- flow metering
- phase separation

With more than 35 years of experience in process analyzer systems Applikon Analytical can provide a complete and exact solution for almost any application.
Projects range from one Analyzer in combination with simple sample preparation to complete packages with shelters, piping, wiring and interfacing.

On-site, only the necessary utilities and the sample stream need to be connected, saving a lot of time and energy in the start up phase of the instrument.

Multi-stream Analyzer

In some cases the Analyzer can be equipped with a sample sequencer. This unit makes it possible to monitor multiple sample streams with one Analyzer. Each individual sample stream is assigned to an analog output module (4-20mA) that transfers the analysis result of the chosen sample stream to a process computer.

Typical applications ● 2016 ● 2018 ● 2019

Industry ▸ / Component ▾	Chemical industry	Metal mining	Metal surface	Semi conductor	Food	Pulp, paper, textile	Power	Water Quality
Acidity	●	●	●	●	●	●		●
Alkalinity	●							●
Aluminium		● ●	● ●					●
Ammonia	● ● ●	● ● ●		● ● ●				● ●
Boric Acid	●		●	●			●	●
Bromide						●		
Bromine	● ●							
Cadmium	●	●	●					
Calcium	● ● ●					● ● ●		● ● ●
Caustic	●		●	●				
Carbonate	●	●				●		●
Chlorate	●					●		
Chloride	● ●		● ●		● ●			● ●
Chlorine	● ●							● ●
Chromium	● ●	● ●	● ●					● ●
Citric Acid					●			
Cobalt	●	●						
COD	●					●		●
Copper	● ●	● ●	● ●	● ●				● ●
Cyanide	● ● ●	● ●	● ● ●					● ● ●
Dithionite	●					●		
EDTA		●	●	●			●	
Fatty Acid					●			
Fluoride	● ●			● ●				●
Formaldehyde	●		●					
Glucose					●			
Hydrazine							●	
Hydrochloric Acid	●	●	●	●				
Hydrofluoric Acid			●	●				
Hypochlorite						● ●		●
Hypophosphite			●	●				
Iodide					●			
Iron	● ●	● ●	● ●					●
Lactic Acid					●			
Leuco Indigo						●		
Magnesium	● ●							● ●
Manganese								●
Molybdenum				●				
Nickel	● ●	● ●	● ●					●
Nitrate	● ●				● ●			● ●
Nitric Acid	●		●	●				
Nitrite	● ●				●			●
Nitrous Acid		●						
P & M number								●
Permanganate	●							
Peroxide	●		●	●		●		
Persulphate	●							
Phenol	● ●							●
Phosphate	● ●				● ●			●
Phosphoric Acid	●		●	●				
Phtalic Acid	●							
Potassium	●				●			●
Silica	●			●			●	●
Silver		●	●					
Sodium					●		●	●
Sulphide	● ● ●					● ● ●		● ●
Sulphite	●				●			
Sulphonic Acid	●		●					
Sulphuric Acid	●	●	●	●				
Surfactant	●		●					
Thiocyanate						●		
Titanium			● ●					
Urea	● ●							
Water	●				●			
Zinc	● ●	● ●	● ●					●

Specifications / general information

Applied Analysis methods

ADI 2016	Titrations
ADI 2018	Dynamic Standard Addition with Ion Selective Electrodes
ADI 2019	Differential Absorbance Colorimetry

Measurement

Repeatability	typical 1-2%
Inaccuracy	typical 1-2% (95% confidence level)
Analysis time	typical approx. 10 minutes

Sampling and sample streams

Sampling	batch wise
Sample frequency	programmable
Sample streams	Titrolyzer: 1 stream + standard Ion Analyzer: 2 streams + blank Colorimeter: 1 stream + standard
Sample volume	0.2 -50 ml
Sample temperature	5 - 90 °C / 41 - 194 °F
Sample pressure	0 - 4 bar / 0 - 7,2 PSI (without preconditioner)

Maintenance

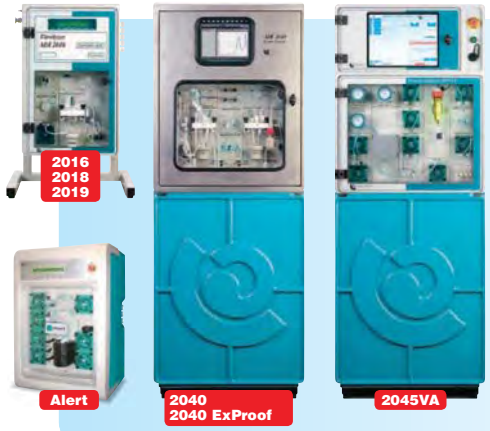
Weekly	visual inspection
Monthly	visual inspection & reagent refill
Yearly	hardware inspection

Connectivity

Serial Communication	RS232, RS422
Analog Outputs	2 x 0(4) - 20 mA
Digital Input	remote start, remote stop, remote emergency stop
Digital Output	analyzer running system error result value low alarm result value high alarm no sample alarm out of reagent alarm 3 programmable relays

General

Power supply	100-120 / 200-240V / 200 VA / 50..60Hz
Accessibility	pass code protected
Housing material	***Standard system:*** "Electronics" cabinet: Zinc plated steel, epoxy coated steel "Wet part" door: Polystyrene, epoxy coated ***Special system:*** Stainless Steel SS316
Ingress protection	IP65 and NEMA 4X
Ambient temperature	5 - 40 °C
Dimensions	H x W x D 700 x 460 x 352 mm
Weight	45 kg max



About Applikon Analytical

Applikon Analytical has been developing, manufacturing and supplying on-line analytical systems using electrochemical measurements for over 25 years. Thousands of Applikon Analyzers are in use every day controlling the world's most demanding processes and protecting some of the most sensitive environments. Applikon Analytical systems are available using titration, colorimetric analysis, ion selective electrodes or more complex electrochemical analysis techniques such as voltammetry and ion chromatography. The modular system makes it possible to meet the needs for each customer or application. Applikon Analytical has customers in environmental, water, power, electronics, petro/chemical, metal, galvanic, mining, pulp and paper, textile, food, beverage, pharmaceutical and biotechnology industries. Read more on www.applikon-analyzers.com

Applikon Analytical B.V.
De Brauwweg 13, P.O. Box 149,
3100 AC Schiedam The Netherlands
Phone: +31 10 298 35 55
Fax: +31 10 437 96 48
E-mail: analyzers@applikon.com
www.applikon-analyzers.com

ADI2017 - V2XG121010 - Subject to modifications - Printed by Applikon Analytical bv - The Netherlands January 2008

NR 1178
Date: 24-aug-06

Application Data Sheet

Cyanide

Matrix

Industrial waste water and Surface water.

Principle

Cyanide in the low ppm range can be titrated with silver nitrate and a silver ring electrode, in this titration two inflection points can be obtained:
1) Ag+ + 2 CN- ==> Ag(CN)2- (soluble complex)
2) Ag(CN)2- + Ag+ ==> Ag2(CN)2 (insoluble)
To avoid interference of halogenides titrations are best performed to the first inflection point. To overcome the problem of clogging of electrodes with the insoluble Ag2(CN)2, ammonia is added.

Detection method

Method:	*Detector*	*Ion:*	*λ:*
Titration - Argentometric	Ag electrode with S2- coating	n.a.	n.a.

Specification

	Range	*Standard Dev.*	*Repeatability*	*Inaccuracy*	*Analysis time*
		(If 2 options : whichever is larger)			
CN-	2 - 50 mg/l	< 0.4 mg/l	+/- < 1 mg/l	+/- < 1 mg/l	10 minutes

Interferences

Sulfide (S2-).

Reagents

Ammonia solution (4%)	1 ml per analysis
AgNO3 (0.01 M)	

Procedure

- clean the analysis vessel with water
- take 10 ml of sample
- add ammonia solution
- perform titration with AgNO3
- calculate result

Remarks

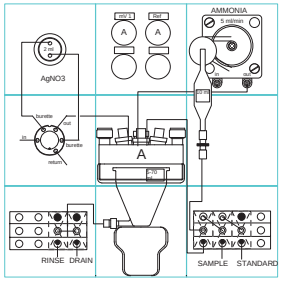
Use a rotating rinsing nozzle.

Possible Analyzer

- ☑ *2040*
- ☑ *2016*
- ☐ *2018 HD*
- ☐ *2019 HD*
- ☐ *2019 Special*
- ☐ *2003 Alert*
- ☐ *2004 Alert*

Typical Wet Part layout

(Other layouts may be realised in order to meet desired criteria, e.g measuring range.)



© 2006, Applikon BV. All right reserved. This document is subject to change.

Méthodes et appareillages spécifiques pour la solution de cyanuration

Méthode

Metrohm

ISE Application Note No. I - 9

Title:	**Cyanide content of waste water**
***Summary*:**	Determination of cyanide in waste water by direct potentiometry with the Cyanide ISE
Sample:	Waste water
Sample Preparation:	see remarks
Instruments and Accessories:	692 pH/Ion Meter, 725 Dosimat, 728 Magnetic Stirrer, 6.0502.130 CN ISE, 6.0726.100 Ag/AgCl reference electrode (3 mol/L KCl), printer
Reagents:	**Cyanide standard:** 100 mg/L CN^-, prepared from KCN in ISA solution (0.250 g/L KCN) **ISA solution:** c(NaOH) = 0.1 mol/L
Analysis:	Pipette 45 mL ISA solution and 5.0 mL sample into the measuring vessel. Start the automatic determination by three standard additions using a preselected delta U of 12 mV.
Remarks:	To avoid loss of volatile free cyanide in neutral or acidic solutions add 10 mL c(NaOH) = 10 mol/L to the sample bottle (1 L) prior to sampling. Samples with a content of more than 25 mg/L CN^- have to be diluted. After each determination polish the electrode with wet Alox powder. **Result:** AVG(3) = 0.262 +/- 0.015 mg/L CN^-

Appareillages automatique de mesure en continu

NR	1174
Date:	23-aug-05

Application Data Sheet

Cyanide

Matrix

Industrial waste water and Surface water.

Principle

After sampling a buffer solution is added to obtain a constant total ionic strength of the sample during analysis. To prevent precipitation of metals in the alkaline environment a complexing reagent is added. The Cyanide concentration in the sample is determined using the dynamic standard addition method.

Detection method

	Method:	Detector	Ion:	λ:
CN-	Standard addition ISE	ISE	CN	n.a.

Specification

	Range	Standard Dev.	Repeatability	Inaccuracy	Analysis time
		(If 2 options : whichever is larger)			
CN-	0 - 3 mg/l CN	0.004 mg/l or 0.7 %	0.01 mg/l or 2.0 %	0.01 mg/l or 2.0 %	10 minutes

Interferences

Ag+ complexing substances and Sulfide (S2-) must be absent.
At 26 mg/l CN- there is an 10% analysis error for:
0.4 g/l Bromide (Br-), 35 g/l Chloride (Cl-) and 13 mg/l Iodide (I-).

Reagents

Buffer solution	1 ml per analysis
Complexing reagent	1 ml per analysis

KCN standard solution of 10 mg/l CN-

Procedure

- clean the analysis vessel with sample
- take 10 ml of sample
- add complexing agent
- add buffer solution
- perform dynamic standard addition analysis
- calculate result

Remarks

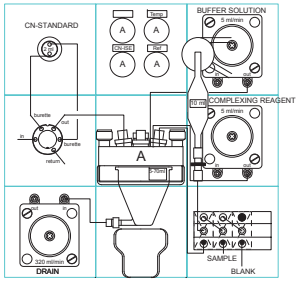
The Analyzer is calibrated for 2 decades. With a standard of 10 mg/l CN- the calibrated range is 0.01 - 1 mg/l CN-.
The Analyzer is capable to measure up to 2.5 decades by extrapolation. With a standard of 10 mg/l CN- the measure range is 0.01 - 3 mg/l CN-.
Other ranges between 0.01 to 100 mg/l CN- are possible by changing the concentration of the standard. The absolute standard deviation, repeatability and inaccuracy are different at other ranges. The relative standard deviation, repeatability and inaccuracy remain unchanged.
Determinations above 26 mg/l CN- should be avoided, because this shortens sensor lifetime considerably. As an alternative use titration with silvernitrate and Ag-electrode.

Possible Analyzer

- ☑ 2040
- ☐ 2016
- ☑ 2018 HD
- ☐ 2019 HD
- ☐ 2019 Special
- ☐ 2003 Alert
- ☐ 2004 Alert

Typical Wet Part layout

(Other layouts may be realised in order to meet desired criteria, e.g measuring range.)



© 2005, Applikon BV. All right reserved. This document is subject to change.

NR	1504
Date:	27-jun-05

Application Data Sheet

Cyanide, Free

Matrix

Drinking water, Industrial waste water, Municipal waste water and Surface water.

Principle

The cyanide ions present in the sample reacts with the chloroamine-T to form cyanogen chloride. Cyanogen chloride subsequently reacts with isonicotinic acid and sodium barbiturate to form a blue colored complex of which the transmission can be measured at a wavelength of 590 nm. The solution is buffered at pH 5.2.

Detection method

	Method:	Detector	Ion:	λ:
CN-	Colorimetry - VIS	Cuvette Module	n.a.	590 nm

Specification

	Range	Standard Dev.	Repeatability	Inaccuracy	Analysis time
		(If 2 options : whichever is larger)			
CN-	0 - 200 ug/l	1.4 ug/l or 1.8%	4 ug/l or 5%	4 ug/l or 5%	30 minutes

Interferences

Nitrite ((NO2)-) > 5 mg/l; Sulfide ((S)2-) > 100 mg/l and Sulfite ((SO3)2-) > 1 mg/l.
Thiocyanate will cause high results.

Reagents

Buffer solution	1 ml per analysis
Chloroamine-T solution	1 ml per analysis
Color solution	2 ml per analysis

Procedure

- clean the cuvette with sample
- take 10 ml of sample
- add buffer solution
- measure initial color
- add chloramine-T
- wait 300 seconds
- add color reagent
- measure final color
- calculate result

Remarks

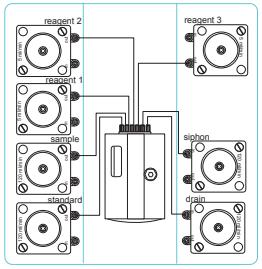
Use cuvette with white led source and filter 590 nm.
Definitions according to NEN 6655
- Total cyanide : The concentration of anorganicly bound cyanide consisting of the sum of the percentages of free cyanide-ion, complex-bound and in single-metal-cyanide-bound cyanide, but without bound cyanide-ions and thiocyanate-ions of cobaltcomplexes.
- Free Cyanide : The concentration of anorganic bound cyanide consisting of the sum of the percentages of free cyanide-ion and in singular-metal-cyanide-bound cyanide.

The singular bound cyanide of tetracyanonickelate(II) and dicyanomercurate(II) are determined with the free cyanide.
The complex-bound cyanide of ferriferrocyanide, iron(III)hexacyanoferrate(II), hexacyanoferrate(III) and hexacyanoferrate(II) are determined for maximum 10% in the free cyanide.
Organic cyanide-complexes are not determined.

Possible Analyzer

- ☐ 2040
- ☐ 2016
- ☐ 2018 HD
- ☐ 2019 HD
- ☐ 2019 Special
- ☐ 2003 Alert
- ☑ 2004 Alert

Typical Wet Part layout



© 2005, Applikon BV. All right reserved. This document is subject to change.

applikon ANALYTICAL

Annexe 7

Annonce officielle de l'adhésion d'AUPLATA au Code International de Gestion du cyanure et extrait de ce Code

Source : SMYD

S A SIGNATORY TO THE INTERNATIONAL CYANIDE MANAGEMENT CODE

Auplata Becomes a Signatory to the International Cyanide Management Code

The International Cyanide Management Institute (ICMI) announced today that it has accepted the application of Auplata, a gold mining company developing two mines in French Guiana, to become a signatory to the International Cyanide Management Code for the Manufacture, Transport and Use of Cyanide in the Production of Gold (Cyanide Code). The Cyanide Code is a voluntary industry program for companies involved in the production of gold using cyanide and companies manufacturing and transporting this cyanide.

By becoming a signatory, Auplata commits to follow the Cyanide Code's Principles and implement its Standards of Practice, and to have verification audits of its operations conducted by independent third-party auditors within three years of its initial application, and every three years thereafter. Operations will be certified if found in compliance with the Cyanide Code, and will be de-certified if ICMI determines that they no longer comply with the Cyanide Code.

The Cyanide Code was developed under the aegis of the United Nations Environment Programme by a multi-stakeholder Steering Committee. The Cyanide Code is intended to complement an operation's existing obligation to comply with the applicable laws and regulations of the political jurisdiction in which the operation is located.

ICMI has been established to administer the Cyanide Code, promote its adoption, evaluate its implementation, and manage the certification process. A detailed list of the operations covered by signatory companies' applications, along with the full text of the Cyanide Code and its implementing and administrative documents, are available at www.cyanidecode.org.

Date:
Wednesday, June 11, 2014

INSTITUT INTERNATIONAL DE GESTION DU CYANURE

Guide de mise en œuvre

Pour le
Code international de gestion du cyanure

www.cyanidecode.org

Octobre 2009

Le Code international de gestion du cyanure (ci-après appelé « le Code »), ce document et d'autres documents ou sources d'informations cités comme sources de référence à *www.cyanidecode.org* sont considérés comme étant fiables et ont été préparés en bonne foi d'après les informations dont disposaient les rédacteurs. Cependant, aucune garantie n'est offerte quant à l'exactitude ou l'intégralité de ces documents ou de ces sources d'information. Aucune garantie n'est offerte quant au pouvoir de l'application du Code, des documents supplémentaires disponibles ou des documents cités comme sources de référence de prévenir les dangers, accidents, incidents ou blessures des employés et/ou des membres du public sur un site spécifique où l'or est extrait du minerai par le processus de cyanuration. La conformité au Code n'a pas pour but de remplacer, de violer ou de modifier et ne remplace pas, ne viole pas ou ne modifie pas de quelque manière que ce soit les exigences liées aux statuts, aux lois, aux réglementations, aux ordonnances ou autres au niveau national, local ou de l'Etat concernant les domaines inclus dans ce document. La conformité au Code est entièrement volontaire, n'a pas pour but de créer, d'établir ou de reconnaître et ne crée pas, n'établit pas ou ne reconnaît pas d'obligations ou de droits légalement exécutoires de la part de ses signataires, de ses partisans ou de toute autre partie.

Table des matières

	Page
Introduction	1
Principe 1, Production	
• Norme de pratiques 1.1	2
Principe 2, Transport	
• Norme de pratiques 2.1	2
• Norme de pratiques 2.2	3
Principe 3, Manutention et stockage	
• Norme de pratiques 3.1	4
• Norme de pratiques 3.2	6
Principe 4, Exploitation	
• Norme de pratiques 4.1	8
• Norme de pratiques 4.2	11
• Norme de pratiques 4.3	11
• Norme de pratiques 4.4	13
• Norme de pratiques 4.5	14
• Norme de pratiques 4.6	16
• Norme de pratiques 4.7	17
• Norme de pratiques 4.8	18
• Norme de pratiques 4.9	19
Principe 5, Déclassement	
• Norme de pratiques 5.1	21
• Norme de pratiques 5.2	21
Principe 6, Sécurité des employés	
• Norme de pratiques 6.1	22
• Norme de pratiques 6.2	23
• Norme de pratiques 6.3	25
Principe 7, Intervention d'urgence	
• Norme de pratiques 7.1	27
• Norme de pratiques 7.2	28
• Norme de pratiques 7.3	28
• Norme de pratiques 7.4	29
• Norme de pratiques 7.5	29
• Norme de pratiques 7.6	31
Principe 8, Formation	
• Norme de pratiques 8.1	32
• Norme de pratiques 8.2	32
• Norme de pratiques 8.3	33
Principe 9, Dialogue	
• Norme de pratiques 9.1	34
• Norme de pratiques 9.2	34
• Norme de pratiques 9.3	34

INTRODUCTION

Les signataires du Code international de gestion du cyanure s'engagent à suivre les principes et les normes du Code quant à l'utilisation du cyanure. Les normes de pratiques listées sous chaque principe dans le Code déterminent les objectifs de performances devant être atteints par une exploitation pour que cette dernière parvienne à être certifiée comme étant conforme au Code.

Une exploitation n'est pas obligée d'utiliser les moyens spécifiques de mise en œuvre du Code décrits dans ce guide pour recevoir son certificat de conformité au Code. Une exploitation peut parvenir à la certification si elle peut démontrer que ses méthodes lui permettent d'atteindre le but de performance énoncé dans la norme de pratiques.

Ce document peut être un outil utile pour toutes les parties prenantes dans le sens qu'il décrit une méthode acceptable qui parvient aux buts de performances définis par les normes de pratiques.

1. PRODUCTION **Encourager la fabrication responsable de cyanure en achetant auprès de fabricants qui opèrent d'une manière sûre et respectueuse de l'environnement.**

Norme de pratiques 1.1

Acheter du cyanure auprès de fabricants employant des pratiques et des procédures appropriées afin de limiter l'exposition de leurs employés au cyanure et afin de prévenir les rejets de cyanure dans l'environnement.

Directive

De nombreux fabricants de cyanure sont membres du Programme Responsible Care® (Engagement de progrès) du Conseil international des associations chimiques, qui encourage l'adoption de codes de pratiques afin de limiter les expositions des employés au cyanure et de prévenir, de contrôler et de réagir à des rejets de cyanure dans l'environnement. La plupart des fabricants de cyanure accordent beaucoup d'attention à la bonne gestion des produits et emploient des systèmes, des procédures et des pratiques de gestion afin de parvenir à ces objectifs. Les signataires du Code peuvent jouer un rôle significatif en encourageant les producteurs de cyanure à agir en toute responsabilité et en achetant du cyanure auprès de fabricants signataires du Code et dont l'usine de fabrication a été certifiée conforme aux principes du Code et aux pratiques de production.

Les principales dispositions d'achat de cyanure d'une entreprise peuvent être interrompues par des problèmes de production ou de transport indépendants de sa volonté et il peut parfois être nécessaire d'acheter du cyanure auprès d'autres sources pendant un temps limité afin de maintenir la production d'or. Les exploitations doivent inclure les mêmes exigences dans tous les contrats conclus avec les distributeurs et producteurs secondaires de cyanure.

Le contrat avec un distributeur indépendant de cyanure doit exiger du distributeur qu'il fournisse du cyanure qui a été produit sur un site certifié conforme en vertu du Code. Une certification ou une documentation sur la chaîne de conservation déclarant que le cyanure livré à une exploitation a bien été produit par le fabricant en question doit également être fournie.

2. TRANSPORT **Protéger les communautés et l'environnement pendant le transport du cyanure.**

Norme de pratiques 2.1

Etablir des limites claires de responsabilité au sujet de la sécurité, de la sûreté, de la prévention des rejets, de la formation et de l'intervention d'urgence dans des accords écrits avec les producteurs, les distributeurs et les transporteurs.

Directive

Les exploitations doivent conclure des accords écrits avec les producteurs, les distributeurs et les transporteurs de cyanure, en désignant les responsabilités spécifiques

de chaque aspect du transport du cyanure. Les points suivants doivent être pris en compte (selon le type de transport) :

1. Emballage tel qu'il est exigé et étiquetage dans les langues nécessaires pour identifier la matière dans la ou les juridictions gouvernementales traversées par la cargaison.
2. Stockage avant l'expédition.
3. Evaluation et sélection des trajets afin de réduire les risques, y compris l'implication de la communauté.
4. Stockage et sécurité aux points d'entrée.
5. Chargement provisoire, stockage et déchargement pendant l'expédition.
6. Transport vers l'exploitation.
7. Déchargement à l'exploitation.
8. Sécurité et maintenance des moyens de transport (par ex., avion, vaisseaux, véhicules, trains, etc.) tout au long du transport.
9. Formation professionnelle et à la sécurité des transporteurs et des manutentionnaires tout au long du transport.
10. Sécurité tout au long du transport.
11. Intervention d'urgence tout au long du transport.

Pour les expéditions internationales, l'emballage et l'étiquetage doivent respecter les Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses (Livre orange) publiées par le Comité d'experts des Nations unies sur le transport des marchandises dangereuses.

Le contrat écrit doit aussi spécifier que les responsabilités désignées s'étendent à tout sous-traitant utilisé par le producteur, le distributeur, le transporteur ou l'exploitation pour les activités liées au transport.

Norme de pratiques 2.2
Exiger que les transporteurs de cyanure mettent en œuvre les plans d'intervention d'urgence et les capacités appropriés, et emploient les mesures adéquates à la gestion du cyanure.

Directive
Même si une exploitation n'a pas de contrôle direct sur le processus de transport du cyanure, elle doit entreprendre des efforts raisonnables afin de s'assurer que le transporteur et tout sous-traitant impliqué dans le transport du cyanure donnent la priorité aux questions de santé, de sécurité et d'environnement pendant le transport du cyanure vers la mine.

Dans leurs contrats de transport du cyanure, les exploitations doivent exiger que le transporteur signe le Code et que ses activités de transport de cyanure soient certifiées conformes aux Principes du Code et aux Pratiques de transport.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Protocole d'audit du transport du cyanure, http://cyanidecode.org/pdf/14_ICMITransportProtocol.pdf
- Directive pour les auditeurs sur l'emploi du protocole de conformité du transport du cyanure, http://cyanidecode.org/pdf/TransportAuditorGuidance.pdf
- Principles for Storage, Handling and Distribution of Alkali Cyanides; Cyanides Sector Group, European Chemical Industry Council (Conseil européen de l'industrie chimique) (CEFIC), mai 2000, Révision 1
- Carrier Safety: Motor Carrier Assessment Protocol; American Chemistry Council (anciennement Chemical Manufacturers Association), janvier 1994
- Guide sur la sensibilisation et la préparation aux situations d'urgence au niveau local dans le domaine des transports (TransAPELL) ; Programme des Nations unies pour l'environnement, Rapport technique n° 35, 2000
- Organisation maritime internationale, Code des marchandises dangereuses
- Organisation de l'aviation civile internationale, Instructions techniques pour la sécurité du transport des marchandises dangereuses, ECOSOC Nations unies
- Recommandations des Nations unies relatives au transport des marchandises dangereuses (Livre orange), ECOSOC Nations unies

3. *MANUTENTION ET STOCKAGE* **Protéger les employés et l'environnement pendant la manutention et le stockage du cyanure.**

Norme de pratiques 3.1
Concevoir et construire des installations de déchargement, de stockage et de mélange dans le respect des pratiques d'ingénierie saines et acceptées, des procédures de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité, et des mesures de prévention et de confinement des déversements.

Directive
Dans la mesure du possible, les zones de déchargement et de stockage du cyanure liquide et solide doivent se situer loin des populations et des eaux de surface. Le potentiel de rejets dans l'eau de surface et/ou d'exposition humaine associé au lieu de stockage doit être évalué et l'exploitation doit mettre des précautions en œuvre afin de prévenir ou de minimiser ces potentiels. Les mesures de protection peuvent inclure des détecteurs et des alarmes automatiques pour le gaz de cyanure d'hydrogène, des structures de confinement améliorées ou supplémentaires et des procédures d'urgence spécifiques pour l'avertissement, l'évacuation, la réaction et l'assainissement. De plus, de nombreux fabricants de cyanure se sont dotés de directives pour la conception, la construction et l'exploitation d'installations de déchargement et de stockage susceptibles d'être utiles dans la mise en œuvre de cette pratique.

Le déchargement du cyanure liquide doit s'effectuer sur une surface en béton afin d'empêcher une fuite d'entrer en contact avec l'environnement. Des systèmes et des procédures doivent être en place pour traiter de la récupération potentielle de la solution rejetée, de l'assainissement de tout sol contaminé et des problèmes possibles des camions-

citernes afin de protéger l'eau de surface et l'eau souterraine. Une méthode doit être prévue pour prévenir le remplissage excessif des réservoirs de stockage de cyanure (autre que l'observation directe et la jauge manuelle), telle qu'un indicateur de niveau automatique, une alarme de haut niveau ou un système intégré de réservoir et d'arrêt de valve.

Les zones de stockage du cyanure doivent être bien aérées afin d'empêcher l'accumulation de gaz de cyanure d'hydrogène. Des mesures telles que le stockage sous un toit et surélevé par rapport au sol ou dans des conteneurs sûrs doivent être mises en place afin de minimiser le potentiel de contact du cyanure avec l'eau. Le cyanure doit être stocké dans un lieu sûr interdit au public, tel que derrière les grilles d'une exploitation/usine ou dans un endroit clôturé et verrouillé. Le cyanure ne doit pas être stocké avec des acides, des oxydants très puissants, des explosifs, des denrées alimentaires, des aliments pour animaux, du tabac ou d'autres matières incompatibles. Des bermes, des digues de sécurité ou d'autres barrières doivent être utilisées afin d'empêcher tout mélange.

Le stockage du cyanure et les réservoirs de mélange doivent être situés sur une surface en béton afin d'empêcher tout suintement dans la sous-surface. Le confinement secondaire doit être utilisé pour confiner tout rejet des réservoirs et pour toute précipitation susceptible d'entrer en contact avec le cyanure. Des dispositions doivent être prises pour la récupération et le retour au processus de cyanuration ou le traitement adéquat de l'eau contaminée ou des fuites de cyanure.

Les conteneurs de confinement secondaire utilisés à ces fins doivent être construits de béton, d'asphalte, de plastique ou d'autres matières qui peuvent constituer une barrière matérielle valable. Les conteneurs de confinement, qui peuvent inclure de multiples conteneurs reliés par des tuyaux, doivent pouvoir contenir un volume de fuite plus important que celui du plus gros réservoir et que celui de tout tuyau se vidangeant dans le système de confinement ; ils doivent également offrir une capacité supplémentaire en cas d'événement pluvio-hydrologique. Des procédures doivent être mises en place afin de prévenir tout déversement dans l'environnement de toute solution de traitement ou de toute précipitation contaminée avec du cyanure qui est recueillie dans une zone de confinement secondaire.

Les exploitations doivent utiliser des procédures de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité pour la construction des fondations, des réservoirs de stockage et de mélange, des installations de manutention des solutions et des systèmes de confinement afin de garantir que les objectifs de conception ont été atteints. Les dossiers doivent être gardés afin de documenter le respect de ces procédures.

Les réservoirs de stockage et de mélange de cyanure, ainsi que les pipelines connexes doivent être construits de ou revêtus de matières compatibles avec le cyanure et un pH élevé. Les réservoirs et les pipelines doivent être clairement identifiés comme contenant du cyanure et le sens du débit doit être indiqué sur les pipelines. Ces mesures doivent utiliser des étiquettes, des repères, des panneaux et autres marquages clairement lisibles.

Certaines juridictions utilisent aussi des codes de couleurs pour les réservoirs de cyanure et les tuyaux contenant du cyanure.

Norme de pratiques 3.2 :
Opérer les installations de déchargement, de stockage et de mélange à l'aide d'inspections, de maintenance préventive et de plans d'urgence afin de prévenir ou de confiner les rejets et pour contrôler et répondre aux expositions des employés.

Directive
Le déchargement, le stockage et le mélange de cyanure à une exploitation comprennent la manipulation de solutions concentrées de cyanure et de sels solides de cyanure et, de ce fait, représentent un potentiel d'exposition des employés et de rejets dans l'environnement avec des concentrations potentiellement toxiques de cyanure. L'utilisation de pratiques et de procédures appropriées pendant ces activités est essentielle pour protéger la santé et la sécurité des employés, prévenir les rejets et répondre avec efficacité à toute exposition ou à tout rejet.

Les exploitations doivent élaborer et mettre en œuvre un jeu de procédures écrites destinées à prévenir ou à contrôler les expositions et les rejets au cours du déchargement, du stockage et du mélange du cyanure. Ces procédures peuvent prendre la forme d'un manuel d'exploitation, de procédures d'exploitation standard, de listes de vérification, de panneaux, de documents de formation ou sous tout autre format écrit tant qu'elles traitent des éléments discutés ci-dessous, selon les sites et leurs activités de déchargement, de stockage et de mélange.

Les procédures doivent inclure des consignes d'utilisation de toutes les soupapes et de tous les raccords, et des exigences quant à l'utilisation d'un équipement personnel de protection. Les procédures de manutention du cyanure solide doivent inclure des mesures visant à garantir que les conteneurs ne sont ni fendus ni percés, et doivent donner des limites sur l'empilage de conteneurs. Les procédures de mélange doivent inclure des techniques afin de minimiser l'évolution du gaz de cyanure d'hydrogène, de prévenir la perte de cyanure solide et de garantir que la manutention et le traitement des conteneurs de cyanure vides respectent le Code.

Les exploitations doivent élaborer des procédures d'urgence pour répondre aux rejets et à l'exposition des employés susceptibles de se produire pendant le déchargement, le mélange et le stockage de cyanure. Ces plans doivent traiter des questions identifiées dans la section Principe 6, Sécurité des employés, et Principe 7, Intervention d'urgence, et peuvent être incorporés au plan global d'intervention d'urgence de l'exploitation.

Au moins deux personnes doivent aussi être présentes lors du déchargement de cyanure liquide de manière à ce que l'une des deux soit prête à réagir immédiatement en cas d'une exposition. Ces personnes, qui peuvent être issues de l'exploitation ou de la société de transport, doivent être formées aux procédures de déchargement utilisées sur ce site, ainsi qu'aux procédures applicables d'intervention d'urgence en cas d'exposition des employés et de la communauté, et de rejet dans l'environnement. La surveillance vidéo à distance

peut être utilisée au lieu d'un second « observateur » pendant le déchargement du cyanure liquide.

Au moins deux personnes doivent aussi être présentes lors du mélange du cyanure avec l'eau à moins qu'un système automatisé ou un système de surveillance vidéo à distance ne soient utilisés. Les procédures recommandées du fabricant de cyanure quant au mélange ou des procédures spécifiques au site doivent être suivies de très près afin de minimiser la possibilité d'exposition des employés. Le pH de l'eau du mélange doit être suffisamment élevé afin de minimiser l'évolution du gaz de cyanure d'hydrogène. Le pH exact nécessaire dans une exploitation donnée dépend de la concentration de cyanure dans la solution, de la composition chimique de l'eau et des commandes intégrées au système de mélange.

Un équipement de premiers secours et d'intervention d'urgence doit être facilement disponible sur les lieux de déchargement, de stockage et de mélange, y compris de l'eau à pH élevé pour la décontamination des employés exposés, de l'oxygène, un réanimateur et un équipement de protection personnelle adéquat. Un antidote à l'empoisonnement au cyanure doit aussi être disponible. Cependant, même si tout individu formé peut donner de l'oxygène et/ou du nitrite de pentyle, seul du personnel médical certifié peut donner des antidotes par voie intraveineuse. Un moyen de communication ou d'avertissement, tel qu'une radio, un téléphone ou un système d'alarme doit aussi être disponible pour permettre d'appeler à l'aide en cas d'exposition. Les travailleurs impliqués dans le déchargement, le stockage et le mélange doivent être formés à l'utilisation de l'équipement de secours d'urgence et aux procédures de premiers soins pour répondre aux expositions au cyanure comme l'aborde la section Principe 8, Formation.

L'équipement de neutralisation et de nettoyage des déversements doit aussi être facilement disponible sur les lieux de déchargement, de stockage et de mélange. Cet équipement peut inclure de l'eau pour le nettoyage des déversements de cyanure liquide, des pelles pour le nettoyage des déversements de cyanure solide, et des produits chimiques afin de traiter ou de neutraliser le cyanure et les sols contaminés par le cyanure, ainsi qu'un équipement de protection personnel spécifique au cyanure. Veuillez consulter la directive pour la norme de pratiques 7.5 au sujet du traitement du cyanure. Le personnel impliqué dans le déchargement, le stockage et le mélange doit être formé aux procédures de l'exploitation pour répondre aux déversements de cyanure, y compris les avertissements, le nettoyage et la détoxification.

Les zones de stockage, les pipelines, les pompes, les soupapes et les réservoirs doivent être inspectés à intervalles réguliers pour vérifier l'absence de fuites, la présence de solution dans le système de confinement secondaire et l'intégrité du confinement. Les défaillances doivent être notées et les dossiers gardés pour documenter l'inspection et la mise en œuvre des mesures correctives nécessaires.

Les conteneurs de cyanure vides ne doivent pas être réutilisés sur le site de la mine ou à l'extérieur sinon pour contenir du cyanure. Avant l'élimination ou la réutilisation, les barils de cyanure doivent être rincés trois fois avec de l'eau à pH élevé pour enlever les

résidus de cyanure. Toute l'eau de rinçage doit être ajoutée au processus de cyanuration ou doit être considérée comme contenant du cyanure et doit être jetée selon un processus qui respecte l'environnement. Le baril rincé peut alors être écrasé et placé dans une décharge. Les sacs et garnitures en plastique doivent aussi être rincés trois fois avant d'être jetés. Les caisses en bois sont difficiles à décontaminer avec efficacité ; il faut partir du principe qu'elles sont entrées en contact avec du cyanure et qu'elles doivent être brûlées ou jetées selon un processus qui respecte l'environnement. Les conteneurs de cyanure qui sont spécifiquement destinés à être rendus au fournisseur pour réutilisation ne doivent pas nécessairement être rincés, mais tout résidu à l'extérieur du conteneur doit être rincé et géré selon le Code ; le conteneur doit également être bien fermé pour l'expédition.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Principles on Cyanide Management for Gold Mining, Chambre des mines d'Afrique du Sud, juin 2001
- Best Practice Environmental Management In Mining, Cyanide Management ; Environment Australia, juin 1998
- Principles for Storage, Handling and Distribution of Alkali Cyanides ; Cyanides Sector Group, European Chemical Industry Council (CEFIC), décembre 1997
- Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in Mining, British Columbia Technical and Research Committee on Reclamation, Cyanide Subcommittee, décembre 1995
- Cyanide Management Principles, Department of Minerals and Energy, Australie occidentale, juillet 1992
- Les directives du fabricant de cyanure et les réglementations gouvernementales là où elles ont été établies.

4. EXPLOITATIONS **Gérer les solutions de traitement contenant du cyanure et la production de déchets afin de protéger la santé des hommes et l'environnement.**

Norme de pratiques 4.1
Mettre en œuvre la gestion et l'exploitation de systèmes conçus pour protéger la santé des hommes et l'environnement y compris la planification d'urgence, ainsi que les procédures d'inspection et de maintenance préventive.

Directive
Des systèmes de gestion écrits, incluant des plans et des procédures, sont le lien entre la conception d'un site et son exploitation. Chaque jour, ces systèmes fournissent une méthode permettant de garantir que les paramètres opérationnels sont cohérents par rapport aux critères de conception et aux hypothèses de calcul. Même si des plans formalisés sont suggérés, le Code n'exige pas de l'exploitation qu'elle compile ses procédures dans des formats ou des documents spécifiés ou que les procédures nécessaires de gestion du cyanure soient documentées à part des autres plans et procédures d'exploitation, de formation ou de protection de l'environnement d'une exploitation. Les procédures peuvent prendre la forme de manuels, de procédures

d'exploitation standard, de listes de vérification, de panneaux, de documents de formation ou tout autre format et elles peuvent être séparées pour la gestion du cyanure ou être jointes à d'autres documents, tant qu'elles montrent que l'exploitation comprend la nécessité de gérer le cyanure afin de prévenir ou de contrôler les rejets dans l'environnement et les expositions des employés et de la communauté.

Les plans ou les procédures d'exploitation doivent être élaborés et mis en œuvre pour les installations neuves et existantes telles que les usines de lessivage, les entités de lixiviation, les bassins d'accumulation de résidus, les entités de traitement du cyanure, les systèmes de régénération et d'élimination pour l'utilisation, la gestion et l'élimination du cyanure et des solutions contenant du cyanure.

Les plans ou procédures doivent décrire les pratiques standard nécessaires pour l'exploitation sûre et respectueuse de l'environnement de l'entité et les mesures spécifiques nécessaires pour la conformité au Code, telles que les inspections et les activités de maintenance, et identifier les hypothèses et les paramètres sur lesquels la conception de l'entité est basée. Ils doivent aussi identifier toute exigence réglementaire nécessaire pour prévenir ou contrôler les rejets et les expositions de cyanure, dont des exemples incluent le franc-bord exigé pour la sûreté des bassins et des retenues et les concentrations de cyanure dans les résidus sur lesquels les mesures de protection de la faune ou les limites de permis sont basées.

Le système de gestion doit aussi inclure les procédures visant à identifier à quel moment la conception et les pratiques d'exploitation initiales sur le site ont été ou seront changées et les procédures visant à exiger un changement des pratiques de gestion du cyanure. Par exemple, la conception d'origine d'une entité est peut-être basée sur l'élimination de résidus avec une concentration de cyanure à acide faible dissociable (WAD) suffisamment basse, rendant toute mesure supplémentaire de protection de la faune inutile. Cependant, si la mine rencontre du minerai avec un contenu élevé de cuivre, les concentrations plus fortes de cyanure nécessaires pour une lixiviation efficace peuvent produire une solution de résidus dangereuse pour les oiseaux. De ce fait, un changement de la procédure est justifié afin de prévenir l'exposition des oiseaux à une solution de résidus susceptible d'avoir une forte concentration de cyanure. Par exemple, la procédure peut exiger le mélange de types de minerais ou l'utilisation d'une destruction du cyanure ou d'une entité de régénération, afin de faire face à ce problème.

Les systèmes de gestion et les plans ou procédures d'exploitation doivent aussi prévoir les situations où le bilan hydrique change dans une entité, lorsque des inspections ou des activités de surveillance identifient un problème et lorsqu'une fermeture temporaire ou la cessation de l'exploitation peuvent s'avérer nécessaires. La planification anticipée de ces situations permet des réponses rapides et minimise les risques d'exposition et de rejet de cyanure.

Divers programmes et directives peuvent être utiles comme modèles de développement de systèmes de gestion environnementale. L'*ISO 14000 de l'Organisation internationale de normalisation*, la *BS 7750* du *British Standards Institute, le Système de management*

environnemental et d'audit de la *Commission européenne (EMAS)* et les *Principes directeurs pour les entreprises multinationales, V. Environment* de l'*Organisation de coopération et de développement (OCDE)* offrent tous des cadres pouvant être utilisés par une exploitation comme base de son système de gestion du cyanure. Cependant, le Code n'exige pas l'utilisation d'une seule approche à la gestion de l'environnement et n'accepte pas non plus de tels systèmes à la place du développement et de la mise en œuvre des plans et des procédures identifiés dans le Code.

Les installations doivent être inspectées à intervalles établis pour garantir qu'elles fonctionnent selon les critères de conception. Même si les besoins d'inspections spécifiques dépendent des installations sur un site donné et du degré d'instrumentation automatisée, certaines inspections visuelles sont généralement nécessaires sur la plupart des sites. Les réservoirs de solutions de traitement doivent être inspectés pour vérifier leur intégrité structurale et l'absence de corrosion et de fuites. Les conteneurs de confinement secondaire doivent être inspectés pour vérifier leur intégrité, la présence de liquides, leur capacité disponible et pour garantir que les drains sont fermés et, le cas échéant, verrouillés afin de prévenir les rejets accidentels dans l'environnement. Les systèmes de détection de fuites et de collecte sur les tapis et les retenues de lixiviation doivent être inspectés selon les exigences des documents de conception. Les pipelines, les pompes et les soupapes doivent être inspectés pour vérifier l'absence de signes de détérioration et de fuites. Les bassins doivent être inspectés au niveau des paramètres identifiés comme essentiels dans les documents de conception concernant le confinement du cyanure et des solutions, le maintien du bilan hydrique (comme le franc-bord disponible) et l'intégrité des structures pour le détournement de l'eau de surface et des écoulements.

Les inspections des installations doivent être documentées sur des formulaires d'inspection, dans des registres ou par d'autres moyens, et doivent inclure la date de l'inspection, le nom de l'inspecteur et toute défaillance observée. La nature et la date des actions correctives doivent aussi être documentées.

Des programmes de maintenance préventive doivent être mis en œuvre et leurs activités documentées afin de garantir que l'équipement et les dispositifs nécessaires à la gestion du cyanure fonctionnent sans interruption. Les pompes, les pipelines, le traitement et l'équipement de destruction/régénération sont des exemples d'équipements qui doivent être maintenus à intervalles réguliers de manière à ce que les pannes ne causent pas d'exposition des employés ou de rejets dans l'environnement.

Les exploitations doivent être dotées d'une source d'alimentation d'urgence pour les pompes et autres équipements afin de prévenir les rejets et l'exposition des employés involontaires en cas d'interruption de l'alimentation primaire. L'équipement de génération d'électricité de secours doit être maintenu et testé afin de garantir sa viabilité et ses réserves.

Norme de pratiques 4.2
Introduire des systèmes de gestion et d'exploitation afin de minimiser l'utilisation du cyanure, limitant de ce fait les concentrations de cyanure dans les résidus de l'extraction.

Directive
Le fait de limiter l'utilisation du cyanure au maximum représente des avantages environnementaux et économiques car la réduction de la concentration du cyanure diminue le risque de suintement potentiel et d'expositions dangereuses de la faune, et le fait de minimiser la quantité de cyanure devant être transportée vers le site permet de diminuer le potentiel de rejets liés au transport.

Tandis que les installations doivent utiliser la quantité de cyanure déterminée comme nécessaire sur la plan métallurgique pour l'extraction efficace du métal précieux, les exploitations doivent utiliser les essais de cyanuration en bouteille ou d'autres procédures de test afin de déterminer la quantité optimale de cyanure, et elles doivent réévaluer et modifier les taux d'ajout le cas échéant en cas de changement de type de minerai ou de pratiques d'usine. Les exploitations doivent aussi évaluer diverses stratégies de contrôle pour l'ajout de cyanure, telles que le prélèvement périodique d'échantillons et la mise en place de systèmes automatisés afin d'optimiser l'efficacité, de réduire les concentrations de cyanure dans les résidus de cyanure et/ou les solutions recyclées, et ensuite elles doivent mettre en œuvre la stratégie choisie.

Norme de pratiques 4.3 :
Mettre en œuvre un programme de gestion d'eau complet afin de se protéger contre tout rejet involontaire.

Directive
La gestion adéquate de la solution de traitement et des eaux pluviales est essentielle pour la prévention de rejets émanant de bassins d'accumulation de résidus et de retenues de solution. Un bilan hydrique complet doit être élaboré afin de définir les paramètres nécessaires pour la conception et l'exploitation de ces installations. L'inspection et la surveillance destinées à maintenir le bilan hydrique doivent faire partie des procédures d'exploitation de l'installation, afin de prévenir de ce fait une accumulation excessive d'eau susceptible de résulter en un déversement intempestif, en un rejet imprévu dans l'environnement et en une panne structurelle potentielle des installations.

Le bilan hydrique doit être probabiliste de nature, en prenant en compte l'incertitude et la variabilité inhérentes à la prévision des configurations de précipitations. Ceci signifie qu'il est essentiel de considérer les fourchettes de précipitation et d'évaporation, les variations extrêmes et saisonnières, ainsi que les conditions moyennes. Même si un bilan hydrique doit être développé selon les spécificités du site, certains facteurs de base doivent être pris en compte dans tous les cas.

Les taux auxquels les solutions sont appliquées aux tapis et les résidus sont déposés dans les bassins de lixiviation sont des critères de conception critiques pour déterminer la taille des installations. Une fois définis (à moins que d'autres modifications d'ingénierie ne soient effectuées), ces taux limitent la quantité de résidus pouvant être rejetés en sécurité dans un bassin et le volume de solution de lavage pouvant circuler dans une exploitation de lavage.

La conception des installations doit être basée sur une durée d'orage et un intervalle de retour qui offrent un degré de probabilité suffisant de manière à éviter le déversement de la retenue ou du bassin. Dans la mesure où les précipitations tombant sur les installations et l'évaporation en découlant peuvent représenter un ajout et une perte d'eau significatifs dans le système, ces taux doivent être évalués régulièrement (généralement tous les mois) pour tenir compte des variations saisonnières des conditions atmosphériques. La sélection des événements et leur intervalle de récurrence doivent être basés sur la période anticipée de l'exploitation, les modèles de répartition des chutes de pluie, la sécurité relative, les risques liés à la santé et à l'environnement sur le site, les exigences réglementaires applicables et une marge adéquate de sécurité. Les exemples incluent, mais sans s'y limiter, les conceptions pour le confinement d'un événement sur 100 ans par 24 heures (le plus de précipitations anticipées pendant une période de 24 heures tous les cent ans) et un événement sur 50 ans par 72 heures (le plus de précipitations anticipées pendant une période de 72 heures tous les cinquante ans). La qualité des données existantes est aussi un facteur, et des suppositions ou des ajustements prudents sont peut-être à prendre en compte lorsque des données à long terme ne sont pas disponibles ou lorsque les seules données disponibles ne représentent pas les conditions réelles sur le site.

Le volume de précipitations entrant dans une retenue ou un bassin résultant de l'écoulement de surface en provenance du bassin hydrographique en amont doit être pris en compte dans le bilan hydrique. Tandis que l'événement pluvio-hydrologique utilisé pour calculer l'apport en amont sera au moins le même que celui utilisé pour les précipitations tombant directement sur les installations, il peut être nécessaire d'augmenter le volume anticipé de précipitations si le bassin hydrographique inclut un terrain beaucoup plus élevé, pour prendre en compte l'infiltration dans le sol et l'écoulement entrant dans les installations.

Dans les régions recevant des précipitations telles que de la neige ou de la glace, un « stock » de précipitations peut s'accumuler pendant des semaines ou des mois pendant le gel et être rejeté en un seul apport pendant le dégel. La possibilité d'un tel événement doit être prise en compte dans les régions sujettes à de telles conditions.

Pour les retenues de lixiviation, le bilan hydrique doit aussi inclure une évaluation de la quantité de solution qui peut drainer du tas à une retenue avant que la capacité de pompage ne puisse être restaurée. Des paramètres spécifiques au site, tels que la hauteur et la porosité du tas, doivent être pris en considération avec l'événement pluvio-hydrologique et d'autres scénarios d'échec potentiel tels que la défaillance d'un tuyau.

Une période de 48 heures est utilisée par certaines juridictions pour les calculs d'écoulement.

Le bilan hydrique doit aussi prendre en compte diverses pertes de solution en plus de l'évaporation. Elles incluent la capacité de décantation, les systèmes de drainage et de recyclage utilisés pour renvoyer la solution dans le traitement, le suintement vers la sous-surface autorisé par la juridiction applicable, et l'autorisation ou non accordée aux installations de déverser la solution vers l'eau de surface. Là où des pompes et d'autres équipements sont utilisés pour retirer la solution des retenues et des bassins, le bilan hydrique doit prendre en compte les pannes d'électricité éventuelles ou les pannes de l'équipement, et la disponibilité d'équipements et d'alimentation de secours.

Là où le déversement vers l'eau de surface est permis et estimé nécessaire pour faire face à la conception du site et aux conditions climatiques, la capacité des systèmes de régénération, de destruction ou de traitement du cyanure doit être prise en compte dans le bilan hydrique. De plus, la disponibilité en ligne de ces systèmes et les implications de leur panne ou du temps d'arrêt pour l'entretien doivent être prises en compte dans le bilan hydrique et la capacité de stockage des installations.

D'autres aspects de la conception des installations peuvent avoir des conséquences directes sur le mode de détermination du bilan hydrique, et ces facteurs doivent être inclus lors du calcul du volume d'eau pouvant être stocké dans le bassin. Par exemple, l'analyse de la stabilité du barrage ou du suintement potentiel d'un bassin d'accumulation de résidus peut être basée sur une surface phréatique supposée dans le barrage.

Les bassins ou les retenues doivent être conçus pour maintenir un franc-bord adéquat entre le niveau du bassin ou de la retenue et le niveau de solution maximum déterminé comme étant nécessaire à partir des calculs du bilan hydrique. Des hauteurs de 0,5 à 1 mètre sont des exemples des exigences en matière de franc-bord qui figurent souvent dans de nombreuses réglementations et directives comme facteur de sécurité et pour prendre en compte l'influence de vagues potentielles dans les centres de stockage des résidus. Un franc-bord plus élevé peut être nécessaire dans les retenues de lixiviation dans la mesure où leur superficie est généralement plus petite que celle des centres de stockage des résidus, et où elles se remplissent plus rapidement en cas d'augmentation des précipitations.

L'utilisation d'un pluviomètre est nécessaire à moins que des données sur les précipitations quotidiennes ne soient disponibles d'une source à proximité représentative des conditions propres au site. Les données sur les précipitations doivent être comparées aux hypothèses utilisées pour la conception des utilisations, et les pratiques d'exploitation doivent être examinées et révisées le cas échéant pour prendre en compte les précipitations vraiment mesurées.

Norme de pratiques 4.4 :
Mettre en œuvre des mesures pour protéger les oiseaux, d'autres espèces de la faune et le bétail des effets nocifs des solutions de traitement contenant du cyanure.

Directive
Les solutions de traitement stockées dans un centre de stockage des résidus (CSR), des centres de lixiviation et des retenues de solution peuvent attirer les oiseaux, la faune et le bétail. Une concentration de 50 mg/l de cyanure WAD ou plus faible dans la solution est généralement considérée comme protégeant de la mortalité du bétail et de la plupart des espèces de la faune autres que les organismes aquatiques. Là où les oiseaux, la faune et le bétail ont accès à l'eau stockée dans les centres de stockage des résidus (CSR), les centres de lixiviation ou les retenues de solution, les exploitations doivent mettre en œuvre des mesures visant à limiter la concentration de cyanure WAD à un maximum de 50 mg/l. Diverses méthodes de traitement sont disponibles pour réduire les concentrations de cyanure dans les effluents pour parvenir à cette concentration.

Des mesures doivent être instituées pour limiter l'accès de la faune et du bétail pour toutes les eaux libres où le cyanure WAD excède 50 mg/l. Ces mesures incluent les clôtures, le remplissage du recueil de solution de lixiviation et des fossés de transport avec du gravier, ainsi que la couverture ou la pose de filets sur l'eau des fossés, des retenues et des bassins. Dans la plupart des cas, les techniques de dissuasion telles que l'utilisation de canons à air ne sont pas efficaces. Les clôtures sont aussi adéquates dans la plupart des cas afin d'empêcher l'accès non autorisé et l'exposition potentielle des hommes.

Les méthodes d'application de solution pour les centres de lixiviation doivent être élaborées et utilisées pour éviter un engorgement de surface significatif à la surface du tas et limiter la pulvérisation hors cible de solution à partir du revêtement du tas. Cela doit empêcher le contact avec les oiseaux et d'autres espèces de la faune, ainsi que la contamination potentielle du sol, de l'eau de surface et de l'eau souterraine avoisinants. L'engorgement de surface sur un centre de lixiviation peut indiquer une saturation en profondeur dans le tas susceptible de provoquer une défaillance structurelle et le rejet de solution de traitement dans l'environnement.

Norme de pratiques 4.5 :
Mettre en œuvre des mesures de protection des poissons et de la faune contre les déversements directs et indirects de solution de traitement contenant du cyanure dans l'eau de surface.

Directive
Les solutions de traitement peuvent être déversées directement ou indirectement dans les eaux de surface. Un déversement direct typique serait un déversement autorisé d'eau de résidus dans un cours d'eau, tandis qu'un déversement indirect serait le suintement d'un centre de stockage des résidus qui s'écoule sur la surface ou à travers la sous-surface et pénètre dans un cours d'eau. Les déversements directs dans l'eau de surface peuvent être nécessaires dans les régions où les précipitations excèdent l'évaporation. Les exploitations doivent mettre en œuvre des mesures pour la protection contre et la gestion

des déversements indirects de manière à ce que les concentrations de cyanure ne soient pas dangereuses pour les poissons et la faune dans ces eaux de surface.

Les déversements dans les eaux de surface ne doivent pas dépasser 0,5 mg/l de cyanure WAD et ne doivent pas résulter en une concentration de cyanure libre supérieure à 0,022 mg/l dans la masse d'eau de surface réceptrice et en aval de toute zone de mélange approuvée par la juridiction applicable. La directive de 0,022 mg/l provient des National Water Quality Criteria for Cyanide établis par l'Environmental Protection Agency américaine et représente une concentration à laquelle une communauté aquatique d'eau douce peut être brièvement exposée sans causer un effet inacceptable.

La limite de quantification la plus faible (LQF) pour l'analyse du cyanure libre à laquelle parviennent la plupart des laboratoires est 1 mg/l. (Voir : http://cyanidecode.org/cyanide_sampling.php) Si le laboratoire d'analyse ne peut pas déterminer avec précision le respect de la valeur 0,022 mg/l, l'exploitation peut démontrer la conformité en déterminant la concentration de cyanure libre dans le déversement et en calculant la concentration qui en résulte après dilution dans la zone de mélange (le cas échéant). Si la concentration de cyanure libre du déversement se situe en-dessous de la limite analytique de quantification, l'exploitation doit déterminer la concentration de cyanure WAD dans le déversement, il faut partir du principe que tout le cyanure WAD est du cyanure libre et calculer la concentration obtenue après dilution dans la zone de mélange (le cas échéant). Les exploitations peuvent aussi appliquer le test de la biotoxicité en utilisant des espèces et des techniques acceptées par la juridiction applicable.

Des niveaux de cyanure libre de 0,022 mg/l ne sont peut-être pas appropriés dans tous les cas, dans la mesure où la sensibilité de la vie aquatique au cyanure varie selon les espèces présentes et les caractéristiques de l'eau réceptrice. Il est généralement nécessaire de traiter ou de régénérer le cyanure avant son déversement afin de parvenir à 0,022 mg/l de cyanure libre en aval de la zone de mélange. De nombreuses juridictions ont leurs propres normes numériques spécifiques pour les déversements dans l'eau de surface ou la qualité de l'eau de surface, ou peuvent limiter les espèces de cyanure autres que le cyanure libre.

Le traitement peut être passif (permettant un temps de séjour suffisant dans un bassin pour que les processus naturels réduisent les concentrations de cyanure ou l'utilisation de terres humides) ou actif (utilisant une des technologies disponibles pour oxyder le cyanure ou régénérer le cyanure d'hydrogène pour réutilisation dans la production). Il faut noter que certaines méthodes de traitement peuvent augmenter la concentration des produits de la dégradation du cyanure (tels que le cyanate, l'ammoniac et le nitrate) dans le déversement. Ces substances elles-mêmes peuvent être dangereuses pour les poissons et la faune. Même si le contrôle de ces substances n'est pas couvert par le Code, les exploitations utilisant de tels systèmes de traitement doivent évaluer les effets des produits de la dégradation du cyanure sur les poissons et la faune exposés et prendre les mesures nécessaires à leur protection.

La surveillance de la qualité de l'eau de surface à la fois en aval et en amont d'une installation dédiée au cyanure peut permettre de déterminer si un déversement indirect provoque des concentrations dangereuses de cyanure dans l'eau de surface. Dans un tel cas, le déversement doit être arrêté dès que possible ou intercepté et recueilli. Le bilan hydrique et les critères de conception d'un centre de stockage des résidus doivent être examinés afin de déterminer si le suintement provient d'une gestion inadaptée de l'eau. Un suintement impossible à arrêter doit être recueilli dans des tranchées, des retenues ou des puits, avant d'être renvoyé dans le processus de production ou, le cas échéant, traité de la manière adéquate et déversé.

Norme de pratiques 4.6 :
Mettre en œuvre des mesures destinées à gérer le suintement des installations dédiées au cyanure afin de protéger les usages bénéficiaires de l'eau souterraine.

Directive
Des mesures destinées à gérer le suintement des solutions de lixiviation et de résidus doivent être incorporées dans la conception et la construction des installations afin de protéger les usages bénéficiaires existants de l'eau souterraine et/ou les usages bénéficiaires désignés par la juridiction applicable. Là où l'usage bénéficiaire de l'eau souterraine a souffert, les exploitations minières doivent mettre en œuvre des mesures correctives afin de protéger l'eau contre une plus grande dégradation et de restaurer les utilisations bénéficiaires au lieu de surveillance applicables ou aux points de conformité.

Pour les tapis de lixiviation et les retenues de solution de lixiviation, ceci signifie l'obligation d'un revêtement avec au minimum une membrane synthétique, telle que du polyéthylène à basse ou haute densité, PEHD ou PEBD, placée sur un revêtement de terre compacté et préparé. Ce système et d'autres systèmes de revêtement, tels que ceux composés de deux membranes synthétiques, peuvent être conçus et élaborés avec des systèmes de détection de fuites et de récupération entre les revêtements là où existe une charge hydraulique (c'est-à-dire une retenue de solution ou des tranchées de recueil de solution internes d'un tapis de lixiviation en tas) pour permettre une surveillance des fuites à intervalles réguliers.

La vérification de la protection des usages bénéficiaires de l'eau souterraine est basée sur des données et non sur l'utilisation d'une technologie particulière. Certaines techniques existent pour limiter et contrôler le suintement des centres de stockage des résidus ; elles sont identifiées à des fins d'information seulement, et ne sont pas censées constituer des éléments vérifiables du Code :

1. La limitation de la charge hydraulique en limitant la superficie des retenues va réduire la force entraînant la solution dans la sous-surface. Le fonds de terre d'un bassin peut être compacté dans son état naturel ou par l'ajout d'argiles afin de former un revêtement.
2. Des méthodes de dépôt peuvent être utilisées pour encourager le compactage des résidus et réduire leur perméabilité.

3. Des conceptions de barrages permettent d'encourager le drainage dans un système de recueil et non pas dans la sous-surface, et des tranchées de parafouille peuvent être utilisées pour intercepter et recueillir des suintements peu profonds avant qu'ils n'atteignent l'eau souterraine.
4. Des actions correctives telles que des systèmes de pompage peuvent aussi être utilisées pour gérer les flux en sous-surface et empêcher les panaches d'eau souterraine existants d'atteindre des récepteurs potentiels et d'interférer avec les usages bénéficiaires de l'eau souterraine.

Le besoin de et la nature des mesures de contrôle des suintements sont très dépendants des conditions hydrogéologiques spécifiques au site. De tels systèmes doivent donc être pris en compte dans la conception d'origine d'un centre de stockage des résidus et incorporés dans le plan d'exploitation des installations afin de protéger les usages bénéficiaires de l'eau souterraine. Toute mesure visant à limiter ou à contrôler les suintements d'un centre de stockage des résidus doit être intégrée à la conception globale des installations et est directement liée à la stabilité globale des structures.

Des informations sur la conception et la construction des CSR sont disponibles dans les bulletins nº 74, 97, 98, 101, 102, 104, 106 et 121 publiés par la Commission internationale des grands barrages, la CIGB, ainsi que dans les documents élaborés par de nombreuses juridictions politiques.

Là où les résidus de l'extraction sont utilisés comme remplissage souterrain, l'exploitation doit déterminer quelles sont les concentrations de cyanure dans la phase liquide et évaluer les risques pour la sécurité des employés et la qualité de l'eau souterraine. Là où les employés risquent d'être exposés au gaz de cyanure d'hydrogène ou le cyanure risque d'être rejeté dans l'eau souterraine, les traitements visant à la conversion sur le plan chimique, au retrait du cyanure disponible ou à la transformation en des formes inoffensives pour la santé des employés ou les usages bénéficiaires de l'eau souterraine ou bien d'autres actions appropriées doivent être mis en œuvre.

Norme de pratiques 4.7 :
Offrir des méthodes de prévention ou de confinement des déversements pour les réservoirs de traitement et les pipelines.

Directive
Les réservoirs contenant des solutions de traitement comme les cuves de lavage, les réservoirs de CIL et de CIP et les réservoirs de cyanure associés à la régénération du cyanure doivent être placés sur du béton ou une matière imperméable au suintement de la solution déversée. Le confinement secondaire doit être prévu en cas de défaillance des réservoirs de solution de traitement contenant du cyanure, avec des dispositions concernant la récupération de la solution déversée ou l'assainissement de tout sol contaminé le cas échéant afin de protéger l'eau de surface et l'eau souterraine. Les conteneurs de confinement doivent pouvoir contenir un volume de fuite plus important que celui du plus gros réservoir et que celui de tout tuyau se vidangeant dans le système

de confinement, et ils doivent offrir une capacité supplémentaire en cas d'événement pluvio-hydrologique.

Des mesures de prévention ou de confinement des déversements doivent aussi concerner les pipelines de solution de traitement. Des exemples incluent des fossés de confinement secondaire, la détection de la pression différentielle avec alarme et/ou systèmes de coupure automatiques, et des programmes de maintenance préventive avec mesures de l'épaisseur des tuyaux. Même si un programme d'inspections visuelles à intervalles réguliers doit aussi être entrepris, les inspections visuelles à elles seules ne sont généralement pas suffisantes à moins qu'elles ne soient menées à une fréquence permettant d'identifier et de prévenir des rejets significatifs. Si un rejet de solution de traitement en provenance d'un pipeline risque d'avoir des effets nocifs sur l'eau de surface, par exemple là où les tuyaux traversent des cours d'eau, les exploitations doivent évaluer le besoin d'une protection spéciale telle que l'utilisation de tuyaux à paroi double.

Les réservoirs et les pipelines de traitement de cyanure doivent être construits ou revêtus de matières compatibles avec le cyanure et des pH élevés. Les réservoirs et les pipelines doivent être clairement identifiés comme contenant du cyanure. Le sens du débit doit être indiqué sur les pipelines. Ces mesures doivent utiliser des étiquettes, des repères, des panneaux et autres marquages clairement lisibles. Certaines juridictions utilisent aussi des codes de couleurs pour les réservoirs de cyanure et les tuyaux contenant du cyanure.

Norme de pratiques 4.8 :
Mettre en œuvre des procédures de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité afin de confirmer que les unités de cyanuration sont construites selon les normes et les caractéristiques acceptées en matière d'ingénierie.

Directive
Les installations de gestion du cyanure doivent être construites selon les normes et les caractéristiques acceptées en matière d'ingénierie. Des programmes de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité doivent être mis en œuvre pendant la construction de nouvelles installations et la modification d'installations existantes afin de garantir l'intégrité structurelle et la capacité de confiner en toute sécurité les solides et les solutions de traitement. Du personnel qualifié doit examiner la construction des installations et documenter que ces dernières ont été construites selon les plans proposés et approuvés.

Les installations existantes n'ont peut-être pas été soumises aux programmes de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité lors de leur construction initiale. En cas de l'absence d'archives, afin de garantir que les installations peuvent opérer en cohérence par rapport aux principes et normes de pratiques du Code, les installations doivent être inspectées par du personnel qualifié et un rapport doit être publié pour documenter les résultats.

Le programme de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité doit traiter de la conformité des matériaux de construction et de l'adéquation du compactage du sol pour

les travaux de terrassement tels que les fondations des réservoirs et les revêtements de terre pour les centres de lixiviation. Les procédures de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité sont aussi nécessaires pour l'installation des revêtements en membranes synthétiques utilisés dans les retenues et les tapis de lixiviation, pour les tuyaux, les raccords de tuyaux, les soudures et les boulons sur les réservoirs de traitement et de stockage du cyanure, et pour tout équipement contenant du cyanure. Des archives doivent être gardées pour documenter que des procédures spécifiques de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité ont été suivies.

La supervision par du personnel qualifié de toutes les phases de la construction et des tests, et des procédures bien définies pour l'approbation des modifications de la conception d'origine ou des techniques de construction constituent aussi des aspects importants des programmes de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité. Les documents de la CIGB déjà mentionnés, ainsi que les documents d'orientation élaborés par de nombreux pays individuels et diverses juridictions, fournissent des informations sur les programmes de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité au sujet de la construction de barrage et de bassins d'accumulation de résidus. En particulier, l'adéquation des matériaux de construction et le degré de compactage nécessaire pour les matériaux naturels sont d'une importance critique dans la plupart des conceptions de centres de stockage des résidus. D'autres paramètres peuvent aussi être extrêmement significatifs selon la conception en question.

Norme de pratiques 4.9 :
Mettre en œuvre des programmes de surveillance afin d'évaluer les effets de l'utilisation du cyanure sur la faune, ainsi que la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine.

Directive
Les programmes de surveillance jouent un rôle clé dans la prévention et l'identification des rejets, et offrent la base d'une formation efficace des employés. Les sites doivent élaborer des procédures standard par écrit pour la surveillance des activités et mener ces activités d'une manière uniforme et cohérente afin de garantir une bonne qualité.

Les exploitations doivent surveiller le niveau de cyanure des déversements dans l'eau de surface, et dans l'eau de surface et souterraine en amont et en aval du site afin de déterminer l'efficacité des systèmes de gestion actuels et de prendre les mesures correctives nécessaires. Les protocoles d'échantillonnage et d'analyse doivent être élaborés par du personnel qualifié et doivent spécifier, dans la mesure du possible, comment et où les échantillons doivent être prélevés, les techniques de conservation des échantillons, les procédures de la chaîne de possession et les espèces de cyanure à déterminer. Les conditions et les procédures d'échantillonnage doivent être documentées sur des formulaires standard écrits, dans des registres ou par d'autres moyens.

La surveillance doit être menée à des intervalles propres à caractériser le moyen étant surveillé et à identifier les changements à temps. La fréquence peut varier d'un site à l'autre, selon le volume de données existantes, la stabilité des paramètres et le débit de l'eau souterraine. Les déversements dans les eaux de surface sont généralement surveillés

tous les jours, tandis que la surveillance de l'eau de surface peut être hebdomadaire ou mensuelle. La surveillance de l'eau souterraine peut être mensuelle, trimestrielle ou plus espacée. La surveillance de la mortalité de la faune fait généralement partie de l'inspection quotidienne des unités de cyanuration.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes, Second Edition, T.I. Mudder, M.M Botz and A. Smith, Mining Journal Books, Limited, Londres, 2001
- Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences: lessons learnt from practical experiences, CIGB-PNUE, Bulletin 121, 2001
- Principles on Cyanide Management for Gold Mining, Chambre des mines d'Afrique du Sud, juin 2001
- Water Quality Protection Principles No. 1-11 ; Department of Minerals and Energy, Australie occidentale, mai 2000
- Bird Usage Patterns on Northern Territory Mining Water Tailings and their Management to Reduce Mortalities ; David Donato ; janvier 1999
- Principles on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage ; Department of Minerals and Energy ; Australie occidentale ; octobre 1999
- Best Practice Environmental Management In Mining, Cyanide Management ; Environment Australia, juin 1998
- Best Practice Environmental Management In Mining, Water Management ; Environment Australia, juin 1998
- Principles on the Development of an Operating Manual for Tailings Storage ; Department of Minerals and Energy ; Australie occidentale ; octobre 1998
- Best Practice Principles: Reducing Impacts of Tailings Storage Facilities on Avian Wildlife in the Northern Territory of Australia ; Northern Territory Department of Mines and Energy ; octobre 1998
- Minesite Water Management Handbook, Minerals Council of Australia, première édition, 1997
- Systèmes de management environnemental – Lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre ; Organisation internationale de normalisation, 1996
- Principles for Environmental Protection ; The Engineering Design, Operation and Closure of Metalliferous, Diamond and Coal Residue Deposits ; Volume 1/1979; Chambre des mines d'Afrique du Sud ; mars 1996
- Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in Mining, British Columbia Technical and Research Committee on Reclamation, Cyanide Subcommittee, décembre 1995
- Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects, Chapitre sur le contrôle de l'eau de surface - Water Balance, D.J.A. Van Zyl, I.P.G Hutchinson, and J.E. Kiel, Eds., Society of Mining Engineers, 1988
- http://cyanidecode.org/cyanide_sampling.php

5. *DECLASSEMENT* Protéger les communautés et l'environnement du cyanure par l'intermédiaire du développement et de la mise en œuvre de plans de déclassement pour les unités de cyanuration.

Norme de pratiques 5.1 :
Planifier et mettre en œuvre des procédures pour le déclassement efficace des unités de cyanuration afin de protéger la vie humaine, la faune et le bétail.

Directive
Avant le démarrage de nouvelles exploitations, les étapes nécessaires pour déclasser les unités de cyanuration doivent être déterminées afin que ces unités puissent être fermées d'une manière qui empêche tout impact nocif sur les hommes, la faune ou l'environnement.

Les questions liées au cyanure représentent une composante seulement du déclassement global d'un site et de la stratégie de fermeture. Une exploitation peut incorporer des procédures pour faire face au déclassement des unités de cyanuration dans son plan de fermeture de site global ou peut élaborer des procédures distinctes pour le déclassement et la fermeture. La stratégie choisie doit traiter des questions telles que l'élimination des réactifs de cyanure, la décontamination des équipements, le rinçage des tapis de lixiviation et les activités axées sur la préparation des centres de stockage des résidus pour fermeture, le retrait de l'eau de la surface des retenues ou la réduction de la concentration de cyanure à un niveau considéré comme protégeant la vie humaine et la faune, et l'installation de tout équipement nécessaire à la protection à long terme de la qualité de l'eau souterraine et/ou de surface pendant la fermeture des installations. Le plan doit aussi inclure des calendriers de mise en œuvre pour chaque activité. La stratégie de déclassement doit être examinée et révisée régulièrement pendant la vie de l'exploitation afin de prendre en compte les changements des installations ou le développement de nouvelles technologies de déclassement.

Norme de pratiques 5.2
Etablir un mécanisme d'assurance capable de financer complètement les activités de déclassement liées au cyanure.

Directive
Une exploitation minière doit estimer le coût de financement complet des mesures de déclassement liées au cyanure identifiées dans son plan pour le déclassement et la fermeture du site. L'estimation doit être basée sur le coût actuel pour une partie tierce de mise en œuvre des mesures de déclassement identifiées, et doit être révisée et mise à jour au moins une fois tous les cinq ans ou lorsque des révisions sont effectuées qui ont un impact sur les activités de déclassement liées au cyanure.

Une exploitation est considérée comme conforme à cette norme de pratiques si elle respecte suffisamment les exigences de garantie financière imposées par la juridiction politique applicable afin de couvrir les coûts de déclassement identifiés ci-dessus.

En cas d'absence d'exigence juridictionnelle pour la garantie financière du déclassement d'un site, une exploitation doit établir un mécanisme d'assurance capable de financer les coûts de ses activités de déclassement liées au cyanure. Une des options consiste en l'établissement d'un instrument financier tel qu'une obligation, une lettre de crédit ou une garantie du montant estimé être nécessaire aux activités de déclassement liées au cyanure. Si l'exploitation utilise l'assurance ou la garantie propres comme sa garantie financière, elle doit fournir une déclaration de la part d'un auditeur financier qualifié attestant qu'elle a la santé financière suffisante pour faire face à cette obligation comme le démontre une méthodologie d'évaluation financière acceptée telle que celles décrites dans l'Annexe A du U.S. Code of Federal Regulations à 40 CFR 264.143(f), 30 CFR 800.23, 10 CFR 30 ou dans les sections 13 à 20 des Ontario Regulations 240/00, Mineral Development and Closure, sous la Partie VII de l'Ontario Mining Act.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Strategic Framework for Mine Closure ; Australian and New Zealand Minerals and Energy Council and Minerals Council of Australia, 2000
- Best Practice Environmental Management In Mining, Rehabilitation and Revegetation ; Environment Australia, juin 1998
- Principles for Environmental Protection; The Engineering Design, Operation and Closure of Metalliferous, Diamond and Coal Residue Deposits ; Volume 1/1979 ; Chambre des mines d'Afrique du Sud ; mars 1996

6. *SECURITE DES EMPLOYES Protéger la santé et la sécurité des employés de l'exposition au cyanure.*

Norme de pratiques 6.1
Identifier les scénarios d'exposition potentielle et prendre les mesures nécessaires pour les éliminer, les atténuer et les contrôler.

Directive
Les fonctions et les tâches professionnelles doivent être évaluées afin de déterminer les scénarios et les voies d'exposition possibles. Des changements de processus ou des contrôles d'ingénierie doivent être développés et mis en œuvre afin d'éliminer ces expositions et de les réduire ou de les contrôler quand elles ne peuvent pas être éliminées.

Les exploitations doivent alors élaborer et documenter les procédures d'accomplissement de tâches liées au cyanure, telles que le déchargement, le mélange, les opérations d'usine, l'entrée dans des espaces confinés et la décontamination des équipements d'une manière qui minimise l'exposition des employés. Ces procédures doivent aussi aborder, le cas échéant, l'utilisation d'un équipement de protection personnelle spécifique au cyanure tel que des respirateurs, une protection de l'œil, des gants de protection ou des combinaisons, les inspections avant le travail, une intervention d'urgence, la surveillance du cyanure, les communications et la documentation. Les employés impliqués dans la gestion du cyanure doivent être formés à la manipulation du cyanure en toute sécurité pour eux-mêmes et leurs collègues. La formation doit aussi inclure l'utilisation adéquate de l'équipement de

protection personnelle, d'intervention d'urgence et des premiers soins en cas de contact avec le cyanure.

Les exploitations doivent aussi mettre en œuvre des procédures pour examiner tout processus futur proposé ou tout changement opérationnel quant à son impact potentiel sur la santé et la sécurité des employés, et pour incorporer toute mesure de protection des employés nécessaire.

Les employés représentent une source d'informations importante pour déterminer où et comment les expositions potentielles sont susceptibles de se produire et comment elles peuvent être gérées. La participation des employés par l'intermédiaire de réunions sur la sécurité, de boîtes à suggestion ou d'autres méthodes doit être prise en compte dans l'élaboration et l'évaluation des procédures de santé et de sécurité.

Norme de pratiques 6.2
Opérer et surveiller les installations dédiées au cyanure afin de protéger la santé et la sécurité des employés et d'évaluer à intervalles réguliers l'efficacité des mesures liées à la santé et à la sécurité.

Directive
Le pH d'une solution contenant du cyanure affecte considérablement la quantité de cyanure d'hydrogène émis et le risque pour les employés d'être exposés à des concentrations toxiques de gaz de cyanure d'hydrogène. Dans une solution aqueuse, l'ion cyanure s'hydrolyse pour former du cyanure d'hydrogène. A un pH compris entre 9,3 et 9,5, l'ion cyanure et le cyanure d'hydrogène sont à un certain équilibre. Un pH plus élevé résulte en de plus grandes concentrations d'ion cyanure. A un pH de 10, 88 % est sous la forme d'ion cyanure et lorsque le pH s'élève à 11, plus de 99 % prend la forme ionique. Au-dessous d'un pH entre 9,3 et 9,5, le cyanure d'hydrogène sera la forme prédominante du cyanure. Tandis que le cyanure d'hydrogène aqueux est soluble dans l'eau, il se volatilise rapidement avec des températures et des pressions qui se trouvent généralement dans les exploitations de cyanuration de l'or. De ce fait, le maintien des solutions de traitement à un pH suffisamment élevé est nécessaire pour prévenir avec efficacité l'émission de volumes significatifs de gaz de cyanure d'hydrogène. Cependant, dans une eau à forte salinité ou lors du traitement de certains types de minerais, la chimie des solutions limite les possibilités d'élévation du pH. Les exploitations doivent évaluer leurs solutions afin de déterminer le pH adéquat pour limiter l'émission du gaz de cyanure d'hydrogène, et d'élaborer des procédures d'exploitation et des contrôles destinés à réduire les risques courus par leurs employés.

Les changements de processus et les contrôles sur le plan de l'ingénierie ou de l'administration doivent être utilisés pour limiter l'exposition des employés au gaz de cyanure d'hydrogène ainsi qu'au cyanure de potassium et de sodium à 10 parties par million (11 mg/m^3) comme cyanure. Cette valeur est utilisée par la United States Occupational Safety and Health Administration, la Australian National Occupational Health and Safety Commission, le South African Department of Minerals and Energy et la Banque mondiale comme moyenne pondérée par le temps pour 8 heures, mais elle est

recommandée comme un plafond ou une limite instantanée. De plus, les employés ne doivent pas être exposés au gaz de cyanure d'hydrogène et à la poussière de cyanure de potassium et de sodium en suspension dans l'air à des concentrations supérieures à 4,7 parties par million (5 mg/m^3) comme cyanure pour une période de 8 heures consécutives ou plus. Cette valeur est recommandée par l'Association américaine des hygiénistes industriels (ACGIH) comme limite supérieure et par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) américain pour une limite d'exposition à court terme de 15 minutes. Là où les employés courent un risque d'exposition significative au gaz de cyanure d'hydrogène et à la poussière de cyanure de potassium et de sodium, l'exploitation doit surveiller les concentrations de cyanure d'hydrogène avec des dispositifs de surveillance ambiants et/ou personnels (automatiques ou manuels, passifs ou actifs) et évaluer les résultats afin de confirmer que les contrôles sont adéquats. L'équipement de protection personnelle spécifique au cyanure doit être exigé dans les zones et pour les activités où les contrôles de l'administration, de l'ingénierie ou du traitement ne sont pas possibles ou efficaces pour limiter les expositions des employés à un maximum de 10 parties par million ou lorsque le personnel est exposé à plus de 4,7 parties par million pour une période continue de 8 heures.

L'équipement de surveillance du cyanure doit être maintenu, testé et étalonné selon les instructions du fabricant, et les archives doivent être gardées pendant au moins un an. La nécessité de surveiller la présence de gaz de cyanure d'hydrogène est intensifiée là où la chimie de la solution est telle que le maintien d'un pH élevé dans les solutions de traitement est difficile.

Des panneaux d'avertissement doivent être placés là où le cyanure est utilisé et doivent alerter les employés à la présence de cyanure, à l'interdiction de fumer, de manger et de boire, à l'interdiction de la présence de flammes nues et à l'obligation de porter l'équipement personnel spécifique de protection contre le cyanure nécessaire.

Des douches, des stations de rinçage des yeux à basse pression et des extincteurs à poudre ou au bicarbonate de sodium non acide doivent être situés dans des points stratégiques dans toute l'exploitation là où le cyanure est présent. Cet équipement doit être maintenu, inspecté et testé à intervalles réguliers, et les archives doivent être gardées.

Les réservoirs et les tuyaux contenant du cyanure doivent être identifiés par code de couleurs, panneaux, étiquettes, repères, autocollants ou d'autres moyens propres à alerter les employés à leur contenu. Le sens du débit du cyanure dans les tuyaux doit aussi être étiqueté, marqué ou indiqué d'une manière ou d'une autre.

Les fiches techniques sur la sécurité des substances (FTSS), les procédures des premiers soins et d'autres documents d'information sur la sécurité liée au cyanure doivent être rédigés dans la langue des employés et être disponibles dans les zones de gestion du cyanure.

Tous les incidents liés à l'exposition doivent faire l'objet d'une enquête et évalués afin qu'il soit possible de déterminer si les programmes et les procédures de l'exploitation axés

sur la santé et la sécurité des employés, et sur la réaction face aux expositions au cyanure, sont adéquats ou si des changements sont nécessaires.

Norme de pratiques 6.3
Développer et mettre en œuvre des plans et des procédures d'intervention d'urgence afin de répondre à l'exposition des employés au cyanure.

Directive
Même si tous les efforts doivent être entrepris afin d'éliminer les risques d'exposition au cyanure des employés, les exploitations doivent néanmoins être préparées à de telles expositions grâce à des procédures d'intervention et à du personnel formé. L'équipement des premiers soins en cas de contact avec le cyanure, y compris de l'oxygène médical et un réanimateur, doit être facilement accessible et inspecté régulièrement pour garantir sa disponibilité en cas de besoin.

Des antidotes à l'empoisonnement par le cyanure doivent être disponibles dans l'exploitation. Les antidotes préférés et autorisés varient d'un pays à l'autre, et leur sélection dans chaque exploitation doit tenir compte des exigences locales. Les antidotes par voie intraveineuse tels que le nitrite de sodium, le thiosulfate de sodium, l'édétate de cobalt (Kelocyanor) et le 4-diméthylamino-phénol (DMAP) doivent être uniquement administrés par du personnel médical certifié. L'antidote nitrite de pentyle est inhalé et peut être administré par du personnel non médical formé. Cependant, tous les antidotes peuvent eux-mêmes être toxiques selon la dose et la santé générale du patient, et ils doivent être administrés avec beaucoup de prudence et en tenant compte des antécédents médicaux du patient. Les antidotes doivent être stockés, testés et remplacés selon les instructions des fabricants.

Des procédures d'intervention d'urgence spécifiques doivent être élaborées afin de répondre à l'exposition au cyanure. La plupart des producteurs de cyanure ont élaboré des procédures d'intervention détaillées qui peuvent être adoptées et mises en œuvre dans les exploitations minières. En général, les procédures en cas d'inhalation du gaz de cyanure ou de contact avec la peau avec du cyanure liquide ou gazeux doivent inclure les éléments suivants :

1. Actionner un dispositif d'alarme ou appeler à l'aide pour avertir le personnel approprié du site (via des alarmes, la radio ou le téléphone) de manière à ce que l'aide médicale soit disponible le plus vite possible.
2. Appeler à l'aide avant de répondre à l'urgence (système de jumelage). Ne jamais essayer de porter secours à une victime du cyanure tout seul.
3. L'intervenant doit mettre l'équipement personnel spécifique de protection pour pénétrer dans la zone en toute sécurité et rentrer en contact avec l'individu exposé.
4. Si possible, l'intervenant doit déplacer l'individu exposé dans une zone sûre afin de mettre fin à l'exposition. Si l'intervenant ne parvient pas à déplacer l'individu exposé, il doit essayer de prévenir la prolongation de l'exposition ou demander de l'aide pour éloigner la victime.

5. Tous les vêtements contaminés doivent être retirés de l'individu exposé et ce dernier doit être lavé à l'eau pour se décontaminer. La douche de sécurité et les stations de rinçage des yeux utilisant de l'eau à faible pression sont recommandées.
6. De l'oxygène doit être administré et de l'aide médicale doit être sollicitée. Lorsque la juridiction applicable l'autorise, le traitement au nitrite de pentyle est recommandé avec l'administration d'oxygène. Un réanimateur doit être utilisé si l'individu exposé ne respire pas.

Les opinions médicales et les procédures acceptées varient quant aux premiers soins à prodiguer en cas d'ingestion probable de cyanure. En général, l'intervention à une telle exposition doit inclure les éléments suivants :

1. Notifier le personnel approprié sur le site et mettre l'équipement de protection personnelle.
2. L'individu exposé, s'il est conscient, doit cracher ou vomir, et doit se rincer la bouche à l'eau.
3. Poursuivre la décontamination et l'administration d'oxygène et de nitrite de pentyle si cette dernière substance est autorisée, ou utiliser un réanimateur si l'individu exposé ne respire pas.
4. Si l'individu exposé est inconscient ou conscient par intermittence, le traiter avec de l'oxygène et du nitrite de pentyle si cette dernière substance est autorisée.

Les employés susceptibles d'être appelés pour intervenir en cas d'expositions au cyanure doivent être formés aux procédures d'intervention de l'exploitation et doivent participer à des exercices de routine pour tester et améliorer leurs compétences dans le domaine.

Les exploitations doivent développer leurs propres capacités sur le site afin de pouvoir apporter les premiers soins et l'aide médicale nécessaires aux employés exposés au cyanure. Ceci est particulièrement important dans les zones reculées où le personnel médical qualifié risque de ne pas être immédiatement disponible. Lorsque des installations médicales qualifiées sont disponibles localement à l'extérieur du site, l'exploitation doit élaborer des procédures pour transporter les employés exposés. Des dispositions explicites doivent être prévues avec les cliniques et hôpitaux locaux, etc., de manière à ce que les prestataires de soins soient conscients du besoin potentiel de traiter des patients pour exposition au cyanure avant l'occurrence d'un incident. L'installation médicale doit être dotée de personnel, d'équipements et d'expertise qualifiés afin de pouvoir réagir avec efficacité. L'exploitation doit peut-être aider le personnel médical local sur le plan de la formation et de l'équipement nécessaires lui permettant d'améliorer ses capacités.

Des exercices d'alerte basés sur des scénarios d'exposition/de rejet vraisemblables doivent être organisés à intervalles régulier afin de tester les procédures d'intervention. Les leçons tirées de ces exercices doivent être incorporées à la planification de l'intervention et aux autres procédures.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Principles on Cyanide Management for Gold Mining, Chambre des mines d'Afrique du Sud, juin 2001
- Best Practice Environmental Management In Mining, Cyanide Management ; Environment Australia, juin 1998

7. INTERVENTION D'URGENCE — ***Protéger les communautés et l'environnement à travers l'élaboration de stratégies et de capacités d'intervention d'urgence.***

Norme de pratiques 7.1
Préparer des plans d'intervention d'urgence détaillés en cas de rejets de cyanure.

Directive
Un plan d'intervention d'urgence doit être élaboré afin de faire face aux rejets potentiels de cyanure nécessitant une intervention. Même si le plan d'intervention d'urgence ne doit pas forcément être spécifique au cyanure, ces procédures doivent être formalisées sur un seul document de manière à faciliter l'accès aux informations nécessaires. Les exploitations doivent évaluer la manipulation et la gestion du cyanure afin de déterminer comment et où les rejets potentiels sont susceptibles de se produire et quels sont les impacts potentiels de tels incidents. L'évaluation peut utiliser une méthodologie formelle du type mode défaillance et effets telles que HAZOP (analyse des déviations), ou un processus moins formel. Dans tous les cas, elle doit prendre en compte les scénarios de panne suivants, adaptés à la nature des activités de gestion du cyanure de l'exploitation et à l'environnement spécifique au site, y compris les conditions météorologiques et les événements sismiques anticipés :

1. Rejet catastrophique de gaz de cyanure d'hydrogène des installations de stockage, de traitement ou de régénération de cyanure
2. Accidents de transport (pour les transporteurs ou un exploitant qui a assumé la responsabilité d'un quelconque élément lié au transport d'après la norme de pratiques 2.1)
3. Rejets pendant le déchargement et le mélange
4. Rejets pendant des incendies et des explosions
5. Défaillance de tuyaux, soupapes et réservoirs
6. Déversement des bassins et des retenues
7. Pannes d'électricité et des pompes
8. Suintement incontrôlé
9. Défaillance des systèmes de traitement, de destruction ou de récupération du cyanure
10. Défaillance des bassins d'accumulation de résidus, des centres de lixiviation et d'autres unités de cyanuration

Les plans pour les urgences liées au transport doivent tenir compte de l'itinéraire de transport, de la forme physique et chimique du cyanure, de la méthode de transport (par ex., train, camion), de l'état de la route ou de la voie ferrée, et de la conception du

véhicule de transport (par ex., à simple ou double paroi, avec déchargement par le haut ou le fond).

Le plan doit décrire les actions d'intervention spécifiques, selon les situations. Ces interventions comprennent l'évacuation du personnel et des communautés potentiellement affectées de la zone d'exposition, l'avertissement du personnel d'intervention et de la direction opérationnelle, l'utilisation des antidotes au cyanure et des premiers soins, le contrôle des rejets à la source, le confinement des rejets, l'évaluation du rejet et son atténuation, les procédures visant à examiner la cause du rejet et la mise en œuvre de mesures de prévention d'une nouvelle occurrence.

Du fait de son éloignement, une exploitation minière peut être le premier intervenant en cas d'urgence liée au cyanure dans une autre mine ou pendant le transport du cyanure. Même si cette pratique n'est pas une exigence vérifiable par le Code, il est recommandé que les exploitations concluent des accords d'aide mutuelle avec d'autres mines ou entités situées à proximité ou sur leurs itinéraires de transport du cyanure.

Norme de pratiques 7.2
Impliquer le personnel du site et les parties prenantes dans le processus de planification.

Directive
Les employés et les parties prenantes à l'extérieur du site, incluant les communautés potentiellement affectées, doivent être intégrés au processus de planification en cas d'intervention d'urgence. Les employés peuvent offrir une contribution significative à l'identification des défaillances potentielles, des scénarios de rejets et des capacités de réaction. Les communautés potentiellement affectées doivent être sensibilisées à la nature des risques associés au cyanure et doivent être consultées au sujet des actions de communication et de réaction. Il est particulièrement important que l'exploitation implique les communautés, lorsque ces dernières jouent un rôle dans l'intervention, comme par exemple lorsqu'une évacuation peut s'avérer nécessaire. La communauté peut être impliquée directement à travers le contact avec les individus ou les groupes potentiellement affectés, ou le contact avec les dirigeants ou représentants des communautés, selon la nature des scénarios de défaillances et de leurs effets.

Les agences d'intervention locales, tels que les intervenants extérieurs et les installations médicales dans la communauté, peuvent apporter leur aide en cas d'urgence liée au cyanure. Leur participation doit être sollicitée en fonction de leurs capacités et de leur rôle potentiel dans une intervention.

Une consultation ou des communications régulières avec la communauté locale ou ses représentants doivent aussi être organisées le cas échéant afin de garantir que le plan tient compte des conditions et des risques actuels.

Norme de pratiques 7.3
Désigner le personnel approprié et dédier l'équipement et les ressources nécessaires à une intervention d'urgence.

Directive
Les actions et procédures suivantes doivent être mises en œuvre :

1. Les coordinateurs de l'intervention principale et des autres interventions possibles doivent être désignés.
2. Le coordinateur doit jouir de l'autorité explicite lui permettant d'engager les ressources nécessaires pour mettre le plan en œuvre.
3. Les équipes d'intervention d'urgence doivent être identifiées, formées et préparées de manière adéquate.
4. Le plan d'intervention d'urgence doit inclure des procédures de rappel au travail et les coordonnées 24 heures sur 24 des coordinateurs et des membres des équipes d'intervention.
5. Les devoirs et responsabilités des coordinateurs et des membres des équipes doivent être spécifiés.

Le plan doit identifier tout l'équipement d'intervention d'urgence disponible pendant le transport du cyanure le long des itinéraires et/ou sur le site, y compris l'équipement de protection personnelle. Certaines procédures doivent être incluses pour l'inspection régulière de cet équipement de manière à garantir sa disponibilité en cas de besoin.

Le plan doit décrire les fonctions et responsabilités des intervenants externes, tels que les installations médicales, et inclure toutes les coordonnées nécessaires. L'exploitation doit confirmer que toutes les entités externes incluses dans le plan d'intervention d'urgence sont conscientes de leur engagement et sont incluses le cas échéant dans les exercices d'alerte ou de mise en œuvre menés par l'exploitation.

Norme de pratiques 7.4
Elaborer des procédures pour l'avertissement et le signalement internes et externes en cas d'urgence.

Directive
Le plan doit inclure des procédures accompagnées de coordonnées mises à jour dans le but d'avertir d'une urgence la direction, les organismes de réglementation, les dirigeants des communautés, les intervenants extérieurs en cas d'urgence et les installations médicales. Les procédures et les coordonnées doivent être incluses pour avertir les communautés potentiellement affectées de l'incident et/ou des mesures d'intervention et pour communiquer avec les médias. Les communautés sont responsables de leur propre protection en termes d'évacuations ou de nécessité d'éviter l'eau contaminée. Le cas échéant, un système de communication de secours en cas d'urgence doit être envisagé.

Norme de pratiques 7.5
Incorporer dans les plans d'intervention des éléments de surveillance et des mesures d'atténuation qui prennent en compte les dangers supplémentaires liés à l'utilisation de produits chimiques de traitement du cyanure.

Directive
Le plan doit décrire des mesures d'atténuation spécifiques incluant des procédures pour la récupération ou le traitement de solutions ou de solides, la décontamination des sols ou d'autres supports contaminés ainsi que la gestion et/ou l'élimination des débris liés au nettoyage du déversement. Si un rejet de cyanure peut contaminer des sources d'eau potable, le plan doit prévoir une autre source d'alimentation en eau potable.

Les deux grandes méthodes de traitement chimique utilisées pour atténuer la présence du cyanure dans l'environnement sont l'oxydation (à l'aide de produits chimiques tels que l'hypochlorite de sodium et l'eau oxygénée ou d'un traitement biologique) et la complexation (à l'aide de sulfate ferreux). Même si les deux méthodes peuvent être efficaces pour réduire les impacts du cyanure rejeté sur la terre ferme, aucune option sûre et efficace ne permet de traiter le cyanure une fois qu'il pénètre dans les eaux de surface naturelles telles que les cours d'eau et les lacs.

L'hypochlorite de sodium et le sulfate ferreux ne doivent jamais être utilisés pour traiter le cyanure une fois qu'il a été rejeté dans les masses d'eau de surface naturelles. Ces deux produits chimiques sont toxiques pour la vie aquatique. Le traitement à l'hypochlorite de sodium peut produire du chlorure de cyanogène qui est dangereux pour les hommes et la vie aquatique. De plus, ces produits chimiques ont une efficacité très limitée dans le traitement du cyanure au pH des eaux de surface naturelles. Leur utilité est encore plus réduite du fait de la difficulté pratique à les ajouter à l'eau de surface d'une manière qui permette un contact adéquat et à les mélanger à un panache de cyanure, en particulier dans un cours d'eau en mouvement. Même si l'eau oxygénée est un oxydant moins toxique et moins persistant que l'hypochlorite de sodium, elle est aussi dangereuse pour la vie aquatique et son efficacité est aussi limitée par le manque de moyens existants pour la mélanger avec le cyanure.

Du fait des impacts négatifs reconnus sur la vie aquatique et de l'efficacité limitée de l'utilisation de l'hypochlorite de sodium, de l'eau oxygénée et du sulfate ferreux à traiter le cyanure rejeté dans les eaux de surface, il est difficile d'identifier une situation où une telle procédure serait acceptable. Cependant, l'utilisation de ces produits chimiques peut être appropriée dans une situation contrôlée et suffisamment bien définie où trois conditions sont remplies :

1. Tout d'abord, une méthode doit permettre d'introduire le produit chimique dans l'eau afin de garantir le mélange adéquat avec un plumage de cyanure.
2. Deuxièmement, l'efficacité du traitement du cyanure doit être prouvée au pH de l'eau de surface.
3. Troisièmement, les impacts négatifs inévitables sur la vie aquatique doivent être examinés et évalués comme étant nécessaires afin de prévenir la mortalité humaine. Ceci implique que la technique a été complètement évaluée avant son utilisation au lieu qu'elle ne soit évaluée au cas par cas en situation d'urgence. Cependant, d'après la norme de pratiques 7.4, une exploitation doit élaborer une procédure d'avertissement d'urgence capable d'avertir suffisamment à l'avance les individus et les communautés potentiellement affectés afin de prévenir le contact ou l'ingestion d'eau de surface contaminée.

L'hypochlorite de sodium et le sulfate ferreux peuvent être tous les deux utilisés pour traiter les rejets de cyanure sur la terre ferme. Le sulfate ferreux fixe le cyanure en un complexe insoluble, mais ne le convertit pas sur le plan chimique en une substance moins toxique. Le complexe formé est sujet à la photo-décomposition et peut rejeter du cyanure dans l'environnement s'il n'est pas bien géré. L'application d'hypochlorite pour neutraliser un déversement de cyanure sur la terre ferme va oxyder le cyanure en un cyanate moins toxique, qui se décompose en ammoniaque et en dioxyde de carbone. L'hypochlorite et le sulfate ferreux doivent tous les deux être utilisés avec prudence afin d'éviter leur introduction dans les systèmes aquatiques, et le sol contaminé avec ces produits chimiques doit être enlevé et éliminé en conformité avec le Code et les exigences applicables (c'est-à-dire avec les résidus de l'extraction ou sur un tapis de lixiviation). Le traitement biologique du sol contaminé est aussi possible mais beaucoup plus lent que le traitement chimique.

Le plan doit aussi aborder le besoin potentiel d'une surveillance environnementale afin d'identifier l'envergure et les effets d'un rejet et de son atténuation. Les méthodologies et les paramètres d'échantillonnage doivent être établis dans le plan pour permettre une évaluation rapide des conséquences du rejet. Le cas échéant, des lieux possibles d'échantillonnage doivent être établis.

Même s'il est peut-être impossible de détailler toutes les actions d'atténuation et de surveillance avant l'occurrence d'un rejet réel, le plan doit inclure des informations suffisantes pour fournir une base au processus de décision en cas d'urgence.

Norme de pratiques 7.6
Evaluer à intervalles réguliers les procédures et les capacités d'intervention et les réviser selon les besoins.

Directive
Le plan d'intervention d'urgence doit inclure des dispositions pour l'examen et l'évaluation de son adéquation à intervalles réguliers. Des exercices d'alerte reflétant les incidents les plus probables identifiés à travers l'analyse des modes de défaillance doivent aussi être menés à intervalles réguliers afin de tester et d'évaluer l'adéquation du plan. Les exercices peuvent simuler une situation d'urgence à l'échelle réelle ou isoler de façon sélective un certain aspect du plan. L'inclusion de la communauté potentiellement affectée dans une simulation peut améliorer les avantages de l'exercice, en créant un événement plus réaliste, en testant la réponse du public et en permettant aux participants de se familiariser avec les exploitations et le personnel d'intervention.

Le plan doit aussi être évalué après toute urgence nécessitant une mise en œuvre. Lorsqu'un examen ou une simulation a identifié des insuffisances, le plan doit être révisé dès que possible afin de garantir son bon fonctionnement.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Sensibilisation et préparation aux urgence au niveau local dans le domaine des exploitations minières (APELL for Mining) ; Programme des Nations unies pour l'environnement, Rapport technique n° 41, mai 2001
- Principles for Dealing with Distribution Incidents Involving Alkali Cyanides ; European Chemical Industry Council (CEFIC) Cyanide Sector Group, octobre 2000
- APELL Annotated Bibliography, Programme des Nations unies pour l'environnement, Rapport technique n° 21, 1994
- Hazard Identification and Evaluation in a Local Community, PNUE, Rapport technique n° 12, 1992
- Integrated Contingency Plan Outline, U. S. Federal Register, 61 FR 28649

8. FORMATION Former les employés et le personnel d'intervention d'urgence à la gestion du cyanure d'une manière sûre et respectueuse de l'environnement.

Norme de pratiques 8.1
Former les employés à comprendre les dangers associés à l'utilisation du cyanure.

Directive
Tous les employés susceptibles de travailler avec du cyanure doivent être formés à ses dangers inhérents. Cette formation doit inclure l'identification des types de cyanure dans l'exploitation, des informations au sujet des effets du cyanure sur la santé, les symptômes de l'exposition au cyanure et les procédures à suivre en cas d'exposition. Les fiches techniques sur la sécurité des substances ou d'autres documents d'information rédigés dans la langue des employés sont utiles à ces fins. La reformation doit être menée à intervalles réguliers et des dossiers de formation doivent être conservés.

Norme de pratiques 8.2
Former le personnel approprié pour exploiter les installations selon des systèmes et procédures qui protègent la santé humaine, la communauté et l'environnement.

Directive
La santé, la sécurité et les composantes environnementales sont intrinsèques à la formation professionnelle et doivent être considérées comme étant la responsabilité de chaque employé. Chaque poste incluant la gestion du cyanure doit être évalué pour identifier comment les tâches requises peuvent être accomplies avec un risque minimum pour la santé et la sécurité des employés et d'une manière permettant de prévenir des rejets imprévus de cyanure. Les éléments de formation nécessaires à chaque poste doivent être identifiés dans les documents de formation. Les employés à ces positions, y compris le personnel impliqué dans le déchargement et le stockage du cyanure, les exploitants d'usine, les exploitants des centres de stockage des résidus, le personnel de maintenance et le personnel environnemental et de direction, doivent être formés à ces procédures, selon les exigences de leurs fonctions. La formation doit être donnée par du personnel qualifié, et peut inclure des formateurs externes pour les domaines spécialisés

tels que les programmes de réglementations environnementales, et par le propre personnel de l'exploitation.

La formation doit être donnée avant que les employés ne commencent à travailler avec du cyanure. Des stages de perfectionnement doivent être organisés à intervalles réguliers afin de garantir que les employés continuent à accomplir leurs tâches en toute sécurité et dans le respect de l'environnement. Les tests ou l'observation pour vérifier que les employés mènent leurs activités en conformité avec les procédures d'exploitation du cyanure doivent être utilisés pour évaluer l'efficacité de toute formation.

Des dossiers documentant la formation des employés doivent être conservés tout au long de l'emploi d'une personne et doivent inclure les noms de l'employé et du formateur, la date de la formation, les sujets couverts et si l'employé a montré qu'il comprenait les documents de formation.

Norme de pratiques 8.3
Former le personnel et les employés appropriés pour répondre aux expositions des employés et aux rejets du cyanure dans l'environnement.

Directive
Tout le personnel impliqué dans la gestion du cyanure doit être formé aux procédures d'urgence liées aux rejets de cyanure, y compris l'avertissement du personnel approprié sur le site, la garantie de la sécurité des employés et l'arrêt ou le confinement du rejet.

Le personnel sur le site susceptible d'être appelé à intervenir en cas d'exposition des employés au cyanure doit être formé aux procédures de décontamination et des premiers soins. Cette formation doit inclure la procédure d'avertissement du personnel approprié sur le site et souligner que l'intervenant doit tout d'abord assurer sa propre protection à travers l'utilisation d'un équipement personnel spécifique de protection contre le cyanure.

Les employés assumant le rôle de coordinateurs de l'intervention en cas d'urgence et les membres des équipes d'intervention d'urgence doivent bénéficier d'une formation spécialisée. Les intervenants doivent bien connaître les procédures incluses dans le plan d'intervention d'urgence, y compris l'utilisation de l'équipement d'intervention. Les communautés, les intervenants locaux et le personnel médical inclus dans le plan d'intervention d'urgence doivent se familiariser avec le plan et leurs responsabilités.

Des dossiers doivent être conservés pour documenter toute la formation sur les interventions en cas d'expositions au cyanure et de rejets de cyanure, y compris les noms de l'employé et du formateur, la date de la formation, les sujets couverts et si l'employé a montré qu'il comprenait les documents de formation. Des stages de perfectionnement doivent être organisés à intervalles réguliers.

Des exercices d'alerte simulant des expositions d'employés et des rejets dans l'environnement sont des outils de formation importants ; ces exercices doivent être organisés à intervalles réguliers afin de fournir une formation pratique aux employés

concernés. Les exercices d'alerte doivent être évalués dans une perspective de formation afin de déterminer si le personnel possède la connaissance et les compétences exigées pour une intervention efficace, et les procédures de formation doivent être révisées si des déficiences sont identifiées.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Principles on Cyanide Management for Gold Mining, Chambre des mines d'Afrique du Sud, juin 2001
- Best Practice Environmental Management In Mining, Planning a Workforce Environmental Awareness Training Program ; Environment Australia, juin 1998

9. DIALOGUE S'engager dans la consultation publique et la divulgation.

Norme de pratiques 9.1
Offrir aux parties prenantes la possibilité de communiquer les points préoccupants.

Directive
Les exploitations doivent offrir aux parties prenantes la possibilité de communiquer les points préoccupants. Afin que cette communication soit significative et productive, la fréquence et le format de cette participation doivent être adaptés aux questions discutées et à la nature du point préoccupant. Les méthodes visant à encourager la participation du public incluent les réunions publiques ouvertes, la création de comités consultatifs de citoyens et les visites des sites pour les parties intéressées. Le public peut aussi participer par l'intermédiaire de l'élaboration et de l'examen des évaluations environnementales, ou les examens des permis et licences exigés par les juridictions applicables.

Norme de pratiques 9.2
Lancer le dialogue décrivant les procédures de gestion du cyanure et traiter les préoccupations identifiées avec réceptivité.

Directive
Les exploitations doivent créer la possibilité d'engager les parties prenantes concernées et d'aborder leurs questions d'une manière directe et réceptive. Les informations sur les pratiques et procédures de l'exploitation doivent être disponibles pour montrer que le cyanure est géré d'une manière responsable et que l'exploitation prend des mesures axées sur l'amélioration de la gestion du cyanure en cas d'insuffisances. Une partie de ce dialogue peut se dérouler dans le cadre de l'examen environnemental de la juridiction, ou de son processus d'octroi de permis ou de licences.

Norme de pratiques 9.3
Publier des informations environnementales et opérationnelles appropriées au sujet de la gestion du cyanure à l'intention des parties prenantes.

Directive
Les parties prenantes doivent comprendre comment les exploitations minières gèrent le cyanure afin de protéger l'environnement, ainsi que la santé et la sécurité des hommes. Les exploitations doivent rédiger par écrit des descriptions des activités de gestion du

cyanure dans les langues locales appropriées, et mettre ces descriptions à la disposition des communautés et des parties prenantes. Ces informations peuvent être disséminées dans des brochures, des bulletins d'actualité ou d'autres documents d'information à l'exploitation ou dans certains lieux situés dans les communautés locales, dans des forums ou des réunions publics, des bibliothèques, des bureaux publics locaux, sur des sites Web ou par d'autres moyens. Lorsqu'un pourcentage important des populations locales est analphabète, les exploitations doivent fournir des informations à travers des présentations ou des consultations directes et régulières avec les dirigeants des communautés.

Les exploitations doivent aussi mettre à disposition des informations sur les rejets ou expositions confirmés comprenant : a) les incidents d'exposition au cyanure résultant en une hospitalisation ou un décès ; b) les incidents où des rejets à l'extérieur du site de la mine ont exigé une intervention ou des mesures d'atténuation ; c) les incidents où un rejet à l'extérieur ou à l'intérieur du site de la mine cause des effets nocifs significatifs sur la santé ou l'environnement ; d) les incidents où un rejet à l'extérieur ou à l'intérieur du site de la mine a nécessité l'établissement d'un rapport en vertu des réglementations applicables et e) des rejets qui ont provoqué le dépassement des limites applicables pour le cyanure. Ces informations peuvent être incluses dans le rapport annuel d'une entreprise, dans son rapport sur la santé, la sécurité et l'environnement, son rapport d'audit de vérification, ou être affichées sur son site Web, signalées dans le cadre des exigences publiques d'établissement de rapports applicables ou par d'autres moyens.

Veuillez consulter les documents suivants pour de plus amples renseignements :

- Programme des Nations unies pour l'environnement *Companies' Organization and Public Communication on Environmental Issue.* Rapport technique n° 6, 1991

Annexe 8

Étude de faisabilité sur l'emploi et le stockage de cyanure de sodium

Source :OSEAD

ETUDE DE FAISABILITE DE L'EMPLOI ET DU STOCKAGE DE CYANURE DE SODIUM

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE 3
2. ANALYSE REGLEMENTAIRE 3
2.1 Installations classées des substances et préparation 3
2.1.1 Cyanure de sodium solide 3
2.1.2 Cyanure de sodium liquide 4
2.1.3 Charbon actif 5
2.2 Mesures à prendre pour l'utilisation du cyanure de sodium 6
2.2.1 Signalisation 6
2.2.2 Stockage du cyanure solide 6
2.2.3 Transports 8
3. CONCLUSION 9
4. ANNEXE 11

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La Société XX a sollicité une autorisation d'exploiter pour une unité de traitement de minerai et ses installations annexes située sur la commune de Cayenne. En effet, les installations de traitement entrent dans le champ d'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux ICPE et son décret d'application n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié.

La mission consiste à étudier la faisabilité du stockage et de l'utilisation du cyanure de sodium.

2. ANALYSE REGLEMENTAIRE

2.1 INSTALLATIONS CLASSEES DES SUBSTANCES ET PREPARATION

2.1.1 CYANURE DE SODIUM SOLIDE

Les activités de stockage et d'emploi du cyanure de sodium solide sont visées par les rubriques de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Numéro de rubrique	Désignation	Grandeur caractéristique	Classement sur le site
1111-1a	**Très toxiques** *(emploi ou stockage de substances et préparations)* telles que définies à la rubrique 1000, à l'exclusion des substances et préparations visées explicitement ou par famille par d'autres rubriques de la nomenclature et à l'exclusion de l'uranium et ses composés. 1. substances et préparations solides ;	1 - Quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation AS > 20 t 1t < A < 20 t 200 kg < D < 1 t	Site de l'usine : stockage de cyanures de sodium solide (en briquettes dans des isoconteneurs) **Quantité maximale stockée sur site :** inférieure à 200 à kg **NON CLASSEE**
1111-2a	**Très toxiques** (emploi ou stockage de substances et préparations) telles que définies à la rubrique 1000, à l'exclusion des substances et préparations visées explicitement ou par famille par d'autres rubriques de la nomenclature et à l'exclusion de l'uranium et ses composés. 2. substances et préparations liquides ;	2 - Quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation AS > 20 t 250 kg < A < 20 t 50 kg < D < 1 t	Usine : emploi de cyanures de sodium liquide < 50 kg **NON CONCERNEE** 5608

Déclaration Si > 200 kg (produits solides) stockage
· Si > 50 kg (produits liquides)
· Si > 10 kg (produits gazeux)

2.1.2 CYANURE DE SODIUM LIQUIDE

Classification de la préparation de cyanure de sodium liquide

A partir du cyanure de sodium solide dont l'étiquetage et la classification sont présentés ci-dessous, XX prépare une solution concentrée de cyanure de sodium : 10 kg de NaCN dans un volume de 20 m^3.

Etiquetage	Phrase de risque
T+	R26/27/28
	R32
N	R50/53

Classification du cyanure de sodium solide

En France, l'arrêté du 9 novembre 2004 définit les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses (Journal officiel du 18 novembre 2004).

Deux méthodes de classification des préparations sont possibles, énumérées aux articles 15 et 16 de l'arrêté du 9 novembre 2004 comme suit :

- par une méthode conventionnelle de calcul décrite à l'annexe II de l'arrêté du 9 novembre 2004,
- par détermination des propriétés toxicologiques de la préparation nécessaires pour une classification appropriée conformément aux critères définis à l'annexe VI de l'arrêté du 20 avril 1994. Ces propriétés sont déterminées à l'aide des méthodes décrites à l'annexe V, partie B, de l'arrêté du 20 avril 1994, sauf, dans le cas des produits phytopharmaceutiques, si d'autres méthodes reconnues internationalement sont acceptables aux termes de l'arrêté du 6 septembre 1994.

Les règles de dilution et de classification correspondantes pour la solution de NaCN définies dans l'arrêté du 9 novembre 2004, et la directive CE 99/45 s'appliquent selon les modalités rappelées dans les tableaux ci-après (tableaux valables pour les préparations autres que gazeuses), sauf si des règles de dilution particulières sont prévues par l'annexe 1 de l'arrêté du 20 avril 1994 modifié.

La concentration de la solution de cyanure de sodium préparée est de 0,05 % (10 kg de NaCN dans un volume de 20 m^3).

Classification pour les effets létaux aigus

Au regard du tableau ci-dessous, la préparation n'est pas classée toxique.

EFFETS LETAUX AIGUS			
Classification de la substance ou de la préparation	Classification de la préparation (valeurs indiquées en % massique)		
	Très toxique T^+	Toxique T	Nocif X_n
T^+ et R26, R27, R28	Concentration ≥ 7%	1% ≤ Concentration < 7%	0,1 %≤ Concentration < 1%
T et R23, R24, R25		Concentration ≥ 25%	3 %≤ Concentration < 25%
Xn et R20, R21, R22			Concentration ≥ 25%

Classification pour les effets sur l'environnement

La concentration de la solution de cyanure de sodium préparée est de 0,05 %.

Au regard du tableau ci-dessous, la préparation n'est pas classée dangereuse pour l'environnement.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT			
Classification de la substance ou de la matière « active »	Classification de la préparation (valeurs indiquées en % massique)		
	Dangereux pour l'environnement N R 50-53	Dangereux pour l'environnement N R 51-53	R 52-53
N et R50-53	Concentration ≥ 25%	2.5% ≤ Concentration ≤ 25%	0,25 % ≤ Concentration ≤ 2,5 %
N et R51-53		Concentration ≥ 25%	2,5 % ≤ Concentration ≤ 25%
R52-53			Concentration ≥ 25%

2.1.3 CHARBON ACTIF

Le classement du charbon actif est établi au regard de la rubrique : 1530.

Le seuil de déclaration est de : supérieur à 1 000 m^3 mais inférieur ou égal à 20 000 m^3.

2.2 MESURES A PRENDRE POUR L'UTILISATION DU CYANURE DE SODIUM

2.2.1 SIGNALISATION

Afin d'informer les opérateurs des dangers, les bains font l'objet d'un marquage (cf. Document ED 794 de l'INRS qui a été établi à partir de la norme AFNOR NF A 91-701).

Ce marquage a pour objet de préciser, pour les salariés opérant, les risques encourus et les modalités de prévention liées aux différents produits chimiques présents, conformément aux dispositions du code du travail. Une notice de poste complète cette information.

Le but de ces dispositions est d'assurer la protection des personnes et, dans une moindre mesure de l'Environnement, pouvant être exposées à ces produits, susceptibles de représenter des risques immédiats ou à plus long terme (risques chroniques).

2.2.2 STOCKAGE DU CYANURE SOLIDE

Le cyanure de sodium solide peut être stocké en plein air à condition que le contenu ne soit pas sensible à des températures extrêmes et aux intempéries.

Il doit être stocké, manipulé ou utilisé dans les endroits réservés et protégés contre les chocs.

Le cyanure de sodium sous forme solide pourra être stocké à l'air libre obligatoirement à plus de 10 mètres des limites de propriété comme stipulé en 2.1.2.1 de l'arrêté type de la rubrique n° 1111 (JO 25/08/98) qui s'applique aux installations soumises à déclaration.

Aucune installation dans laquelle est stocké le cyanure de sodium solide ne doit pas être surmontée de locaux occupés par des tiers ou habités.

Le sol des aires de stockage ou de manipulation des produits dangereux pour l'homme ou susceptibles de créer une pollution de l'eau ou du sol doit être étanche, interne vis-à-vis des produits, incombustible et équipé de façon à pouvoir recueillir les eaux de lavage, les eaux d'extinction et les produits répandus accidentellement ; pour cela un seuil, surélevé par rapport au niveau du sol ou tout dispositif équivalent les sépare de l'extérieur ou d'autres aires ou locaux. Les produits recueillis sont de préférence récupérés et recyclés, ou, en cas d'impossibilité, traités conformément à la réglementation relative aux déchets.

Le cyanure de sodium solide doit être contenu dans des emballages ou récipients conformes à la réglementation en vigueur en France. Les emballages doivent porter en caractères très lisibles le nom des produits et les symboles de danger conformément à l'arrêté ministériel du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses. Le cyanure pourra être livré sur site en conteneurs. Le conteneur devra disposer d'armatures extérieures facilitant la manipulation et le stockage a l'intérieur desquelles se trouvera un cylindre à double paroi de protection.

L'aire de stockage des conteneurs de cyanure devra être inclinée vers des rigoles de collection de fuites qui rassembleront toute perte éventuelle (totalement improbable vu le conteneur) et les canaliseraient vers le bassin de rétention déporté des cyanures. Ce bassin servira aussi de bassin de confinement. Elle sera pourvue de prises de terre pour permettre de mettre à la terre ces conteneurs métalliques conformément à l'alinéa 2.8 de l'arrêté type pour la rubrique 1111. Cette aire de stockage sera à l'intérieur de l'aire grillagée de l'intallation.

Les personnes étrangères à l'établissement ne doivent pas avoir un accès libre à l'installation. De plus, en l'absence de personnel d'exploitation, cet accès est interdit aux personnes non autorisées (clôture, fermeture à clef, etc.)

La hauteur maximale d'un stockage de substances ou préparations sous forme solide ne doit pas excéder 4 mètres à l'air libre ou sous auvent.

XX doit avoir à sa disposition des documents lui permettant de connaître la nature et les risques des produits dangereux présents dans l'installation, en particulier les fiches de données de sécurité prévues par le code du travail.

XX doit tenir à jour un état indiquant la nature et la quantité des produits dangereux détenus, auquel est annexé un plan général des stockages. Cet état est tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Sans préjudice des dispositions du code du travail, des matériels de protection individuelle, adaptés aux risques présentés par l'installation et permettant l'intervention en cas de sinistre, doivent être conservés à proximité de dépôt et du lieu d'utilisation. Ces matériels doivent être entretenus en bon état et vérifiés périodiquement.

Le matériel d'intervention doit comprendre au minimum :

- 2 appareils respiratoires isolants (air ou O_2),
- 2 combinaisons de protection sauf pour le cas des gaz non corosifs,
- des gants.

Le personnel doit être formé à l'emploi de ces matériels.

L'installation doit être dotée de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :

- des points d'eau, bassins, citernes, etc., d'une capacité en rapport avec le risque à défendre. Le volume d'eau disponible pour lutter contre un incendie est au moins égal à 5 m^3 par tonne de produit stocké lorsqu'il n'existe pas d'installations fixes d'extinction. Lorsqu'il existe une installation fixe d'extinction, le volume d'eau disponible doit permettre une application d'au moins deux heures,
- des extincteurs répartis à l'intérieur des locaux, sur les aires extérieures et les lieux présentant des risques spécifiques, à proximité des dégagements, bien visibles et facilement accessibles. Les agents d'extinction doivent être appropriés aux risques à combattre et compatibles avec les produits stockés et/ou avec les produits de décomposition thermique de ces produits stockés,
- une réserve de sable meuble et sec adaptée au risque, sans être inférieure à 100 litres et des pelles,
- un neutralisant adapté au risque en cas d'épandage,
- un système interne d'alerte d'incendie.

Ces matériels doivent être maintenus en bon état et vérifiés au moins une fois par an.

XX détermine pour chacune des parties de l'installation la nature du risque (incendie, atmosphères explosives ou émanations toxiques...). Ce risque est signalé.

Les opérations comportant des manipulations dangereuses et la conduite des installations (démarrage et arrêt, fonctionnement normal, entretien...) doivent faire l'objet de consignes d'exploitation écrites.

Ces consignes prévoient notamment :

- les modes opératoires,
- la fréquence de contrôle des dispositifs de sécurité et de traitement des pollutions et nuisances générées,
- les instructions de maintenance et de nettoyage.

2.2.3 TRANSPORTS

Le cyanure de sodium pur sous forme de briquettes est désigné sous le n°UN 1689 CYANURE DE SODIUM, SOLIDE classe 6.1 (toxique), groupe d'emballage I. Il n'existe pas de possibilité d'exemption en quantité limitée quelque soit la capacité du contenant intérieur (type flacon en plastique de 500 g) car LQ = 0.

Le cyanure de sodium est affecté à la catégorie 1 pour lequel le seuil d'application du 1.1.3.6 ne doit pas dépasser une masse brute de colis inférieure ou égale à 20 kg. Donc l'exemption liée aux quantités transportées par unité de transport selon les termes du 1.1.3.6 de l'ADR ne peut s'appliquer dans le cas du présent transport de 50 kg. En conséquence, pour le transport routier, l'application de l'ADR est totale.

A savoir :

- l'emballage combiné (intérieur et extérieur) doit répondre à l'instruction d'emballage P002. L'emballage intérieur doit être étanche aux pulvérulents.
- l'étiquetage du colis étiquette n°6.1
- le véhicule doit être conforme aux règles de l'ADR
- le chauffeur doit être muni d'une attestation de formation de base
- le document de transport où la Matière Dangereuse est déclarée comme suit :
  - UN 1689 CYANURE DE SODIUM, SOLIDE 6.1, I ;
  - le nombre et la description des colis ;
  - la quantité de la marchandise dangereuse en masse brute ;
  - le nom et adresse de l'expéditeur ;
  - le nom et adresse du destinataire, le code tunnel le cas échéant C/E à indiquer juste après le groupe d'emballage I.

Le fournisseur du cyanure de sodium devra se conformer à la réglementation TRANSPORT et communiquer toutes ces informations à XX.

3. CONCLUSION

La solution à base de cyanure de sodium n'est pas classée au regard de l'arrêté du 09/11/04 définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses.

Pour le transport du cyanure de sodium sous forme solide, compte-tenu des difficultés d'accès par route à l'installation, une réflexion est menée sur les modalités d'approvisionnement du site.

XX, en cours de régularisation administrative au titre des installations classées, devra communiquer à l'inspecteur des installations classées la liste et les quantités des nouveaux produits chimiques stockés et utilisés sur le site, indépendamment du classement de ces installations.

4. ANNEXE

Annexe 1 Fiche technique du cyanure de sodium solide.

Annexe 2 Arrêté du 13/07/98 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 1111 : Très toxique (Emploi ou stockage des substances et préparations).

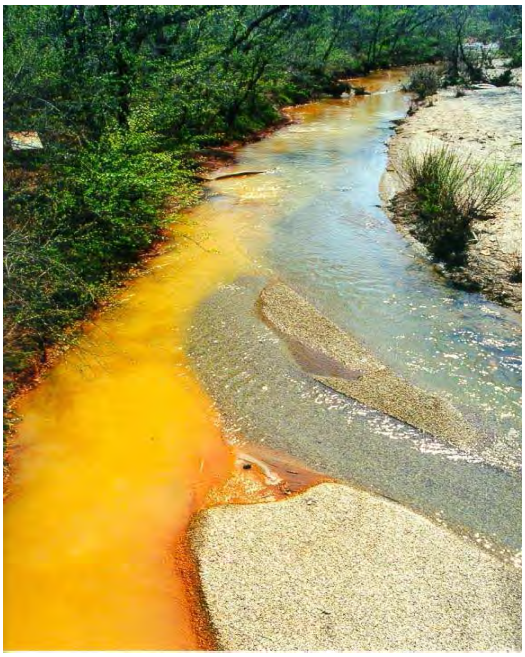
Annexe 3 Arrêté du 09/11/04 définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses et transposant la directive 1999/45/CE du Parlement européen et du Conseil du 31 mai 1999, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des préparations dangereuses.

Annexe 9

Extraits d'études et d'analyses sur le minerai, les rejets et les stériles

Sources : KCA/GUYANOR, 1998 ; Wessling/SMYD, 2006, URSTM/SMYD, 2010 ; BRGM/SMYD, 2012

Diagnostic du phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane française Evaluation des risques associés



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Direction Régionale de l'Environnement
GUYANE

Géologie Environnement Minier

GEM Impact
14 lotissement des Balisiers
97354 Montjoly
Guyane Française

Tèl : 0594 38 27 51

Diagnostic du phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane française Evaluation des risques associés

Rédacteurs :

Nicolas MIRAMOND
Delphine MIAU
Fabrice BROCHARD

Correcteur :

M. BUSSIERE, ing. PH.D.
Chaire de recherche du Canada
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

En bibliographie ce rapport sera noté :
MIRAMOND, N., MIAU, D., BROCHARD, F. 2006. Diagnostic du phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane française - Evaluation des risques associés. GEM Impact – DIREN. Guyane Française. XX pp.

Résumé

Identifié comme un des problèmes majeurs de l'industrie extractive mondiale, le phénomène de Drainage Minier Acide (DMA) se produit lorsque des roches contenant des sulfures sont exposées à l'air et à l'eau par le procédé d'extraction minière. Ces réactions entraînent la production d'acide qui s'accompagne d'une accélération de la lixiviation de métaux et métalloïdes. L'ensemble de ces phénomènes peut avoir des conséquences catastrophiques sur les milieux aquatiques récepteurs des rejets d'exploitation.

Alors que l'exploitation aurifère constitue le deuxième secteur industriel de Guyane et que l'exploitation de type primaire est en voie de développement dans ce département, aucune prescription réglementaire précise, n'existe concernant ce phénomène.

Ce diagnostic du phénomène DMA et des risques associés, qui est une étude préliminaire, a permis de montrer que dans les conditions actuelles d'exploitation, n'atteignant pas le niveau induré, les risques de DMA et de lixiviation, apparaissent relativement faibles.

Cependant, concernant les zones de transition (saprock) et de roche non oxydée, le risque de formation de DMA existe mais semble dépendre de la nature géologique rencontrée.

Ce phénomène de DMA ainsi que les risques associés restent alors à évaluer au cas par cas.

Dans cette optique, les propositions faites dans cette étude en terme de diagnostic initial du phénomène de DMA sur les futurs sites d'exploitation ainsi que de suivi en cours d'exploitation, permettront d'approfondir les connaissances sur ce phénomène en Guyane et d'améliorer par conséquent les techniques d'évaluations.

Mots clés : Guyane, or, Drainage Minier Acide (DMA), lixiviation, métaux

Abstract

The phenomenon Acid Mine Drainage (AMD), identified as one of the major problems of world mining, occurs when rocks containing of sulphide minerals are exposed to the air and water by the process of mining extraction. These reactions involve the production of acid which is accompanied by an acceleration of leaching by metals and metalloids. The whole of these phenomena can have catastrophic consequences on the receiving aquatic environment of the discharge of mining operations.

Whereas small scale mining for gold constitutes the second industrial sector of French Guyana and mining operations are in the process of development in this department, no precise regulation exists concerning the phenomenon of AMD

This diagnosis, which is one preliminary study, made it possible to show that under the current conditions of operating, not reaching the no-oxidic (hard rock), the risks of AMD and leaching, appear poor.

This diagnosis of phenomenon AMD and the associated risks, which is a preliminary study, made it possible to show that under the current conditions of operating, not reaching the hardened level, the risks of AMD and leaching, appear relatively poor.

However, concerning the zones of transition (saprock) and no - oxidized, the risk of formation of AMD exists but seems to depend on geological nature met.

The phenomenon of AMD as well as the associated should be evaluated with remain to be evaluated with case by case.

Accordingly, the proposals made in this study regarding an initial diagnosis of the AMD phenomenon on the future sites as well as a follow-up during the exploitation, will have as a consequence a better understanding of the AMD in Guyana and improve consequently technics of evaluation.

Keys words : French Guyana, gold, Acid Mine Drainage (AMD), metals, leaching

Resumo

Identificado como um dos problemas essenciais, o fenómeno de Drenagem Ácida de Minas (DMA) produz-se quando os balanços que contêm sulfuretos são expostos ao ar e a água pelo método de extracção mineira. Estas reacções provocam as produções de ácido que se acompanha de uma aceleração da lixiviação de metais e de metalóidicoes.O conjunto destes fenómenos pode ter consequências catastróficas para os meios aquáticos receptores das rejeições de exploração.

Enquanto que a exploração de ora constitui o segundo sector industrial da Guiana e que a exploração de tipo primária está via de desenvolvimento neste departamento, nenhuma prescrição regulamentar precisa, não existe no que respeita a este fenómeno.

Este diagnóstico do fenómeno DMA e os riscos associados, quem é um estudo preliminar, permitiu mostrar que nas condições actuais de exploração, não atingindo o nível duro, os riscos de DMA e de lixiviação, aparecem relativamente fracos.

Contudo, no que respeita às zonas de transição (saprock) e de balanço não oxyda, o risco de formação de DMA existe mas parece depender da natureza geológica encontrada. Este fenómeno de DMA bem como os riscos associados permanecem então avaliar numa base casuística.

Conformemente, as propostas apresentadas neste estudo em termos de diagnóstico iniciais do fenómeno de DMA sobre os futuros sítios de exploração bem como de acompanhamento em cursos de exploração, permitirão aprofundar os conhecimentos sobre este fenómeno na Guiana e melhorar por conseguinte as técnicas de avaliações.

Palavras chave : Guiana francesa, ora, Drenagem Ácida de Minas, lixiviação, metais.

- **Projet Yaou : site annexé en complément d'étude (société Auplata)**

Analyses géochimiques

Présentation du matériel analysé :

Les échantillons ont été prélevés en 1998-1999 sur environ 300 points répartis sur l'ensemble de la zone de la concession Yaou (dans des actuelles zones d'exploitation mais aussi en dehors) représentent un poids total d'environ 125 kg.

Les Analyses des teneurs en métaux ont été effectuées par le laboratoire Kappes, Cassiday & Associates (KCA) pour la société Guyanor ressources S.A.

Les résultats correspondent à une analyse statistique de l'ensemble de ces échantillons répartis toutefois en deux classes, fonction de leur profil lithologique :

- Roche oxydée + saprolite
- Roche non oxydée

Pour ce faire les échantillons ont du être prélevés à des profondeurs permettant d'atteindre la roche non oxydée, soit plus de 35m de profondeur sur ce site.

Il est à noter l'absence d'analyse sur les stériles de la zone. Toutefois il est patent, que les stériles présentent des teneurs en métaux moins importantes que les zones de minerais.

Résultats et interprétations :

Le bureau d'études APAVE Sud Europe, chargé des interprétations, remarque d'après les résultats (tableau 20) des teneurs élevées en chrome et nickel. Pour se faire, ce bureau d'étude a utilisé des VDSS corrigées par un fond géochimique local défini à partir de valeurs obtenues en Guyane lors d'autres campagnes d'analyses sur des zones non impactées.

Ils établissent alors qu'étant donné que **le Ni et le Cr présentent des concentrations dans le minerais remarquables par rapport au VDSS corrigées,** il sera nécessaire d'effectuer un suivi de ces éléments mais aussi que des tests de lixiviation doivent être effectués.

		Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ba	Se	Sb	Mo
		%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	Fond géochimique (BRGM)	17,70			318	52	53	23	45	192			
	LDM (Fond géoch BRGM)		10	1								30	2
Minerais Yaou	Roche oxydée + saprolite	1.66	<10	<5	**660**	80	**115**	10	55	100		<10	5
	Roche non Oxydée	1.48	**90**	<5	**290**	55	**125**	45	60	280		30	5

		Hg	Be	Bi	Ca	Co	Fe	Mg	Mn	Na	S	Sn	Ti
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%	%	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	%
	Fond géochimique (BRGM)	0,15				12,77	17,68						1,72
	LDM (Fond géoch BRGM)		1	5	1,5			0,5		0,25	5		
Minerais Yaou	Roche oxydée + saprolite		<5	<10	0.04	50	7.01	0.19	660	0.04			0.06
	Roche non Oxydée		<5	<10	3.30	20	4.05	2.22	810	0.10			0.05

Tableau 20 : Résultats d'analyse chimique complète (site Yaou)

Test de lixiviation

Présentation et matériel analysé :

Dans le cadre de la demande de PEX du projet YAOU, des tests de lixiviation ont été effectués par le laboratoire Wessling à St-Priest (69). L'échantillonnage a été réalisé par le bureau d'études APAVE Sud Europe en Mai 2006. Les données ont été fournies par la société Auplata gérante du site. Les caractéristiques de la campagne d'échantillonnage et des analyses sont :

- 7 fosses d'exploitation fixées par le schéma d'exploitation analysé
- 2 échantillons par fosses (1 de stérile, 1 de minerais)
- Echantillons prélevés à l'aide d'une pelle mécanique, entre 4 et 6 m de profondeur (par rapport au terrain naturel) c'est-à-dire dans la zone « roche oxydée / saprolite », le projet ne prévoyant pas d'exploiter la zone « roche non oxydée ».
- Analyses complémentaires de la teneur en or des échantillons, réalisées pour confirmation de l'appartenance des échantillons aux classes d'unité fonctionnelle.
- Test de lixiviation selon norme NF EN 12457-2
- Analyses ICP-AES sur lixiviat selon norme EN ISO 11885
- Analyses mercure sur lixiviats selon norme EN 1483

Résultats et interprétations :

Les concentrations en métaux analysés dans les lixiviats sont toujours inférieures aux seuils de détection à l'exception d'un échantillon de stérile présentant une valeur en Ni de 0,08mg/kg de matière sèche (Tableau 21). L'ensemble des lixiviations des matériels du site ont des concentrations en As, Cr total, Ni et Hg, inférieures aux critères d'admission définis par les deux arrêtés (Arrêté du 31 décembre 2004 relatif aux installations de stockage de

déchets industriels inertes et Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux). De plus, le pH des lixiviats est relativement neutre. On peut alors estimer que **l'entreposage du matériel d'exploitation du site de Yaou, ne présente peu de risques de lixiviation dommageable pour l'environnement concernant ces métaux.**

	unité	LMD	Echantillons stériles	Echantillons minerais	Valeurs seuils (déchets dang)	Valeurs seuils (déchets inertes)
Nombre d'échantillon total			7	7	###	
Masse total échantillon	g	###	1369,4<Mt<1664,8	1307,2<Mt<1631,6	###	
Sur lixiviats filtrés						
pH	###	###	6,4 < pH < 7,5	6,0 <pH <8,1	4 < pH < 13	
Conductivité (25°C)	µS/cm	###	480 < Cond < 1750	213 < Cond < 1570		
Arsenic (As)	mg/kg-MS	< 0,2	< LDM	< LDM	25	0,5
Chrome tot (Cr)	mg/kg-MS	< 0,02	< LDM	< LDM	70	0,5
Nickel (Ni)	mg/kg-MS	< 0,04	1 échant à 0,08	< LDM	40	0,4
Mercure tot (Hg)	mg/kg-MS	< 0,002	< LDM	< LDM	2	0,01

Tableau 21 : Résultats simplifiés des tests de lixiviation YAOU (Apave Sud Europe, 2005).

Test de prédiction de génération d'acidité

Présentation de la méthode :

Ces essais ont été réalisés en 1998 par le Centre de Recherche Minérale de Sainte Foy (Québec) pour le compte de la société Guyanor.

Les essais statiques réalisés correspondent à une détermination du potentiel générateur net d'acide des échantillons composites à l'aide de la méthode développée par BC Research.

- **le potentiel générateur d'acide** (PGA) est calculé a l'aide de teneur en soufre total (tout le soufre considéré comme pouvant participer à la formation de DMA) ;
- **le potentiel de capacité de neutralisation** (PCA) est déterminée par titrage avec de l'acide sulfurique jusqu'à obtention et maintien d'un pH de 3,5 ;
- **le potentiel générateur d'acide net** correspond à la différence entre le PGA et le PCA (PGAN = PGA – PCA).

L'interprétation s'effectue de la manière suivante :

- si -20 < PGAN < +20 kg/t H2SO4 alors l'essai est dit « incertain » et doit être confirmé par des tests cinétiques ;
- si PGAN < -20 kg/t H2SO4 alors l'échantillon est dit « producteur d'acide » présentant un risque de génération de DMA ;

- si PGAN > + 20 kg/t H_2SO_4 alors l'échantillon est dit « consommateur d'acide » ne présentant pas de risque de génération de DMA ;
- si la teneur en Soufre totale < 0,02 % alors l'échantillon est considéré d'office comme consommateur d'acide même si PGAN < -20 kg/t.

En parallèle, des analyses chimiques sur la composition des échantillons ont été réalisées.

Matériel analysé :

Les essais statiques sont réalisés sur des échantillons composites (6 à 9 échantillons initiaux) d'un poids total d'environ 24 kg complétés par des analyses chimiques complètes.

4 composites minerais (ou lots) représentatifs de chaque type de matériel sont ainsi analysés :

- Lots #1 : Minerai oxydé + saprolite (Zone A)
- Lots #2 : Roche non oxydée (dur) (Zone B)
- Lots #3 : Roche non oxydée (dur) (zone A et CL)
- Lots #4 : Latérites

Ainsi qu'un 1 composite stérile.

Pour ce faire, les échantillons ont du être prélevés à des profondeurs permettant d'atteindre la roche non oxydée soit plus de 35m de profondeur sur ce site.

Résultats et interprétations :

Les faibles teneurs en Arsenic ne laissent pas entrevoir la présence d'arsénopyrite dans les échantillons (Tableau 22).

Le Fer indique la présence de limonite ou encore de goethite dans les échantillons oxydés (lot #1 et #4). Ces échantillons, les plus altérés, se caractérisent par la transformation de la pyrite en goethite (oxydes : α-FeOOH) et limonite (hydroxydes $FeOOH.nH_2O$) observés grâce à des essais minéralogiques complémentaires. Les minéraux sulfurés de la paragénese initiale semblent donc avoir disparu des zones les plus altérées. L'oxydation de ces minéraux ayant donc déjà eut lieu. Cette hypothèse se confirme avec les essais statiques.

Les tests statiques ne révèlent aucun risque de formation de DMA sur le site du projet Yaou, l'ensemble des échantillons est classé comme consommateur d'acide (Tableau 23).

Eléments	Unité	Lot #1	Lot #2	Lot #3	Lot #4
Ag	ppm	9.0	0.25	10.0	1.3
Cu	ppm	78	80	53	79
As	ppm	2.1	15.0	2.0	2.4
Fe	%	5.06	5.21	3.02	9.26

Tableau 22 : Résultats d'analyses composition chimique projet Yaou (Rapport du CRMSF, 1998)

N° Lot	pH Naturel	Souffre	PCA	PGA	PGAN	Production acide
		%	kg H2SO4/t	kg H2SO4/t	kg H2SO4/t	
1	8.98	0.01	7.1	0.3	6.8	non
2	8.92	0.85	160.5	26	134.5	non
3	9.11	1.04	72.9	31.8	41.1	non
4	8.66	< 0.01	10.3	< 0.3	10	non
Stérile	9.20	0.08	107.0	2.45	104.6	non

Tableau 23 : Résultats des essais statiques projet Yaou (Rapport du CRMSF, 1998)

- **Projet Dorlin Nivré: site annexé en complément d'étude (société Auplata)**

Analyse géochimique

Présentation et matériel analysé :

Les spécificités de prélèvements et d'analyses sont identiques au projet Yaou.

Les résultats correspondent à une analyse statistique sur un ensemble d'échantillons répartis toutefois en deux classes, fonction de leur profil lithologique :

- Roche oxydée + saprolite
- Roche non oxydée

Tout comme sur le site du projet Yaou, les stériles non pas été analysés.

Résultats :

Les résultats de ces analyses sont présentés au tableau 24.

Tableau n°4 : Résultats des tests de lixiviation réalisés sur les échantillons de minerai et de stérile (zone YAOU ; 2006 ; laboratoires Wessling)

Paramètres analysés	ECHANTILLONS														VCI* usage non sensible
	Fosse A		Fosse B		Fosse BW		Fosse CL		Fosse I		Fosse J		Fosse K Sud		
	AS1 sterile	**AM1 minerai**	**BS1 sterile**	**BM1 minerai**	**BWS1 sterile**	**BWM1 minerai**	**CLS1 sterile**	**CLM1 minerai**	**IS1 sterile**	**IM1 minerai**	**JS1 sterile**	**JM1 minerai**	**KS1 sterile**	**KM1 minerai**	
SUR LIXIVIAT FILTRÉ															
pH	6,4	6,3	7,1	6,0	6,2	8,1	7,1	7,0	6,6	6,8	6,7	6,6	7,5	6,9	-
Conductivité (µS/cm)	1750	213	1240	580	480	1210	1060	910	1030	1570	1110	1000	920	1520	-
Eléments traces métalliques (mg/l)															
Arsenic (As)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	**0,1**
Chrome total (Cr)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	**0,25**
Nickel (Ni)	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	**0,1**
Mercure (Hg)	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	**0,005**
Fraction lixiviable en mg/kg															**VDSS****
Arsenic (As)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	**19**
Chrome total (Cr)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	**65**
Nickel (Ni)	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	**70**
Mercure (Hg)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	**3,5**

* VCI : Valeur de Constat d'Impact,

** VDSS : Valeur de Définition de Source-Sol

Valeurs extraites de l'annexe 5, valeurs guides en matière de pollution des sols et eaux, du guide méthodologique « gestion des sites et sols potentiellement pollués », MATE 2001.

Document public

Caractérisation des déchets miniers de quatre mines d'or de Guyane

Rapport final

BRGM/RP-61027-FR
Avril 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2009 et 2010 dans le cadre des conventions n° 0006504 action 5 et n° SU0007431 action 7 relatives à des investigation en matière d'environnement fiche SP n° SP09POLA09 et n° SP10EPI010

F. Cottard et V. Laperche
Avec la collaboration de
S. Michels Declercq et P. Piantone

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : François Blanchard	Nom : Hervé Gaboriau
Date : 14/05/2012	Date : 14/05/2012
Signature :	Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Geosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : Mine d'or, Guyane, Déchets miniers, Directive européenne sur la gestion des déchets de l'Industrie extractive, Caractérisation géochimique, Échantillonnage.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Cottard F. et Laperche V. (2012) – Caractérisation des déchets miniers de quatre mines d'or de Guyane. Rapport final. BRGM/RP-61027-FR. 117 p., 27 fig., 16 tabl., 4 ann.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude menée sur quatre mines d'or sélectionnées en Guyane, Esperance (commune d'Apatou), Dieu Merci, Saint-Élie (commune de Saint-Élie) et Yaou (commune de Maripasoula), permet de cerner la problématique induite par la gestion des résidus issus de l'exploitation de l'or.

Cette étude comprend : i) en Guyane une analyse documentaire pour chaque mine, une visite d'une journée sur chaque site, des prélèvements sur site ; ii) au laboratoire BRGM des analyses « roche totale » sur les échantillons de résidus et de roches, des analyses de lixiviats suivant les normes NF EN 12457-2 (pour l'essai de lixiviation en batch incluant les mesures du pH et de la conductivité) sur tous les échantillons et NF EN ISO 17294-2 et NF EN 13506 (pour l'analyse des éléments dans les lixiviats), ainsi que l'essai statique de quantification du potentiel de drainage acide selon la norme prEN 15 875 sur les échantillons de roches contenant des sulfures identifiés à l'œil nu ; iii) enfin une synthèse concernant la classification des résidus issus de l'exploitation de l'or pour chaque site et des recommandations sur la gestion des résidus pour diminuer leur impact sur le milieu naturel.

En regard de la réglementation en vigueur sur les déchets de l'industrie extractive, tous les résidus stockés sur site issus du traitement des altérites et des sédiments, sont classés déchets non dangereux non inertes, en raison de la fraction argileuse présente. Ceci implique une classification des sites où sont gérés les résidus selon la rubrique 2720 de la nomenclature des installations classées sauf si ces déchets sont stockés dans des conditions les préservant de l'érosion et d'un transport par l'eau.

En première approche, le stockage de ces résidus doit être envisagé dans des bassins, en limitant la longueur des digues et leur hauteur par le choix d'une configuration topographique favorable dans l'objectif de diminuer l'érosion et la production d'effluents à forte turbidité. Une végétalisation est recommandée. L'utilisation de géotextiles comme cela a été fait sur certains sites Guyanais d'exploitation de l'or peut être envisagée. Une optimisation de la gestion de résidus boueux est envisageable en utilisant des techniques améliorant l'extraction de l'eau contenue comme l'ajout de floculants ou l'utilisation de filtres textiles qui permettrait d'obtenir un résidu pelletable et stockable sous cette forme.

Concernant les déchets provenant de l'exploitation des minéralisations aurifères en roche mère, un drainage minier acide (DMA) potentiel est à attendre à cause de la présence de sulfures. Dans ce cas, ils relèvent de la rubrique 01 03 04 * du catalogue européens sur les déchets « stériles acidogènes provenant de la transformation du sulfure » et sont de fait classifiés déchets dangereux. Les sites où sont gérés ces résidus relèvent aussi de la rubrique 2720. Selon leur quantité relative de déchets producteurs de DMA par rapport aux autres déchets, la classification du site en A conformément à la règlementation demeure possible. Dans le cas d'une exploitation de roche contenant des sulfures frais, il est conseillé de modérer, voire d'empêcher le

DMA, en limitant au mieux l'exposition des roches contenant des sulfures, voire neutraliser les eaux acides issues des haldes par un apport de carbonates de calcium (calcaire) ou de chaux.

Lors de l'exploitation ou le remaniement d'anciens dépôts de résidus d'extraction de l'or, la problématique du mercure résiduel devra être nécessairement envisagée.

Un facteur important ayant une influence sur le devenir des stocks de résidus doit aussi pris en considération dans la cadre de l'exploitation de l'or particulaire dans des formations superficielles désagrégées : dans l'idéal, il faudrait que le taux de récupération de l'or soit au-dessous d'une valeur pour laquelle la reprise des déchets par des exploitants non officiels ne soit plus « rentable ».

6. Mine d'or de Yaou (SMYD)

6.1. RAPPEL HISTORIQUE

Relié par une piste de 15 km à Maripasoula, le site de Yaou a été découvert en tant que ressource primaire par l'inventaire national dans les années 80. La faisabilité minière a été assurée par le consortium Guyanor Resources - Cambior dans les années 90 et il est exploité par la SMYD (Société Minière Yaou-Dorlin), filiale d'AUPLATA seulement depuis 2005.

6.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU GISEMENT

L'essentiel de la géologie du site de Yaou s'organise autour de trois formations bien distinctes :

- les formations volcano-sédimentaires de la partie inférieure de l'Ensemble Détritique Inférieur ;
- Les formations volcano-sédimentaire de la partie supérieure de l'Ensemble Détritique Inférieur ;
- Deux intrusifs felsiques, aux contours arrondis, limitant le sud-est de la zone. Ces diorites[11] quartziques et trondjhemites[12] sont rattachés à la famille des granites Caraïbes.

Les concentrations aurifères primaires sont toutes associées à un hydrothermalisme à pyrite bien développé développant des veines de quartz recoupant plusieurs types lithologiques :

- intrusifs felsiques à intermédiaires (diorite quartzique avec minéralisation de type pyrite – rutile – magnétite – hématite – chalcopyrite. Le rutile et l'hématite proviendraient de l'altération hydrothermale de l'ilménite) : zones d'exploitation A et CL (Figure 25) ;
- tufs mafiques ou felsiques plus ou moins mylonitisés et riches en magnétite, pyrite, séricite et fuchsite (micas chromifère de couleur vert pomme) : zones d'exploitation B et BW ;
- mylonites[13].

[11] Diorite : roche magmatique grenue composée de feldspaths (plagioclases), d'amphibole verte et de traces de biotite.

[12] Trondjhemites : Diorite quartzique à feldspaths plagioclase.

[13] Mylonite : roche broyée dans un accident tectonique.

Sous le profil latéritique, l'or s'observe en remplissage de fractures à l'intérieur de la pyrite. La latéritisation est moins poussée que sur les autres sites visités (< 50 m) et dans les fosses on trouve rapidement les roches oxydées et indurées qui n'ont pas été exploitées.

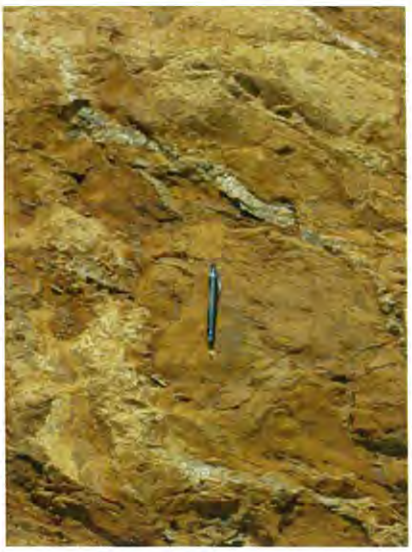


Figure 25 - Stockwerk quarzeux encaissé dans faciès induré de diorite quarzique altérée (sole fosse A).

6.3. DESCRIPTION DE LA MINE ET DU PROCÉDÉ DE TRAITEMENT

Les concentrations aurifères détectées en surface et par sondages ont donné lieu à plusieurs zones d'exploitation distinctes : fosse A (lentille d'intrusif dioritique minéralisé, saprolitique, de 200 m x 80 m), fosse B (unité de tufs felsiques laminés, localement riches en magnétite), fosse CL (intrusifs felsiques fortement altérés), fosse BW (tufs felsiques et mafiques des associées à des roches siliceuses à hématite et magnétite).

De nouvelles zones d'exploitation sont prévues dans l'avenir (fosses I, J, K et E&H) dans les mêmes types de formations géologiques et avec la même méthode d'extraction dite « en tranchée descendante ».

Le procédé de traitement du minerai comporte une phase de broyage et de mise en pulpe (mélange avec de l'eau), puis différentes étapes de concentration grâce à des centrifugeuses (l'or étant plus lourd que les minéraux qui le contiennent, il se concentre ainsi par phases successives).

L'eau est rejetée avec le minerai appauvri, dans un parc où elle décante dans des bassins avant d'être recyclée dans le procédé. Le concentré issu des centrifugeuses est traité sur une table vibrante, qui permet de récupérer les particules d'or en les séparant des sables, moins denses. La poudre d'or ainsi récupérée est fondue en lingots de « doré » qui sont vendus à un affineur. Le taux de récupération de l'or

obtenu sur le minerai par ce procédé gravimétrique est compris entre 20 et 30 % de l'or contenu dans le minerai.

Comme à Dieu Merci, il est prévu dans l'avenir de mettre en œuvre un procédé de lixiviation de l'or en utilisant le thiosulfate de sodium[14] (pilote en cours) en vue de récupérer les fractions granulométriques fines perdues dans les rejets.

6.4. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE

Comme sur toutes les mines visitées, on distinguera les verses à stériles d'exploitation et les parcs à résidus issus du traitement.

Les stériles sont très hétérogènes du point de vue chimique car ils peuvent provenir des différentes formations géologiques constituant les gisements de Yaou. Ils sont composés par de la saprolite (roche totalement oxydée) et de la roche altérée, c'est-à-dire des matériaux dont les principaux minéraux (phyllosilicates et sulfures dans le minerai) ont été fortement oxydés et/ou ont disparu ; et où seul le quartz, parmi les composants principaux, est encore sous sa forme cristalline et sa composition chimique primaire.

Trois grands stocks de stériles ont été identifiés sur le site près des fosses d'exploitation.

Les rejets sont composés pour l'essentiel de particules argilo-silteuses de taille inférieure à 100 µm et de quartz. Ces rejets contiennent encore beaucoup d'or ainsi que d'autres métaux et oxydes présents dans le minerai d'origine. Ils sont dirigés actuellement vers le parc à résidus évalué à un volume de 48 000 m^3 et constitués par deux bassins de stockage :

- un bassin amont n° 1 couvrant 2,5 ha, situé au pied de l'usine et arrivé à saturation ;
- et un bassin aval n° 2 d'une superficie de 3,3 ha appelé bassin Lauvernier situé immédiatement en contrebas du premier où est positionnée la canalisation de déversement de la pulpe.

Un bassin de clarification d'une surface estimée de 1,5 ha est situé au nord du bassin n 1 à l'emplacement de l'ancienne fosse B et permet d'optimiser la décantation de l'eau avant pompage pour réutilisation dans le procédé de traitement.

Ces bassins de stockage servent de stockages principaux des rejets pouvant être valorisés dans l'avenir.

[14] Qui devra faire l'objet d'une analyse d'impact sur l'environnement.

6.5. DÉFINITION DU PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET PROGRAMME

L'objectif a été de caractériser deux verses à stériles différentes en fonction de la nature géologique des formations décaissées. Deux parcs à résidus complètent le programme d'échantillonnage. La digue séparant les deux bassins était en cours de rehausse lors de la visite.

6.5.1. Parcs à résidus

Les deux parcs à résidus ont été échantillonnés comme suit (voir carte de localisation de l'annexe 1) :

- bassin n° 1 : trois prélèvements d'environ 20 à 25 kg ont été effectués en bordure du bassin sur des produits curés (YAOUR1b en tranchée) ou en place près de la digue (YAOUR1a) ou à l'extrémité du bassin (sur une petite fosse de 50 cm de profondeur YAOUR1c). Les faciès souvent interstratifiés varient du limon argilo-sableux à l'argile beige veinée de rouge ;
- bassin Lauvernier n° 2 : trois prélèvements proches et localisés dans le cône d'alimentation sous la forme de trois petites fosses alignées : YAOUR2a-b-c. YAOUR2a correspondant à des argiles plastiques orange interstratifiées avec des sablons gris (Figure 26), YAOUR2b a été prélevé dans le chenal d'alimentation avec des sables peu triés, et YAOUR2c correspondant à des argiles plastiques bariolées.

Figure 26 - Échantillonnage de résidus en sub surface dans le bassin Lauvernier et détail du prélèvement R2a (argile plastique au dessus d'argile sablonneuse).

6.5.2. Verses à stériles

De nombreuses verses à stériles existent sur le pourtour des anciennes fosses. Nous avons privilégié les verses principales en fonction de la nature des roches décaissées.

- Verse localisée entre les fosses CL et BW assez hétérogène : trois prélèvements ont été réalisés sur cette verse comme suit : YAOUS1a est constitué par quatre prises successives dans une ravine correspond à un faciès argileux rouge, YAOUS1b correspond à un faciès caillouteux au sommet du terril et YAOUS1c correspond à une terre brune de découverture, provenant des travaux récents, stockée au sommet du terril.
- Grande verse localisée en bordure de la piste et provenant de l'ancienne fosse A : trois prélèvements ont été faits sur les anciens déblais de saprolite partiellement revégétalisée (YAOUS2a) ; trois prises verticales ont eté faites dans la ravine avec des matériaux en cours de fluage (YAOUS2b) et un rainurage vertical a été fait dans les déblais re-sédimentés très hétérogènes (YAOUS2c).

6.5.3. Déchets particuliers

Rejets des séparateurs magnétiques : échantillon de minéraux noirs magnétiques YAOUR3 prélevé sous forme de quatre à cinq prises sur le tas devant l'usine (Figure 27).

Figure 27 - Rejet en tas de mineraux lourds en provenance des séparateurs magnétiques.
En arrière plan le parc à résidus n° 1 en partie immergée avec sur la droite la digue en cours de réhaussement.

6.6. DONNÉES DISPONIBLES SUR LES CARACTÉRISATIONS ANTÉRIEURES

Comme sur le site minier de Dieu Merci, une caractérisation du phénomène du Drainage Minier Acide a été réalisée en 2006 sur plusieurs faciès de minerais et de déchets de Yaou. Au total, 14 échantillons (7 provenant de fosse et 7 de stériles) ont été prélevés par l'APAVE Sud Europe puis analysés et soumis au test de lixiviation normé NF EN 12457-2. Aucune anomalie n'a été décelée dans les résultats.

Des tests statiques plus anciens ont été réalisés en 1998 par un bureau d'étude canadien pour le compte de la société Guyanor. Les résultats à l'époque n'ont révélé aucun risque de formation de DMA sur le site de Yaou, l'ensemble des échantillons étant classé comme consommateur d'acide (Miramond *et al.*, 2006).

6.7. RÉSULTATS DU PROGRAMME DE CARACTÉRISATION

Les caractéristiques des prélèvements réalisés sur la mine d'Espérance sont rassemblées dans le Tableau 13. Les treize prélèvements élémentaires ont été regroupés pour certains pour former cinq échantillons composites.

YAOU	Ouvrage	Prélèvements élémentaires	Echantillon Composite unitaire	Localisation sur site	Mode de prélèvement	Description	Poids	Remarques
Opérateur minier: SMYD Date: 29/07/10 Echantillonneur: F. Cottard								
Résidus de traitement								
	Parc à résidus 1	YAOU R1a	Composite YAOUR1	En bordure digue 1	prélèvement direct avec pelle à main	Limon argilo-sableux gris		
		YAOU R1b		Sur matériaux de curage de la digue	tranchée 2mx0,5m	Limon argilo-sableux gris		En activité avec réhaussement de la digue
		YAOU R1c		Dans verse près digue 2	pelle à main et spatule dans petite fosse	alternance sables fins et argile puis argile beige homogène plastique		
	Parc à résidus 2 "Lauvernier"	YAOU R2a	Composite YAOUR2	Près zone d'alimentation sur fosse	dans fosse 30 cm	argile plastique orange à beige avec intercalations plus sableuses		Non en activité mais prévue pour future stockage
		YAOU R2b		à 5 m du précédent dans	dans fosse 30 cm	sable grossier à fin non trié		
		YAOU R2c		à 8 m du précédent	dans fosse 30 cm	argile plastique bariolée		
	Tas devant usine	YAOU R3	YAOU R3	Devant usine	spatule en 3 à 4 prises sur tas	Dépôt de minéraux noirs accumulés par concentrateurs magnétiques	5 kg	
Stériles d'extraction								
	Verse à stériles 1	YAOU S1a	Composite YAOU S1	Dans ravine en montant en 4 prises	Rainurage	saprolite et argile rouge bariolée avec blocs et fragments		Provenance fosses A et CL, stériles récents à actuels avec diorite et schistes
		YAOU S1b		au sommet du tas: faciès caillouteux gris avec schistes et diorite oxydés	grab sampling	saprolite avec blocs et fragments indurés		
		YAOU S1c		au sommet du tas: faciès terre de découverture/ top	Rainurage	Terre végétale et argile		Matériaux à conserver pour réhabilitation
	Verse à stériles 2	YAOU S2a	Composite YAOUS2	saprolite avec fragments et blocs bas de talus	fosses 15 cm en surface	saprolite sur shiste		Provenance fosse centrale, stériles anciens avec fougère
		YAOU S2b		saprolite avec fragments et blocs bas de talus	3 prises verticales dans ravine			Fluage des matériaux gorgés d'eau
		YAOU S2c		déblais de saprolite à blocs	rainurage vertical	saprolite avec intercalations de couleur variée		

Tableau 13 - Synthèse des caractéristiques des prélèvements effectués sur la mine de Yaou.

Les résultats de la campagne 2010 mettent en évidence que les teneurs en soufre total des échantillons sont < 0,1 % donc que ces échantillons analysés sont en dessous du

critère de 0,1 % du soufre total compté en soufre réduit issu de sulfures ; ils sont donc considérés comme non acidogènes au regard de l'arrêté du 19 avril 2010 (Tableau 14).

Les concentrations en métaux des solides peuvent être très variables d'un échantillon à l'autre (Tableau 14 et Annexe 2). Une moyenne a été calculée pour As, Co, Cr, Cu, ni, Pb, V et Zn à partir des données de l'inventaire national dans la région de Yaou (Tableau 15). Les valeurs maximales déterminées sont supérieures à celles des échantillons analysés sauf pour As (Tableau 13 et Tableau 14). Il n'y a pas de valeur pour le Cd et le Mo par contre pour le Hg, on peut se baser sur la concentration estimée pour le fond géochimique qui est environ de 0,10 ± 0,05 mg/kg (Chalet *et al.*, 2003, Laperche *et al.*, 2007).

Les valeurs de pH sont toutes inférieures à la valeur seuil de 9 (Tableau 14) et sont semblables aux valeurs locales des eaux de rivières et des eaux de pluies de la Guyane. Les valeurs de pH des eaux du Maroni et des affluents du Maroni varient de 5,9 à 7,4 dans le Maroni et de 5,5 à 7,6 dans les affluents et les pH des eaux de pluies varient de 5,5 à 6,4 dans la zone de Cayenne et de 4,7 à 6,5 dans la zone du Maroni (Négrel et Lachassage, 2000 ; Chatelet *et al.*, 2005). Même si les concentrations en As dans les 5 échantillons composites sont au-dessus des concentrations calculées pour le « fond géochimique », aucune des concentrations en métaux n'est au-dessus des valeurs seuils dans les lixiviats (Tableau 14). Il n'y a pas de valeur seuil pour le Co et le V.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Stot	
	20	2	5	10	5	0,025	5	10	10	10	5	0,01	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	
YAOU R1abc	39	< LQ	38	238	35	< LQ	8	154	19	143	73	0,03	
YAOU R2abc	62	< LQ	73	1439	99	0,03	5	366	15	306	89	0,02	
YAOU R3	66	< LQ	53	2592	55	< LQ	< LQ	304	< LQ	560	225	0,01	
YAOU S1abc	66	< LQ	86	1390	92	0,06	5	554	18	323	102	0,03	
YAOU S2abc	57	< LQ	89	2355	98	< LQ	< LQ	767	10	303	126	0,01	
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Conductivité à 25°C	pH
Valeur seuil	10	3	---	50	2000	1	70	20	10	---	5000	1100	9
Unité	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µS/cm	U
YAOU R2abc	< LQ	< LQ	4,38	0,27	2,59	< LQ	< LQ	3,41	< LQ	< LQ	18,8	9	5,62
YAOU R3	< LQ	< LQ	1,86	1,78	2,22	< LQ	< LQ	9,12	< LQ	< LQ	42,1	8	6,05
YAOU S1abc	< LQ	< LQ	1,61	0,37	2,8	< LQ	< LQ	3,05	< LQ	< LQ	67,8	10	5,34
YAOU S2abc	< LQ	< LQ	0,11	1,16	1,7	< LQ	< LQ	1,42	< LQ	< LQ	9,8	9	5,91

Tableau 14 - Compositions totales et concentrations des lixiviats des échantillons prélevés à Yaou.

(en vert la norme eau potable OMS et en jaune lesvaleurs de l'arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine publié au J.O. le 6 février 2007)

Inventaire national	Origine des données	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn
mini	Commune de Yaou	1,0	nd	1,0	32,0	8,0	nd	nd	1,0	1,0	13,0	19,0
1er quartile		1,0	nd	2,0	51,5	12,5	nd	nd	3,3	1,0	39,3	32,3
moyenne		2,1	nd	27,3	452,3	63,4	nd	nd	66,1	5,8	154,7	70,8
écart-type		5,8	nd	62,9	816,8	72,6	nd	nd	156,4	10,6	168,5	56,8
médiane		1,0	nd	3,0	100,0	28,0	nd	nd	5,0	1,0	68,0	50,5
3ème quartile		1,0	nd	10,5	398,5	75,3	nd	nd	45,3	6,0	216,3	96,0
max		33,0	nd	233,0	3840,0	232,0	nd	nd	686,0	40,0	620,0	258,0
ASPITET (INRA)	France	1-26	0,05-0,46	2-24	10-91	2-21	0,02-0,11	nd	2-61	9-51	nd	10-101
Cary et al. (2008)	Europe	15	0,2	15	125	30	0,05	1	40	30	nd	100
Sposito (1989)	Monde	7,2	0,35	9	54	25	0,09	0,97	19	19	80	60

Tableau 15 - Paramètres statistiques élémentaires calculés à partir des données de l'inventaire national dans la zone de Yaou (n = 30).

nd : non déterminé (mg/kg), mini : valeur minimale, max : valeur maximale ; fourchettes de valeurs de sols ordinaires métropolitains (Programme ASPITET, INRA) ; valeurs moyennes provenant du référentiel européen (Cary et al., 2009) ; valeurs moyennes dans des sols mondiaux (Sposito (1989)

6.8. CONCLUSIONS

D'après la décision de la Commission 2009/359/EC et l'arrêté du 19 avril, un déchet est dit inerte s'il répond à l'ensemble des cinq critères suivants :

- absence de désintégration ou dissolution ;
- pas de DMA potentiel ;
- teneurs en substances et éléments chimiques faibles ;
- pas d'autocombustion ni d'inflammabilité ;
- absence de réactifs ajoutés dans le traitement.

Aux vues des points clés rappelés ci-dessus et compte tenu des spécificités des mines de Guyane évoquées précédemment : l'argile des saprolites ainsi que celle des sols mis à nu (« top soil ») est facilement dissociée et mobilisée sous forme particulaire sous l'action de l'eau météorique. Sur la base de ce constat, aucun déchet minier riche en argile ne peut donc être classé comme inerte. Les concentrations plus élevées que la moyenne des valeurs servant de référence en certains métaux par exemple As, Cr, Ni et V ne permettent pas de donner un avis définitif par rapport au critère (d) de l'arrêté de l'Arrêté du 19/04/10 relatif à la gestion des déchets des industries extractives (voir p27).

Les recommandations pour le site de Yaou sont :

- Le stockage des résidus dans des bassins (avec décantation des eaux : recyclage) en limitant les digues (aussi bien en hauteur, qu'en longueur) par une configuration favorable doit être considéré comme la solution optimale. Il doit être suivi d'une végétalisation de ces résidus dans l'objectif de limiter les phénomènes d'érosion lors de la saison des pluies. La surveillance des eaux rejetées dans le milieu naturel doit être rigoureuse d'autant qu'il existe des contraintes concernant la couleur de mélange entre l'eau de l'environnement et les rejets. Dans certains sites comme à Dieu Merci des membranes géotextiles ont été mises en place. Une optimisation de la gestion de résidus boueux est envisageable en utilisant des techniques

améliorant l'extraction de l'eau contenue comme l'ajout de floculants ou l'utilisation de filtres textiles qui permettrait d'obtenir un résidu pelletable et stockable sous cette forme.

- Déterminer le fond géochimique local autour de la mine de Yaou en faisant une vingtaine de prélèvements de sol pour évaluer les concentrations moyennes des différents éléments ceci afin de comparer les concentrations trouvées dans les résidus à un référentiel local pour éviter « tout classement en anomalie par défaut» par rapport à un référentiel non pertinent.
- Porter une attention particulière aux résidus contenant des sulfures et aux zones exploitées en roche primaire pour prévenir tout DMA.

URSTM
Unité de recherche et de service en technologie minérale
de l'Abitibi-Témiscamingue
445, boul. de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Tél.: (819) 762-0971 poste 2558 • Fax: (819) 797-8672

Analyses chimiques ICP-AES des sulfates suite à une extraction avec 40% HCl

Préparation: Tommy Bernier
Analyse: Mélanie Bélanger
Date d'analyse: 7 juin 2010
Vérification: Benoit Plante
Projet: PU-2010-01-496
PO: Auplata

Éléments LDM	$S_{sulfate}$ n/d
DMA Fosse A (U14041)	0,007
DMA Parc 1 (U14042)	0,001
DMA Parc 2 (U14043)	0,001
DMA Yaou Central (U14044)	0,000

Notes: Tous les résultats sont exprimés en %(p/p)

Approuvé par:
Benoit Plante, Chimiste

Date: 7 juin 2010

UQAT
Unité de recherche et de service en technologie minérale
de l'Abitibi-Témiscamingue
445, Boul. de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Tél.: (819) 762-0971 poste 2558 • Fax: (819) 797-8672

Analyses chimiques ICP-AES de Digestions

Préparation: Mélanie Bélanger
Analyse: Mélanie Bélanger
Date d'analyse: 2 juin 2010
Vérification: Benoit Plante
Projet: PU-2010-01-496

Éléments	Al	As*	Ba	Be*	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Se*	Sn	Ti	Zn
LDM	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
DMA Fosse A (U14041)	12,6	0,000	0,056	0,000	0,001	0,029	0,000	0,001	0,012	0,003	4,25	0,144	0,003	0,001	0,009	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,142	0,001
DMA Parc 1 (U14042)	8,33	0,000	0,064	0,000	0,000	0,029	0,000	0,010	0,051	0,003	7,38	0,690	0,128	0,001	0,028	0,000	0,014	0,001	0,000	0,004	0,238	0,004
DMA Parc 2 (U14043)	6,50	0,000	0,056	0,000	0,000	0,015	0,000	0,007	0,055	0,005	9,40	0,345	0,093	0,000	0,018	0,000	0,006	0,002	0,000	0,002	0,398	0,003
DMA Yaou Central (U14044)	8,58	0,000	0,090	0,000	0,000	0,011	0,000	0,003	0,116	0,005	8,92	0,561	0,028	0,000	0,023	0,000	0,000	0,003	0,000	0,034	0,377	0,004

Notes: Tous les résultats sont exprimés en %(p/p)
À moins d'avis contraire, la digestion est totale par $HNO_3/Br_2/HF/HCL$.
*: La méthode de digestion utilisée peut volatiliser ces éléments(As, Be, Se)

Approuvé par:
Benoit Plante, Chimiste

Date: 2 juin 2010

Annexe 10

Résultats des tests de potentiel de génération d'acidité réalisés sur les rejets de la gravimétrie

Source : SMYD, 2014

URSTM
Unité de recherche et de service en technologie minérale
de l'Abitibi-Témiscamingue
445, boul. de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Tél.: (819) 762-0971 poste 2558 • Fax: (819) 797-6672

Bilan des essais statiques

Échantillonneur: **Client**
Projet: **PU-2014-05-905**
Analyses : **Mélinda Gervais, Janie Guimond Rousson, Michelle Caron**

Échantillon	S_{total} (%)	$S_{sulfate}$ (%)	$S_{sulfure}$ (%)	PA (kg $CaCO_3$/t)	C_{total} (%)	$PN_{modifié}$ (kg $CaCO_3$/t)	PNN (kg $CaCO_3$/t)	PN/PA	Acidogène Dir. 019 2005	Acidogène Dir. 019 2012
S1 Géo + Yaou (U34272)	0,05	0,000	0,05	1,7	<0,05	0,0	-1,7	0,0	Non	Non
S2 Géo + Yaou (U34272)	0,03	0,030	0,00	0,1	<0,05	0,0	-0,1	0,0	Non	Non
S5 Géo + Yaou (U34272)	0,07	0,007	0,07	2,0	0,26	0,0	-2,0	0,0	Non	Non

Notes : PA = potentiel de génération d'acide = 31,25*$S_{sulfure}$ (%)
$PN_{modifié}$ = potentiel de neutralisation par la méthode modifiée par Lawrence et Wang (1997)
PNN = potentiel de neutralisation net = PN - PA
Les échantillons avec S_{total} < 0,3% sont automatiquement considérés non acidogènes dans la Directive 019 2012 du MDDEP, prière de consulter les réglementations locales.
Les échantillons avec $S_{sulfure}$ < 0,3% sont automatiquement considérés non acidogènes dans la Directive 019 2005 du MDDEP, prière de consulter les réglementations locales.

Approuvé par :

Marc Paquin, Chimiste

Annexe 11

Rapport d'étude géotechnique : Construction du bassin n°1 de stockage des résidus ultimes issus du traitement par cyanuration. Site minier de Yaou (MINES & Avenir, 2014)

Source : MINES & Avenir

GEOLOGUE, GEOTECHNIQUE, MINES ET ENVIRONNEMENT

MINE & AVENIR

Ingénierie géologique géotechnique et minière

RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

CONSTRUCTION DE BASSINS DE STOCKAGE DES RESIDUS ULTIMES DE TRAITEMENT DU MINERAI

SITE MINIER DE YAOU

Commune de MARIPASOULA

SOCIETE MINIERE DE YAOU-DORLIN S.A.	
réf. : RP-973/1073/02	SEPTEMBRE 2014

IDM TETHYS

138, PAE du Dégrad des Cannes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél : 05 94 30 37 79 – Fax : 05 94 29 06 61
Mobiles : 06 07 05 74 70 06 94 00 23 13 roc2@wanadoo.fr idmtethys@yahoo.com
SARL au capital de 10.000€ RCF Cayenne 537 834 442 NAF 7112B

MINE & AVENIR

Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE, GEOTECHNIQUE, MINES ET ENVIRONNEMENT

Rémire-Montjoly,
le 16 Septembre 2014

RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Nos Réf. : RP-973/1073/02

SITUATION : Crique Yaou, site minier de Yaou,
commune de MARIPASOULA.

OBJET :

Étude géotechnique en vue de la construction de 3 bassins de stockage des résidus ultimes de traitement du minerai ; notre devis réf. RP-973/1073/01 du 03/02/2014, votre Bon de Commande n°5012 du 18/02/2014.

DEMANDEUR :

M. Pierre GIBERT, Directeur Technique, AUPLATA S.A.,
Dégrad des Cannes, 97354 REMIRE-MONTJOLY.

Documents fournis :

- plan topographique général lidar ;
- plan de masse des digues projetées.

IDM TETHYS

138, PAE du Dégrad des Cannes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél : 05 94 30 37 79 – Fax : 05 94 29 06 61
Mobiles : 06 07 05 74 70 06 94 00 23 13 roc2@wanadoo.fr idmtethys@yahoo.com
SARL au capital de 10.000€ RCF Cayenne 537 834 442 NAF 7112B

Sommaire

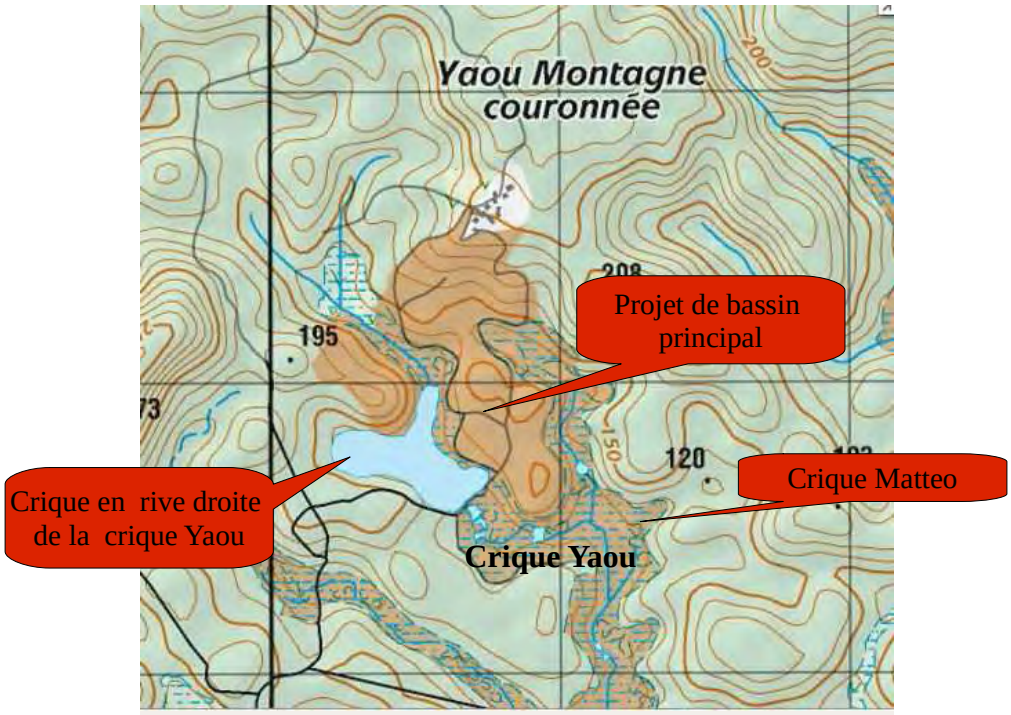
Table des matières

I.INTRODUCTION - ELEMENTS GENERAUX....4
I.1.Le site - Le projet....4
I.2. La problématique – Principes généraux de conception des ouvrages de stockage des résidus....6
II.PRINCIPE DE L'ETUDE....9
III. GÉOLOGIE DU SITE – RÉSULTATS DES SONDAGES....10
III.1. Cadre géologique général....10
III.2. Analyse de détail - Résultats des sondages....11
IV. HYDROGÉOLOGIE DU SITE....16
V.ESSAIS EN LABORATOIRE....17
V.1. Matériaux des digues :....17
V.1.1. Colluvions et saprolites ferralitisées marron :....17
V.1.2. Saprolites rosées....18
V.2. Résidus ultimes à soutenir :....18
VI. GÉOTECHNIQUE....20
VI.1. Stabilité naturelle actuelle du site....20
VI.2. Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques projetés 20
VI.2.1. Considération générales sur le projet - Examen de détail de chacun des ouvrages....20
VI.2.2. La construction des digues - Éléments généraux....32
VI.3. Géométrie des digues - Calculs de stabilité....38
VI.3.1. Hypothèses retenues....38
VI.3.2. Digues étanches en matériaux argileux :....38
VI.3.3. Digues en matériaux graveleux (talus de résidus sableux) : 41

I.INTRODUCTION - ELEMENTS GENERAUX

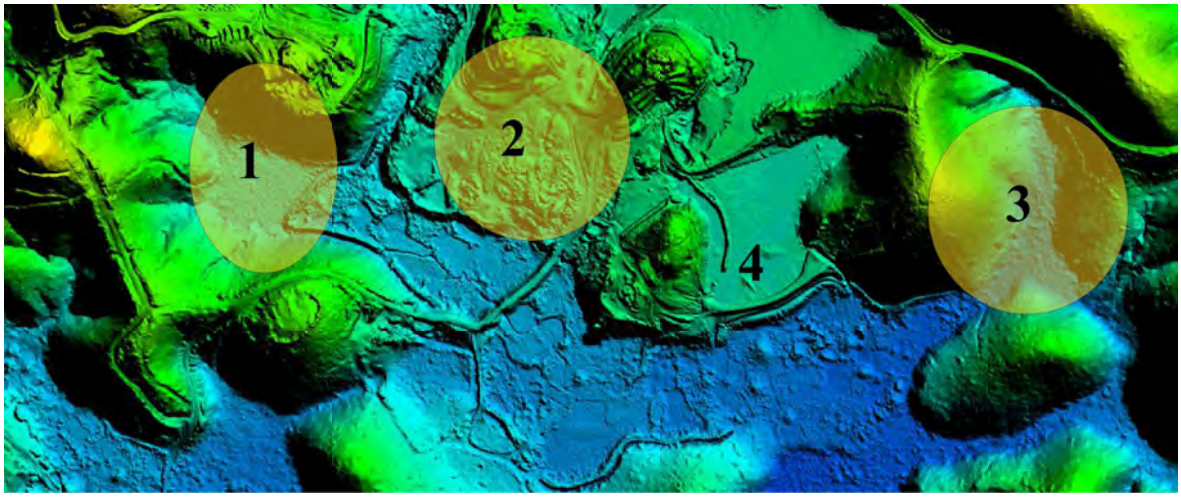
I.1.Le site - Le projet

Le secteur étudié, situé en partie Sud du site minier de Yaou dans la zone des bassins de stockage de résidus de l'usine gravimétrique et de retenue d'eau, concerne plusieurs sites en aval de la future usine modulaire traitement des minerais aurifères (UMTMA) par cyanuration. On y projette ainsi la construction de 3 bassins de retenue des résidus ultimes sableux décyanurés à l'issue de l'UMTMA avec une hauteur de résidus soutenus prévisible de 15 m ; il s'agira de matériaux sableux cyclonés et broyés à 100 µm puis centrifugés de façon à obtenir une teneur en eau très faible avec manipulation par bandes transporteuses jusqu'aux bassins.
Le projet comporte actuellement différentes possibilités d'installation des bassins dans les criques avec : le bassin Lauvernier (actuellement à rôle de décantation des eaux et stockage des résidus, digue D2), la crique Matteo affluent en rive gauche de la crique Yaou en aval du site minier et une crique affluente en rive droite de la crique Yaou face à l'usine de traitement gravimétrique existante.



Localisation du projet (le bassin dans la crique Yaou porté sur la carte a disparu depuis 2008).

A l'issue des premières réflexions et des premières investigations sur site, il est apparu que les deux criques en question présentaient des difficultés techniques pour la réalisation d'ouvrages de retenue, en termes de fondation des digues et de drainage de résidus comme de conception des ouvrages (voir plus bas §VI.2.2) et qu'un des sites possibles se trouvait représenté par le secteur compris entre la crique Yaou à l'Ouest et la piste d'accès au site minier (atelier, etc...) à l'Est et au Sud. Ce secteur, suffisamment vaste a priori pour recevoir un fort tonnage et faire face à plusieurs années de mise en dépôt des résidus, permettait également de conserver le bassin Lauvernier comme bassin d'eau claire, alors même que ce bassin venait récemment d'être remis en état (fuites de la digue etc..).



1 Crique en rive droite de la crique Yaou
2 Projet de bassin principal en rive gauche de la crique Yaou
3 Crique Matteo 4 Digue D2 (bassin Lauvernier)

Relief de la zone du projet

I.2. La problématique - Principes généraux de conception des ouvrages de stockage des résidus

D'une façon générale, la problématique de ce type de bassin est évidement toujours de réaliser des ouvrages jouant à la fois un rôle de retenue des sables et un rôle de retenue des eaux issues de ces sables avec nécessité d'une parfaite étanchéité. Quelle que soit la teneur en eau d'arrivée du matériau, l'ensemble de la masse stockée dans un bassin étanche finira par être saturée, notamment par les apports météoriques, si l'on ne récupère que les surnageants ; il en résulte entre autres des poussées sur l'ouvrage majorées par rapport à un matériau plus sec et des risques potentiels de fuites (dont la pratique montre qu'ils sont souvent difficiles à écarter par suite de lacunes dans la réalisation ou dans le suivi de l'exécution des remblais).
De plus, il convient d'éviter la construction dès le début d'ouvrages de 15 m de hauteur qui seront soumis à l'érosion pluviale alors que seule leur partie déjà remplie sera fonctionnelle. Un ouvrage construit par étapes serait ainsi mieux adapté, avec des surélévations successives décalées vers l'amont et s'appuyant pour partie sur les remblais sableux ; néanmoins, cette méthode bien adaptée habituellement pour les résidus des usines gravimétriques, se heurtera au caractère plus fin des résidus et à la nécessité d'une parfaite maîtrise des fuites et d'une complète étanchéité.

Deux types d'ouvrages sont possibles ici avec :
- soit **des digues étanches « classiques »**, du type digues de retenue d'eau, avec pompage des eaux du bassin pour leur recyclage dans l'usine ; cette solution comportera certaines difficultés : large emprise de la digue, de l'ordre de 45 m à la base, nécessité de purge profonde au droit des flats, coûts d'exécution, etc...
- soit de **séparer les fonctions de rétention et d'étanchéité en deux ouvrages** distincts ; la question serait donc ici de séparer le rôle de rétention des sables d'avec celui de retenue des eaux et donc de créer d'une part un ouvrage perméable et drainant à rôle de soutènement des sables et d'autre part un second ouvrage étanche en aval à rôle de retenue des eaux.
Cette solution, conseillée et retenue ici a priori, conduira alors à la création d'un bassin étanche mais avec différents compartiments :

- en amont un ouvrage de rétention des sables qui sera globalement perméable et conçu comme un épais masque graveleux. Il pourra s'agir d'un remblai en matériaux graveleux construit par phases successives suivant l'augmentation du niveau des sables à contenir.
L'intérêt de cet ouvrage construit par étapes réside dans une fondation peu large avec une moindre nécessité de curage, une faible érosion, une construction évolutive avec les besoins, la non nécessité d'étanchéité,

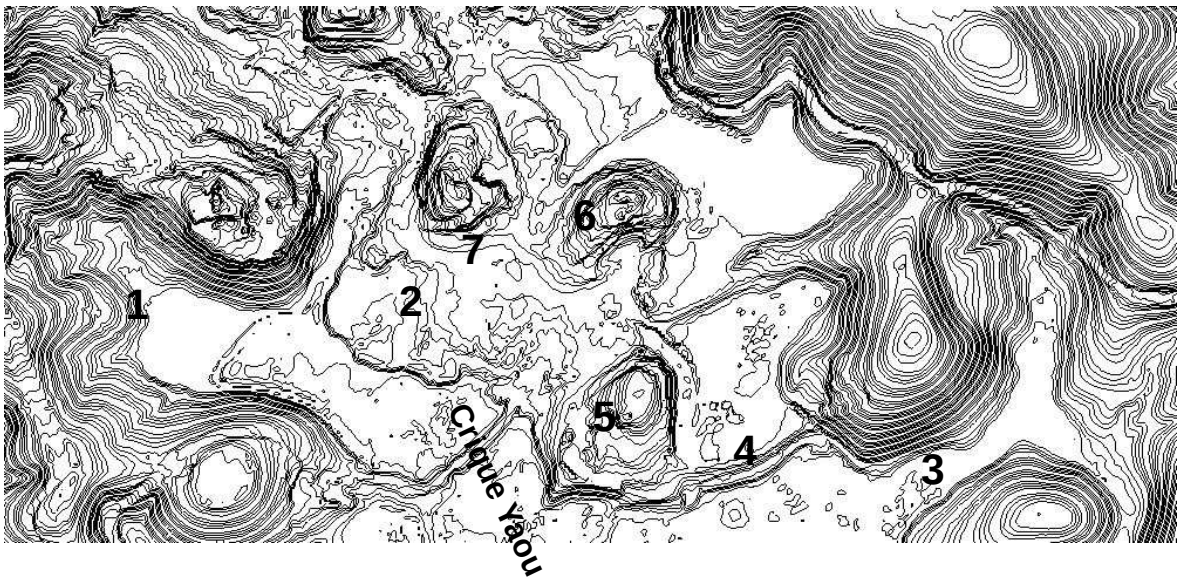
l'absence de stagnation prolongée des eaux au contact des résidus et des poussées minorées ;

- en aval un bassin d'eau de faible volume retenu par un ouvrage de faible hauteur, construit en aval hydraulique du premier, qui ne retiendra que les eaux issues du bassin de sables en amont avant leur reprise par pompage. Il s'agira là d'un ouvrage classique étanche en produits argileux compactés réalisé en une seule étape. Les eaux retenues par ce bassin étanche aval consisteront dans les eaux issues du ressuyage des sables, a priori de très faible volume, et dans les eaux météoriques collectées par le strict impluvium du bassin.

Son intérêt réside, outre les facilités de chantier, dans la faible importance de l'ouvrage (purge, largeur d'assise de la fondation, etc..) et dans le fait que sa stabilité et sa parfaite étanchéité seront plus faciles à assurer en raison de cette faible hauteur ; de plus, le risque se trouve reporté ici sur un ouvrage de faible hauteur plus aisé à réaliser avec soin.

La hauteur prévue des résidus sableux contenus dans les bassins est ici a priori de 15m et il est prévu dans le process de recycler les eaux de ces bassins après pompage vers l'usine après reprise depuis un bassin de retenue des eaux de drainage comportant une digue d'environ 6m de hauteur.

Nous examinons ici les conditions géologiques et géotechniques de la construction de ces différents bassins.



1 Crique en rive droite de la crique Yaou

2 Projet de bassin principal en rive gauche de la crique Yaou 3 Crique Matteo
4 Digue D2 (bassin Lauvernier) 5 Usine projetée 6 Usine actuelle
7 Ateliers existants

Vue d'ensemble du secteur 2 depuis le Sud.

II.PRINCIPE DE L'ETUDE

Il s'agit d'une mission de type G2 (Étude géotechnique de conception - phase Avant-Projet) suivant la norme de classification des missions géotechniques types (NF P 94–500) visant à fournir les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant les ouvrages projetés.

Il a ainsi été réalisé sur le site :

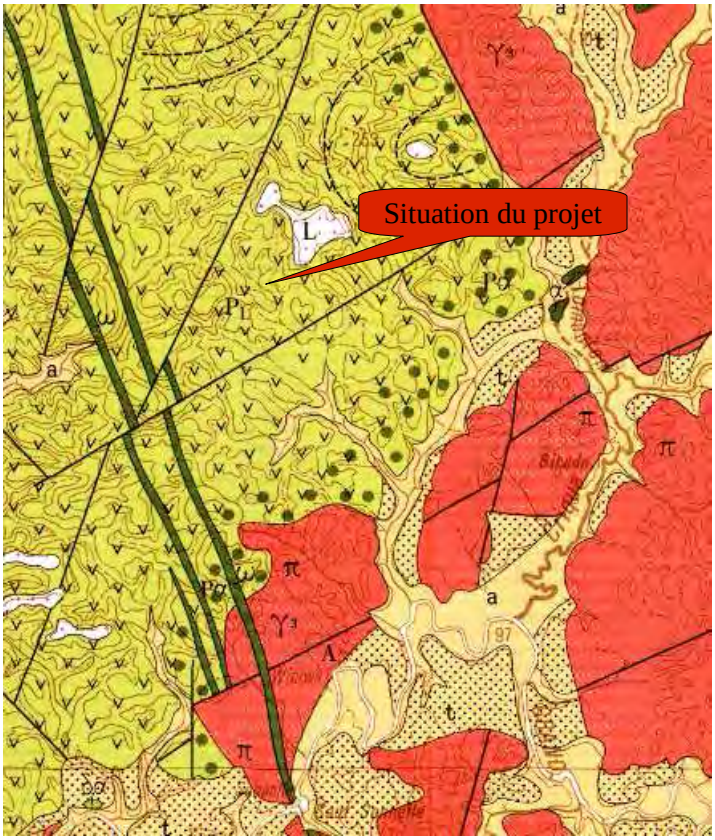
- une analyse géologique et géotechnique avec une synthèse des données dont nous disposons sur le secteur acquises de longue date à travers de nombreuses interventions sur les différents ouvrages du site minier (digues, fronts de taille, usine, etc..) ;
- une campagne de sondages au pénétromètre (notés SP) dynamique léger (mouton de 10 daN, voir principe en annexe) afin de reconnaître la nature et la distribution des matériaux du sous-sol au droit de la digue de reprise des eaux et d'approcher leurs principales caractéristiques mécaniques par la mesure de leur résistance dynamique de pointe (Rd) ; 1 sondage poussé au refus à -3,4 ml a ainsi été exécuté le 18/04/2014 ;
- une campagne de 9 sondages à la pelle mécanique (notés SPM) en date du 17/04/2014 afin de réaliser une reconnaissance directe des matériaux du sous-sol (nature, comportement, venue d'eau, ..) et d'en prélever des échantillons ;
- des essais dans nos laboratoires sur les échantillons de rejets sableux et sur des échantillons prélevés à la pelle mécanique en vue d'un possible emprunt pour la construction des digues, avec :
  - deux identifications au sens du GTR (Guide des Terrassements Routiers) (analyse granulométrique, valeur de bleu, ..) ;
  - deux essais proctor, deux essais de perméabilité à l'oedomètre et deux essais de cisaillement rectilignes à la boite de Casagrande sur des matériaux susceptibles de représenter le corps des digues ;
  - un essai de perméabilité au perméamètre, un essai au bleu de méthylène, un essai de cisaillement rectiligne à la boite de Casagrande sur des résidus sableux issus de l'usine de broyage actuelle, après un nouveau broyage à 100 µm de façon à s'approcher au maximum de la réalité du matériau qui sera mis en place dans les bassins ; ces essais ont été complétés par une analyse du comportement mécanique des sables en fonction de leur teneur en eau.
- des calculs informatiques de stabilité des ouvrages en remblai à l'aide du logiciel TALREN IV.

Les profondeurs mentionnées dans la présente étude sont à rapporter à la surface topographique telle qu'existante lors de notre intervention, dénommée T.A. (terrain actuel).

III. GÉOLOGIE DU SITE – RÉSULTATS DES SONDAGES

III.1. Cadre géologique général

D'après notre expérience du secteur, le sous-sol du site est occupé par un substratum rocheux appartenant aux séries volcano-sédimentaires du Paramaca composées ici de schistes plus ou moins talqueux mais aussi d'amphibolites, de tufs, de culées de laves, .. La minéralisation consiste en des imprégnations dans une intrusion complexe et fort étendue de microdiorites de développement variable mais aussi en des filons de quartz peu épais.
Les travaux en carrière permettent aujourd'hui d'intéressantes observations avec la présence locale de filons (Yaou Central) et la présence fréquente de schistes au toit des diorites minéralisées dont la schistosité épouse l'allure du contact schiste-diorites, cet aspect représentant un bon guide pour le suivi des travaux en carrière.



Extrait de la carte géologique au 1/100.000e, feuille

Ces matériaux se trouvent ici puissamment altérés en saprolites sur de fortes épaisseurs, parfois jusqu'à une cinquantaine de mètres selon leur

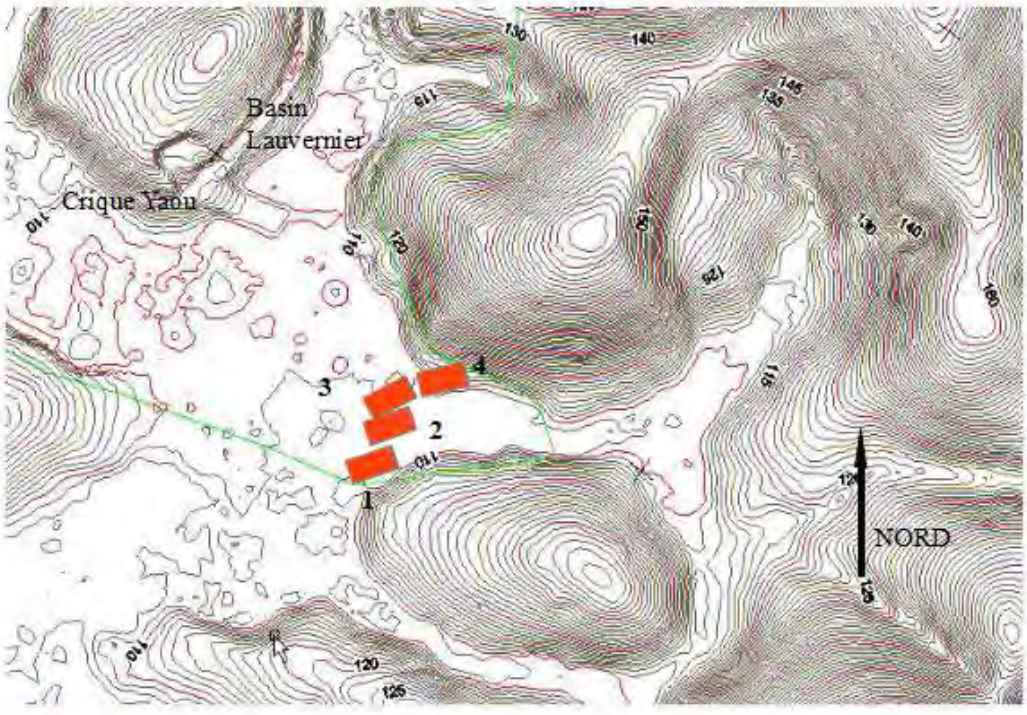
nature, et sont la plupart du temps masqués dans le secteur par des formations colluviales superficielles avec des faciès légèrement ferralitisés sur les versants et une carapace latéritique sur certains sommets les plus élevés du secteur (plateau de la base-vie etc..).
Les latérites et argiles latéritiques sont ainsi logiquement partout peu développées sur les versants mais présentes en tête de reliefs principalement en partie haute des fosses A, J et K avec une carapace massive mais disloquée en têtes de pente ; elles reposent la plupart du temps sur un horizon d'argiles graveleuses à nodules ferrugineux (argiles latéritiques) puis sur des matériaux raides de teinte brun-clair à rougeâtre plus ou moins colluvionnés et qui passent de façon insensible aux saprolites sous-jacentes.
Comme à l'habitude sur le plateau des Guyanes, l'hydrologie et la géomorphologie sont conditionnées par la tectonique et la structuration du réseau hydrographique correspond principalement au réseau de fractures ancien du socle Précambrien, qui détermine l'établissement de certains criquots sans bassin versant et qui ne sont pas directement d'origine hydraulique.

III.2. Analyse de détail - Résultats des sondages

(cf résultats détaillés des sondages en annexe)

Crique Matteo: (sondages SPM 1 à SPM4)

L'emplacement d'une possible digue a fait l'objet de 4 sondages à la pelle mécanique qui ont mis en évidence la présence d'une forte épaisseur de dépôts fins (jusqu'à 3m), composés de limons argileux ou sables argileux



Crique Matteo - Plan implantation des sondages

saturés en eau et de très mauvaise tenue gênant la poursuite des trous à la pelle en profondeur (SPM1, 2 et 3).Deux lavages d'échantillons de ces sables ont montré la présence d'un peu d'or fin.

Le substratum est représenté par des saprolites argileuses jaunâtres molles, moins profondes en pied de versant et masquées par des colluvions limoneuses rougeâtres et par des éboulis latéritiques (SPM4).
De petites venues d'eau ont été observées au toit des saprolites ainsi qu'à partir de la cote du fil d'eau de la crique mais l'essentiel des fortes venues d'eau provient d'une alimentation par percolation à partir des barranques voisines.

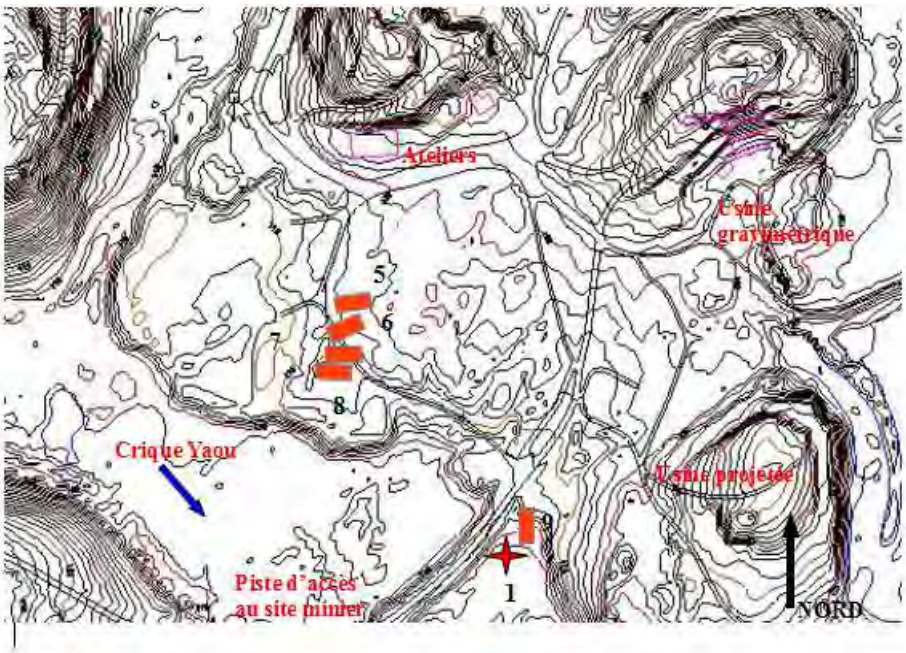
Sondage SPM1, avec alluvions saturées en eau.

Crique affluent rive droite crique Yaou :

En l'absence de possibilités d'accès (pentes raides, criques, canal, etc..), ce secteur n'a pas fait l'objet de sondage ; néanmoins, le flat, proche de la crique Yaou, est large et comporte certainement une forte épaisseur de matériaux médiocres (limons argileux, sables en eau, ..) semblables à ceux rencontrés dans la crique Matteo. Les flancs sont très raides et occupés par le substratum schisteux avec une altération peu poussée ; il s'y ajoute un bourrelet de colluvionnement peu large en pied de versants.

Projet de bassin principal en rive gauche de la crique Yaou

Ce secteur, localisé entre la rive gauche de la crique Yaou et la piste d'accès au site minier, comportera un large secteur amont dévolu à la création de bassins de stockage des résidus sableux et, en aval immédiat de la piste d'accès, un secteur peu étendu destiné à recevoir le bassin de stockage des eaux de drainage des résidus sableux pour reprise vers l'usine par pompage.



Bassin rive gauche crique Yaou - Plan d'implantation des sondages

Bassin de résidus (sondages SPM5 à SPM 8)
Ce secteur est situé entre la piste d'accès à l'usine et l'atelier à l'Est, la piste traversant la crique Yaou au Sud et le flat de la crique Yaou à l'Ouest.
Il s'agit d'un secteur peu accidenté dominant le flat d'environ 6 à 8 m et qui se trouve occupé par des remblais (verses à stériles) en partie Ouest déversés en bordure du flat.
Le substratum saprolitique est partout affleurant ou subaffleurant puis disparaît sous les verses à stériles vers l'Ouest ; les sondages réalisés avaient ainsi pour but de préciser l'extension de ces remblais et la profondeur du substratum saprolitique en bordure de la zone.

Les verses à stériles en bordure du site au droit de la crique Yaou.

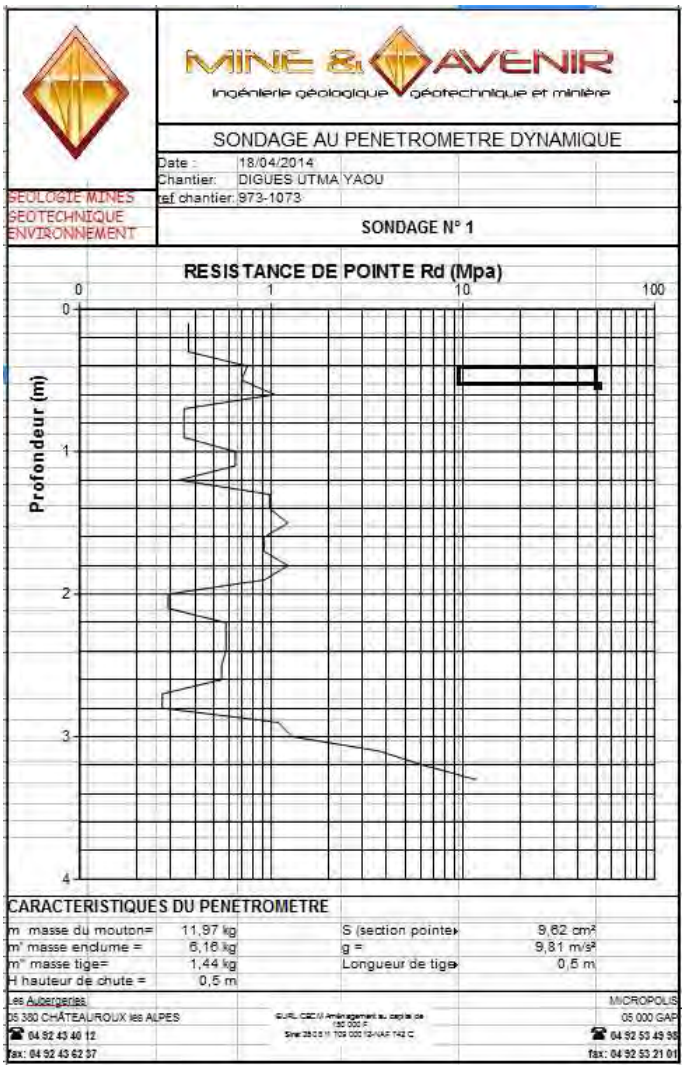
Les sondages SPM6 et 7 ont rencontré le substratum saprolitique dès la surface, puis en SPM8 se développent des remblais et une couverture de limons argileux rougeâtres épaisse de 2 m et le toit du substratum saprolitique plonge à partir de SPM9 où il n'a pas été rencontré à -3 m.

SPM8 | **SPM9 (en cours)**

SPM7

Bassin de retenue et de reprise des eaux (sondages SP1 et SPM 9)

Cet ouvrage sera situé en aval hydraulique du bassin examiné ci-dessus et sera limité au Nord par une ancienne digue occupée par la piste d'accès au site minier, à l'Est et au Sud par le versant naturel, et à l'Ouest par une digue à créer.
Le substratum saprolitique est subaffleurant à l'Est et au Sud et fait place vers l'aval au droit de la digue à créer aux alluvions de la crique Yaou à dominante argilo-sableuses.
Il y a été réalisé un sondage pénétrométrique et un sondage à la pelle mécanique.
Dans le flat et au droit de la digue, il a été rencontre 3,2 m de matériaux très médiocres et compressibles (résistance dynamique de pointe Rd<1 MPa) remaniés par les travaux d'orpaillage, puis le substratum saprolitique résistant.


MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Date : 18/04/2014
Chantier: DIGUES UTMA YAOU
ref chantier: 973-1073

GEOLOGIE MINES
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

SONDAGE N° 1

RESISTANCE DE POINTE Rd (Mpa)

0 1 10 100

Profondeur (m)

0 1 2 3 4

CARACTERISTIQUES DU PENETROMETRE

m masse du mouton=	11,97 kg	S (section pointe)	9,62 cm²
m' masse enclume =	6,16 kg	g =	9,81 m/s²
m'' masse tige=	1,44 kg	Longueur de tige	0,5 m
H hauteur de chute =	0,5 m		

Les Aubergeries
05 380 CHÂTEAUROUX les ALPES
☎ 04 92 43 40 12
fax: 04 92 43 62 37

MICROPOLIS
05 000 GAP
☎ 04 92 53 49 50
fax: 04 92 53 21 01

IV. HYDROGÉOLOGIE DU SITE

Les colluvions limoneuses comme les saprolites sous-jacentes sont des matériaux peu à très peu perméables (cf. § Essais en laboratoire) et ainsi tous points bas creusés dans ces matériaux seront de nature à favoriser les stagnations et à maintenir l'humidité.
Ainsi d'une façon générale le drainage naturel des sites étudiés est quasi-exclusivement assuré par ruissellement superficiel à la faveur des pentes topographiques.
Des horizons aquifères existent cependant certainement plus en profondeur sous la couverture altérée de saprolites dans les massifs rocheux sains, en général à profondeurs de l'ordre plus de 40m sous la surface topographique ; toutefois, de telles venues d'eau, très mal connues en Guyane où les besoins ne se sont quasiment jamais orientés vers les ressources profondes, ne sont que rarement observables dans les différentes fosses d'extraction du site minier dont nous avons pu observer le développement depuis plusieurs années. C'est en fond de la fosse A qu'ont été rencontrées de telles venues d'eau, qui alimentent encore le bassin qui s'y est installé spontanément et dont les écoulements rejoignent la crique Yaou ; des venues d'eau plus limitées de ce type ont également été rencontrées en bordure de la crique Yaou au droit de la fosse BW, tout ces travaux se trouvant situés au voisinage du niveau de base hydrostatique.

Aucune venue d'eau ou zone humide n'a été rencontrée en surface et les sondages réalisés sur les versants sont tous demeurés secs ; cependant les sondages réalisés dans les flats ont ainsi tous rencontré rapidement des venues d'eau, parfois importantes dans les sondages réalisés en fond de crique, au droit de la crique Matteo et du bassin de reprise des eaux de drainage. Il s'agit alors de venues d'eau de la nappe d'accompagnement la crique et saturant les matériaux accumulés en fond de talweg (sables, ..) et seules les alluvions lavées et remaniées par l'orpaillage présente en fonds de criques, peu épaisses, sont plus perméables et abritent de petites nappes aquifères d'accompagnement des cours d'eau, en particulier ici la crique Yaou.

Par ailleurs, les carapaces latéritiques superficielles de nature graveleuse sont suffisamment développées pour abriter de véritables petits aquifères de faible capacité mais se trouvent ici limitées aux têtes de reliefs ; la carapace de la montagne Yaou donne sans doute naissance à de petites sources sur ses bordures ainsi que celles qui dominent le secteur des fosses I Nord, J et K Sud, mais ces écoulements ne concernent pas le secteur étudié.

V.ESSAIS EN LABORATOIRE

Les différents essais réalisés dans nos laboratoires avaient pour objectif d'une part de caractériser les matériaux constitutifs des digues avec leur aptitude au compactage et leur résistance au cisaillement une fois compactés, et d'autre part de préciser les caractéristiques mécaniques des matériaux à soutenir, notamment en termes de poussée.
Enfin des essais ont également été réalisés afin de préciser la perméabilité des matériaux naturellement présents en fond des bassins.
On se reportera aux P.V. d'essais en annexe pour les résultats détaillés de ces essais.

V.1. Matériaux des digues :

Les échantillons ont été prélevés au droit de la future usine de cyanuration, au droit du sondage SPM1 (cf rapport d'étude RP-973/1077/02) ; il s'agit de colluvions superficielles et de saprolites marron peu ferralitisées qui représentent habituellement un bon matériau de remblais, et des saprolites rosées sous-jacentes.

V.1.1. Colluvions et saprolites ferralitisées marron :

**** Identification GTR*** **:**

classe GTR **A1m**

- teneur en eau naturelle pour la fraction 0/20 W = 28 %
- valeur au bleu du sol : VBS = 0,78
- passant à 80 µm : 94,3 %
- passant à 50 mm sur échantillon : 100 %
- Diamètre maximum : D_{max} = 10 mm

**** Essai de cisaillement direct drainé sur échantillon remanié*** **:**

- fraction utilisée pour l'essai : 0/8 mm remanié recompacté
- % de la fraction utilisée : 100 % du prélèvement
- angle de frottement interne drainé : φ' = 25,8°
- cohésion drainée : c' = 13,5 kPa
- densité sèche : d=1,76 pour l'échantillon saturé, d=1,36 pour l'échantillon sec non consolidé et d=1,41 pour l'échantillon sec consolidé.

**** Essai Proctor :***

- teneur en eau optimale wopt = 30,4%
- densité optimale dopt = 1,43 t/m^3

****Essai de perméabilité à l'oedomètre***

k= 6,3 10^{-8} $m.s^{-1}$

V.1.2. Saprolites rosées

**** Identification GTR* :** classe GTR **A1 m**

- teneur en eau naturelle W = 31,1 % pour la fraction 0/20
- valeur au bleu du sol : VBS = 0,77
- passant à 80 µm : 80,4 %
- passant à 50 mm sur échantillon : 100 %
- Diamètre maximum : D_{max} = 31,5 mm sur prélèvement,

**** Essai de cisaillement direct drainé sur échantillon remanié* :**

- fraction utilisée pour l'essai : 0/8 mm remanié recompacté
- % de la fraction utilisée : 58 % du prélèvement
- angle de frottement interne drainé : φ' = 28,9°
- cohésion drainée : c' = 12,9 kPa
- densité sèche : d=1,87 pour l'échantillon saturé, d=1,42 pour l'échantillon sec non consolidé et d=1,45 pour l'échantillon sec consolidé.

**** Essai Proctor***

- indice portant immédiat : *IPI = 0,6*
- teneur en eau optimale wopt = 31,2%, soit **wopt = 29,3%** après correction
- densité optimale dopt = 1,46t/m^3 , soit **dopt = 1,5** après correction.

****Essai de perméabilité à l'oedométre***

k= 7,9 10^{-8}m.s^{-1}

V.2. Résidus ultimes à soutenir :

Les essais ont été conduits sur des résidus sableux issus de l'usine de broyage actuelle, après un nouveau broyage à 100 µm de façon à s'approcher au maximum de la réalité du matériau qui sera mis en place dans les bassins ; il s'agit toutefois ici de matériaux qui n'ont pas été centrifugés et comportent ainsi une fraction fine plus développée que celle des résidus qui seront issus de l'usine projetée, cet aspect conduisant à pessimiser un peu les résultats qui apparaissent donc ici sécuritaires.

**** Essai au bleu de méthylène***

Il s'agissait à travers ces essais de préciser la teneur en éléments fins du matériau et leur sensibilité à l'eau.

classe GTR : **A1m**

- valeur au bleu du sol : VBS = 0,4

**** Essai de cisaillement direct drainé sur échantillon remanié* :**

- fraction utilisée pour l'essai :100 µm (100% de l'échantillon)
- angle de frottement interne drainé (échantillon saturé) :
  - φ' = 32,2°
  - cohésion drainée : c' = 9 kPa
- densité sèche : d=1,89 pour l'échantillon saturé, d=1,49 pour l'échantillon sec non consolidé et d=1,55 pour l'échantillon sec consolidé.

La saturation en eau a été obtenue avec w= 28%.

****Essai de perméabilité au perméamètre à charge constante*** *(moule Proctor modifié)*

k= 4,7 10^{-8}m.s^{-1} soit environ 1,7 mm/h.

****Essai de perméabilité à l'oedomètre***

k= 1,2 10^{-8}m.s^{-1}

****Essai de comportement***

Il s'agissait d'apprécier de façon semi-empirique les variations du comportement mécanique du matériau en fonction de sa plus ou mois grande teneur en eau.

Une éprouvette de sable de 200g a été portée à des teneurs en eau croissantes et a été soumise à chaque fois à un essai de compression simple et à un essai au scissométre.

Teneur en eau	0,00%	9,00%	13,00%	16,00%
Rc (MPa)	0,05	0,1	0,1	# 0
Cu (kPa)	10	20	15	# 0

On observe très clairement une perte des caractéristiques mécaniques pour une teneur en eau supérieure à 13% ; en deçà, pour des teneurs en eau très faible le matériau est pulvérulent et de peu de consistance, et au-delà il prend un comportement quasiment liquide.

Le comportement est très peu plastique.

Pour mémoire, la teneur en eau de ces sables en sortie d'usine est prévue pour être très faible avec un comportement non liquide et l'on peut attendre ici un compactage spontané lors de leur déversement.

Le matériau est apparu sensiblement plus riche en éléments fins que les résidus sableux de même type que nous avons étudiés par ailleurs et notamment sur le site de Dieu Merci, mais rappelons que les résidus de l'usine seront cyclonés et donc moins riche en fines que les échantillons soumis ici aux essais ; il apparaît ainsi logiquement moins perméable que la réalité prévisible avec un ressuyage plus lent et il est également plus sensible à l'eau.

VI. GÉOTECHNIQUE

VI.1. Stabilité naturelle actuelle du site

Le terrain étudié n'est pas le siège de désordres géotechniques graves ou actifs, de type mouvements de terrain ou autres, et sa stabilité naturelle apparaît convenable avec dans l'ensemble des matériaux résistants partout à faible profondeur sauf au droit des fonds de talweg où se rencontrent des accumulations de matériaux médiocres.
En particulier, les sites étudiés ne sont pas le siège de grands mouvements tels ceux qui ont été observés en différents points du site minier, et notamment dans le secteur de la fosse J et de la fosse B.
Seule la partie amont de la crique Matteo comporte sur sa rive droite une large loupe de glissement à présent calée en pied de versant et peu active ; des venues d'eau jalonnent la surface de rupture en pied de colline.

On peut donc envisager ici la réalisation du projet sous réserve d'en réaliser une parfaite adaptation à la nature du sous-sol.

VI.2. Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques projetés

Nous examinons ci-après les adaptions de détail locales de chaque ouvrage ainsi que leur prédimensionnement avec les règles de construction. Toutefois, l'expérience de ce type d'ouvrage, acquise à présent à travers plusieurs dizaines d'intervention en Guyane française, montre que leur sinistralité résulte de défauts d'exécution et exceptionnellement d'erreurs de dimensionnement, celui-ci comportant manifestement des coefficients de sécurité importants dans les règles de conception ; il faut ainsi conseiller la plus grande attention lors de la construction des digues avec un suivi permanent et rigoureux de leur édification (cf ci-dessous).

VI.2.1. Considération générales sur le projet - Examen de détail de chacun des ouvrages

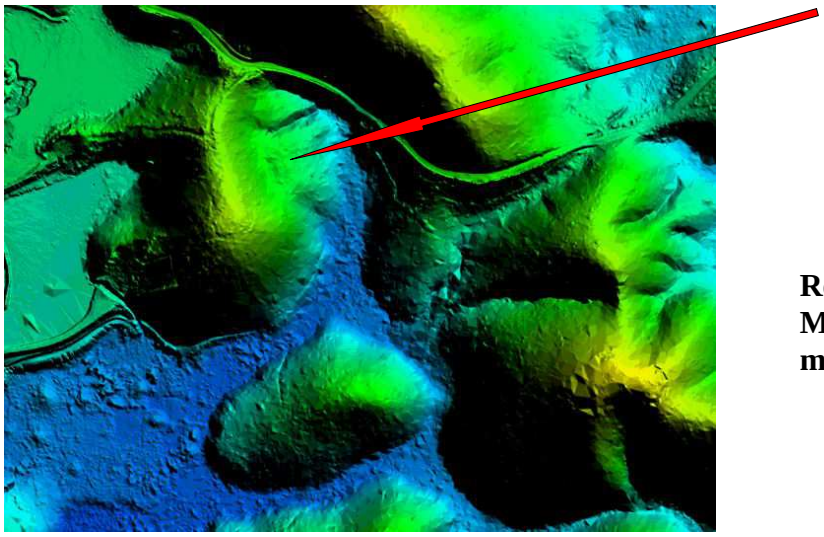
Les principales difficultés d'exécution vont résulter ici des purges sous fondation pour les projets situés dans les flats ainsi que dans les difficultés d'y réaliser un drainage gravitaire en raison de la quasi-absence de pentes longitudinales sur ces sites.

Crique affluente en rive droite de la crique Yaou

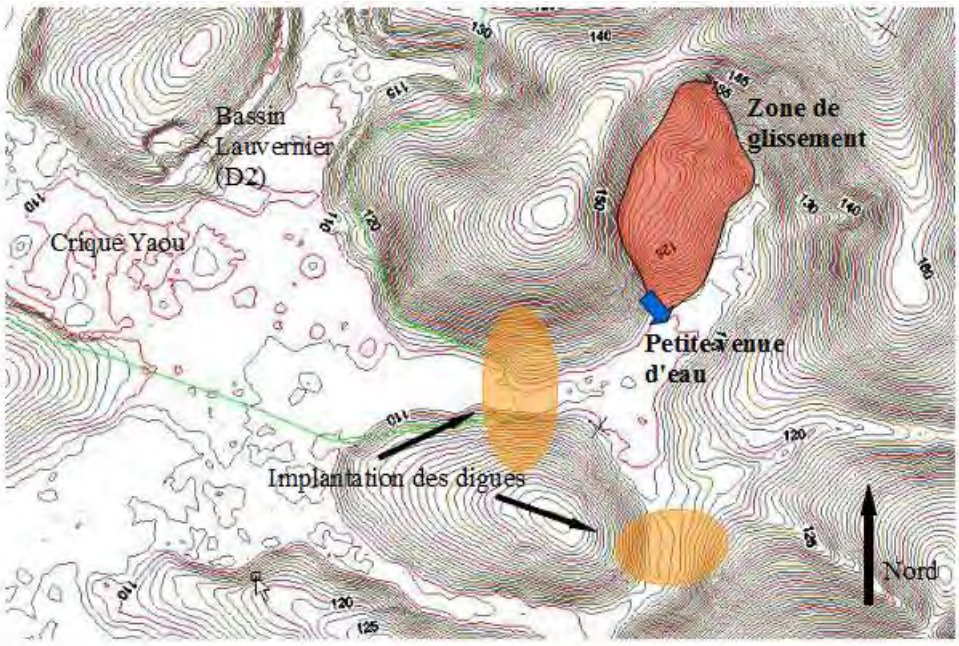
Le site comporte certainement ici une forte épaisseur de matériaux médiocres et rapidement saturés en eau qu'il conviendra de purger pour y fonder une digue ; de plus, le site étant quasiment plat, il ne permet pas la création d'un drainage gravitaire vers un bassin d'eau en aval.
Nous conseillons ainsi d'abandonner ce site, qui pourra toutefois être réexaminé si nécessaire dans l'avenir mais qui présente a priori pour le moment un contexte trop peu adapté au projet.

Crique Matteo

Les sondages réalisés ont montré la présence de fortes épaisseurs de matériaux médiocres et saturés en eau (jusqu'à -3 m de profondeur) au droit de l'emprise de la digue projetée qu'il conviendrait de purger pour y fonder un ouvrage ; de plus, le site étant quasiment plat, il ne permet pas la création d'un drainage gravitaire vers un bassin d'eau en aval.
Nous conseillons ainsi d'abandonner ce site tout au moins pour l'implantation actuelle du projet ; toutefois, le site de la crique Matteo pourrait recevoir un bassin de ce type plus en amont que la digue projetée initialement, dans un secteur plus étroit permettant la construction d'un ouvrage moins long avec une purge moindre sous fondation.
De plus, il sera alors nécessaire de créer une seconde digue de moindre importance afin d'éviter le déversement de matériaux vers le Sud où existe un collet tectonique avec un criquot appartenant à un bassin versant distinct.
Par ailleurs, le versant en rive droite de la crique est affecté par un large mouvement de terrain qui se trouve aujourd'hui calé en fond de crique et se traduit bien dans la topographie. Cet aspect ne se trouve pas de nature à modifier le projet dans la mesure où l'implantation de la digue devra se localiser de toutes façons aval de cette loupe, et que le remblaiement prévu par les résidus conduira à mettre en place une buttée plus ou moins drainante de la masse glissée.



Relief du site de la crique Matteo et localisation de la masse glissée.



Crique Matteo : zone de glissement de terrain, et implantation conseillée pour des digues de retenue des résidus sableux.

Le bassin de résidus principal en rive gauche de la crique Yaou

Éléments généraux

Ce site est apparu occupé par des remblais poussés dans le flat de la crique Yaou puis par le substratum saprolitique présent rapidement vers le Nord au delà du flat.

Nous conseillons ici de réaliser des bassins de stockage des résidus encastrés dans le terrain naturel et qui seront divisés en casiers successifs au fur et à mesure des besoins. Cette solution permet ici de ne quasiment pas réaliser de construction de digues en profitant des bordures du bassin creusé en déblai et de réaliser des digues internes au bassin pour sa division en casiers successifs, qui seront ici des digues perméables de façon à permettre le bon drainage et le bon ressuyage des matériaux contenus.

La mise en place et le remplissage de ces casiers débutera par l'amont hydraulique du site et se poursuivra vers l'aval, de façon à conserver en permanence un parfait drainage gravitaire dirigé vers le bassin de collecte en aval.

De plus, cette situation permettra d'obtenir une bonne étanchéité naturelle du fond du bassin et on peut considérer ici que l'ensemble des termes saprolitiques en place dans l'emprise des bassins représente un écran naturellement étanche. Nous conseillons toutefois ici de cylindrer énergiquement au compacteur l'ensemble des fonds de forme des différents bassins ; pour mémoire, les perméabilités mesurées sur les matériaux superficiels remaniés puis compactés sont les suivantes :

- colluvions et saprolites ferralitisées : $k= 6,3\ 10^{-8} m.s^{-1}$
- saprolites : $k= 7,9\ 10^{-8} m.s^{-1}$

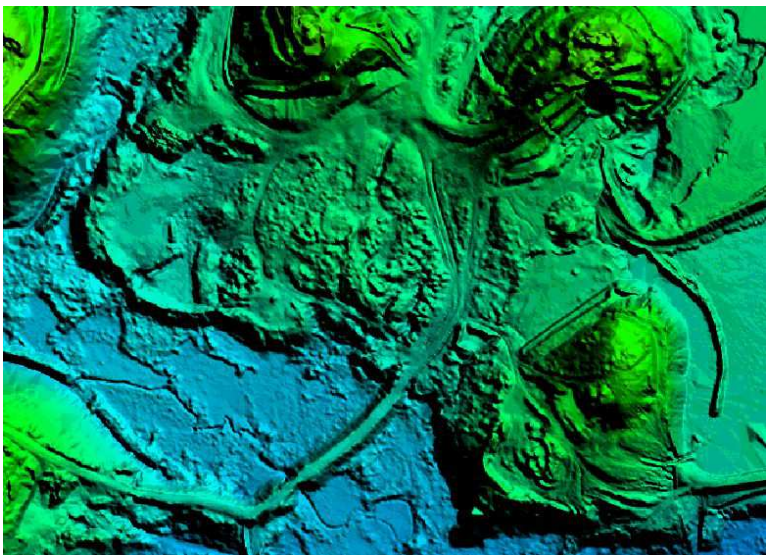
Ces valeurs devraient ainsi pouvoir être améliorées pour des matériaux saprolitiques en place compactés.

En fonction de l'implantation retenue, soit l'ensemble du bassin sera terrassé dans les saprolites et comportera une bonne étanchéité naturelle sans nécessité de renforcement, soit il concernera les verses à stériles sur ses bordures Ouest et peut-être Sud, et il conviendra dés lors de mettre en place une digue à rôle non pas de soutènement (car la large banquette de stériles jouera convenablement ce rôle) mais à rôle d'étanchéité.

Enfin, il conviendra à l'issue du bassin de rétention des résidus de créer **un véritable bassin étanche** à rôle de collecte et de rétention des eaux issues du drainage des résidus avant leur repompage vers l'usine. Cet ouvrage nécessitera la construction d'une digue étanche et pourra se localiser en bordure du flat de la crique Yaou, immédiatement en aval de la piste d'accès. La cote du fil d'eau de ce bassin étanche conditionnera la cote du fond des casiers en amont.

Une fois les différents casiers constitués et remplis, il sera possible d'examiner la possibilité de poursuivre une exploitation « hors-sol » du bassin, toujours avec la mise en place de casiers sans nécessairement créer des digues de rétention mais en mettant en place sur les talus un épais masque en matériaux graveleux permettant d'assurer leur stabilité.

Un merlon périphérique de maîtrise des eaux de ruissellement sera installé autour de chaque casier afin que les eaux de surface ayant transité par les résidus se trouvent confinées dans le bassin et rejoignent le bassin de rétention des eaux à son extrémité aval.

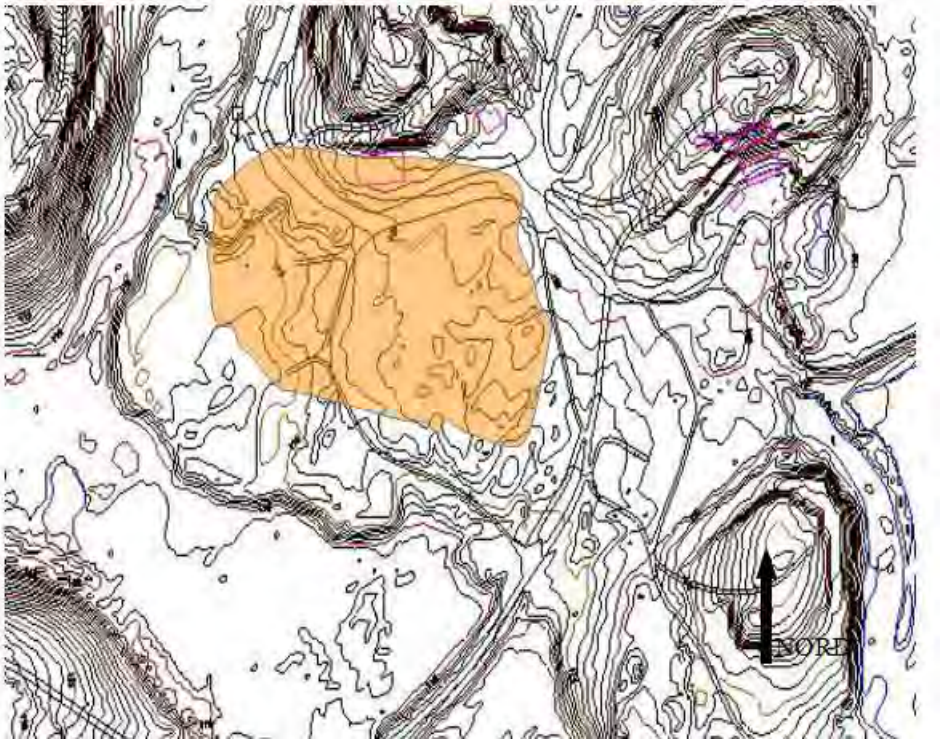


Relief de l'ensemble du site du bassin de résidus principal.

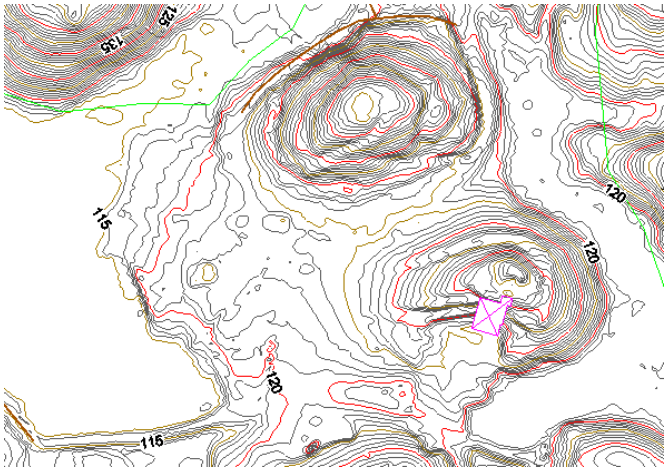
Le bassin de rétention des résidus principal en rive gauche de la crique Yaou

Implantation :

On évitera autant que possible la zone de remblais dans le flat (l'extension des verses à stériles apparaît clairement par comparaison avec le plan topographique de 2007), et ceux-ci pourront rester en place en bordure du bassin dont l'emprise n'ira ainsi pas au delà du sondage SPM8 ; l'implantation sera ainsi réalisée le plus « en amont »possible (Est, Nord-Est et Sud). Une implantation plus vers la crique Yaou, au droit de zones remblayées reste possible mais induira des contraintes supplémentaires avec la construction d'une digue latérale étanche.
On respectera un recul d'au moins 15 m d'avec la piste d'accès en partie Sud ainsi qu'avec le talus de remblais qui domine la crique en partie Nord.
Cette implantation pourra être affinée dans l'avenir en fonction des souhaits du maître d'ouvrage et l'implantation proposée ci-dessous peut sans contrainte se trouver étendue vers l'Est et le Sud-Est.



Zone d'implantation conseillée



Topographie du site en 2007 avant la mise en place des verses à stériles.

Étanchéité :

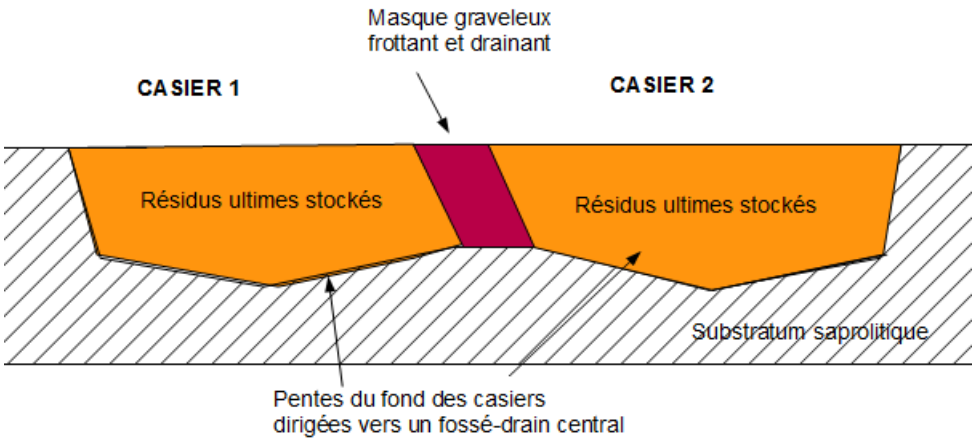
L'étanchéité du basin sera assurée partout en fond par les saprolites du terrain naturel après cylindrage énergique ainsi que par les talus latéraux terrassés dans les saprolites. Le fond de forme ne comportera aucun point bas non drainé.

Si les verses à stériles se trouvent dans l'emprise du bassin en parties Ouest et Sud et constituent ainsi tout ou partie de la bordure d'un des casiers, il conviendra alors de restaurer l'étanchéité du site par la construction de digues en matériaux argileux compactés (cf ci-dessous).

Gestion de l'ouvrage : phasage

Le bassin pourra être terrassé par phases successives en fonction de la création des différents casiers mais avec pour constante de permettre en permanence un drainage gravitaire des eaux vers l'aval. Il conviendra donc de débuter sa construction par l'amont (coté Nord) et de le poursuivre avec la construction de casiers vers le Sud. Dès la mise en place du premier casier, un dispositif de drainage définitif sera réalisé en partie centrale de façon à acheminer les eaux vers le bassin de rétention en aval.

Un phasage débutant par l'amont permettra aussi d'éviter de recevoir dans le bassin de collecte des eaux en aval les eaux météoriques collectées par la partie aval du bassin non encore aménagée et d'éviter ainsi de le surcharger.



Coupe schématique de principe Est-Ouest du bassin avec deux casiers.

Le drainage

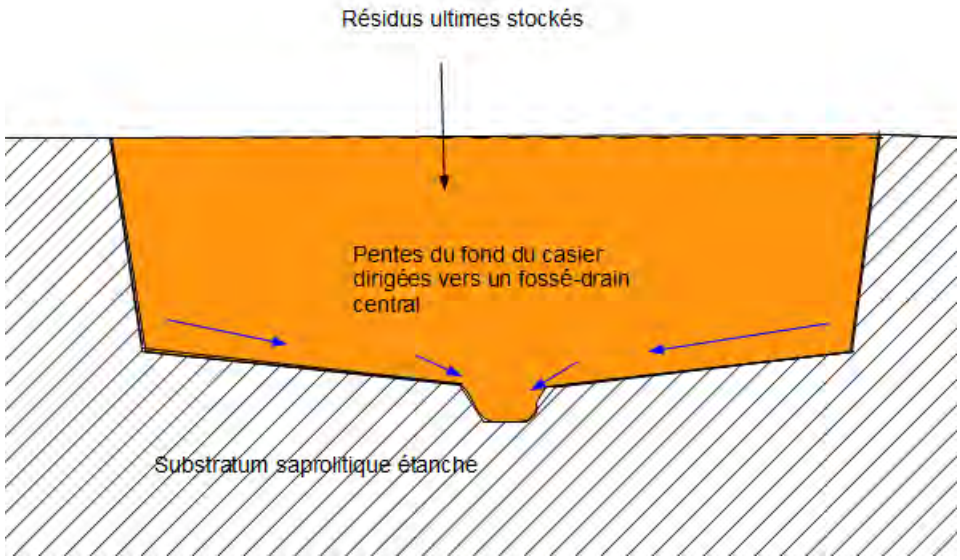
Le principe général du drainage du bassin sera de respecter en permanence des pentes (fond de casier, fossés, etc..) permettant en tous points l'écoulement des eaux vers le bassin de rétention et de repompage des eaux.

On créera d'abord un fossé de colature périphérique avant tous travaux de terrassements destiné à maîtriser les eaux issues des fonds en amont.

On mettra ensuite en place un drain central général, qui pourra consister en un simple fossé à comblement de matériaux graveleux perméables équipé d'une buse étanche et qui se déversera dans le bassin d'eau en aval ; les différents casiers recevront également ici un dispositif de drainage en sous-face des résidus, composé de simples fossés avec une allure rayonnante avec un fossé de collecte central qui viendra se greffer sur le drain principal du bassin.

Les drains seront mis en place dans des fossés creusés dans les saprolites et consisteront en un comblement de produits graveleux avec en point bas un tuyau - drain hémiperforé à fond plat Ø 200 mm au moins ; l'ensemble sera recouvert par un feutre anticontaminant de forte transmitivité.
On respectera toujours et en tous points des pentes de fond de casier dirigées vers le dispositif de drainage central rejoignant le bassin de rétention des eaux au point aval du dispositif.

Les secteurs non encore aménagés du bassin ne seront terrassés que lors de la création du casier et seront modelés en surface de façon à évacuer les eaux vers le flat de la crique Yaou et non vers le dispositif de drainage général
Les casiers une fois remplis devront recevoir une couverture en matériaux peu perméables (saprolites issues des terrassements du site) afin d'éviter l'infiltration des eaux météoriques en phase définitive.



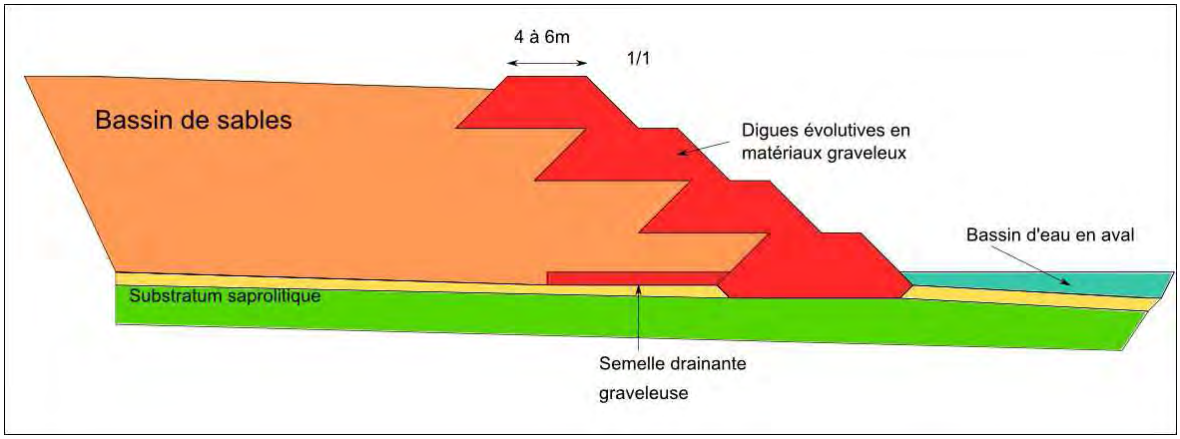
Digues perméables limitant les casiers

Il s'agira d'ouvrages perméables de retenue des sables dont le rôle de soutènement ne sera que provisoire, le temps que les sables du casier suivant en aval viennent apporter leur buttée. Ils pourront être réalisés avec les produits graveleux issus du marinage des fosses Central, CW et CL et on retiendra une épaisseur de 2 à 4 m avec une pente de talus extérieurs de 1/1.

Leur hauteur sera ici nécessairement limitée par la profondeur d'encastrement du bassin principal dans le terrain naturel et ne devrait ainsi pas excéder 6 à 7 m.

Leur principe est donné dans le schéma accompagnant le § « Gestion des casiers- phasage » ci-dessus.

Leur construction sera réalisée par phases successives en suivant les besoins avec création de digues décalées reposant sur les résidus selon le principe du schéma ci-dessous ou bien avec un masque graveleux venant recouvrir le talus selon le schéma de principe donné plus bas pour les bassins hors-sol.



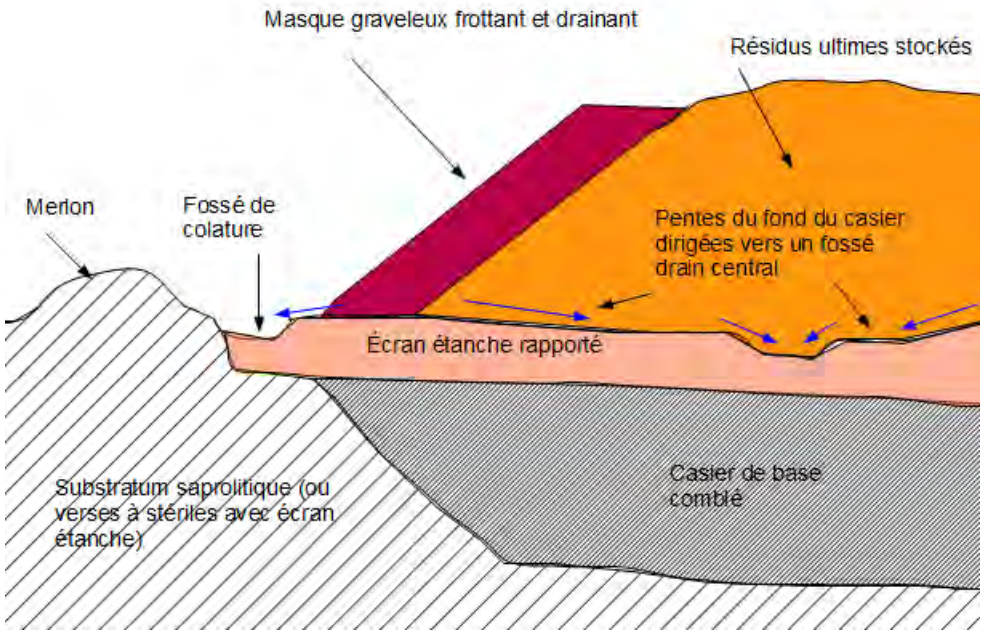
Principe de construction des digues perméables en matériaux graveleux (digues de création des casiers, extrémité aval du bassin)

Le schéma concernant les casiers hors-sol est donné au § ci-dessous.

Exploitation hors-sol du bassin

Les résidus sableux pourront être mis en place hors sol en surface des casiers une fois ceux-ci remplis ; ils recevront auparavant un horizon de saprolites compactées à rôle d'étanchéité relative, toute « fuite » de cet écran se trouvant de toutes façons collectée en profondeur par le fond du bassin.
Le dispositif de drainage général mis en place sur cet écran sera semblable à celui déjà créé en fond de casier avec toujours des pentes de fond de casier dirigées vers un dispositif de drainage central rejoignant le bassin de rétention des eaux au point aval du dispositif.

Un merlon périphérique de faible hauteur permettra de collecter les eaux et de les maintenir à l'intérieur du bassin.
Les résidus sableux qui seront mis en place hors sol devront recevoir une couverture de protection contre l'érosion, si possible graveleuse (saprock, etc..) afin d'éviter leur lessivage et le comblement des fossés de collecte des eaux de surface ; cette couverture graveleuse aura une épaisseur de 2 m au minimum.

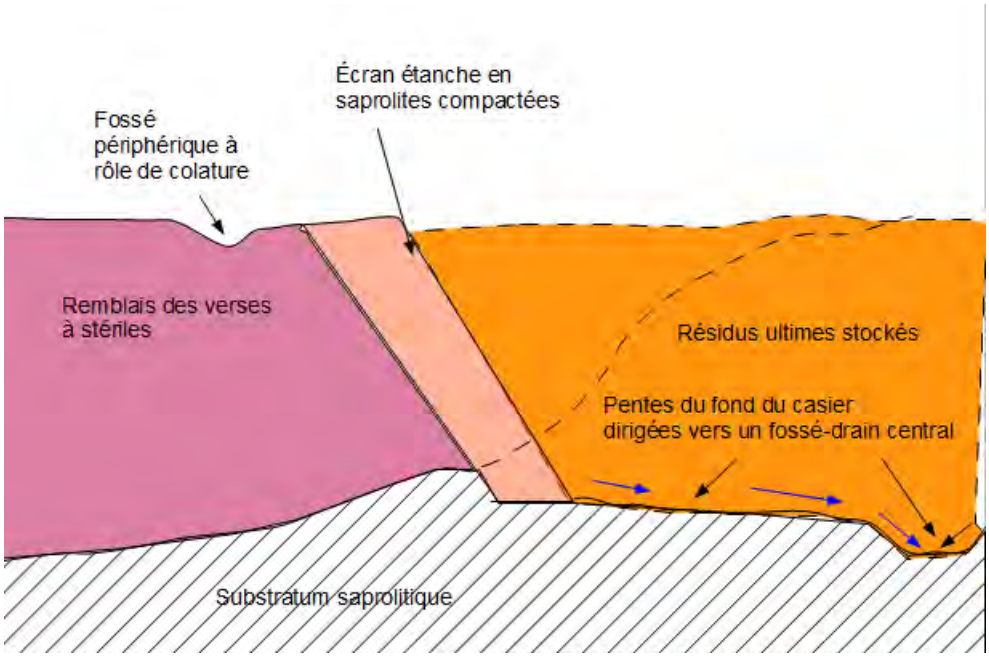


Pentes des talus
Dans les saprolites, les talus de déblais sont destinés à être buttés par les résidus sableux remblayés et correspondent donc à des talus provisoires pour lesquels on pourra retenir une pente de 5/1 (5 à la verticale).

Pour les résidus sableux et leurs masques drainants mis en place hors-sol, on pourra retenir des pentes de talus de 3/2 (3 à l'horizontale).

Digues à rôle d'étanchéité des casiers
Ces ouvrages seront réalisés chaque fois que les terrassements des casiers concerneront les verses à stériles sur leur coté, c'est à dire possiblement en parties Ouest et Sud du site ; il s'agira d'ouvrages en saprolites compactées larges de 3 m au moins mis en place coté extérieur du casier directement contre les talus terrassés dans les verses à stériles et coté intérieur avec une pente de talus importante, de l'ordre de 1/1, cette pente étant admissible en raison du caractère provisoire du rôle de soutènement.

Ils ne comporteront pas de semelle drainante mais une clé d'étanchéité d'au moins 1 m avec ancrage dans les saprolites.



<u>Le bassin étanche de rétention des eaux issues du drainage du bassin de résidus</u>

<u>Implantation :</u>
Il sera ainsi situé en points bas du bassin de rétention des sables afin d'en permettre le parfait drainage gravitaire ; les sondages ont montré que le flat nécessitait une purge importante (3 m) pour y fonder une digue et il conviendra de retenir une implantation au plus proche du versant, dans le « triangle » topographique dessiné par la digue de la piste et le versant, et ce autant que la topographie permettra un écoulement gravitaire des bassins de résidus vers ce bassin de retenue d'eau. On pourra notamment ici si nécessaire terrasser le versant saprolitique pour y encastrer autant que nécessaire le bassin.

Zone d'implantation conseillée

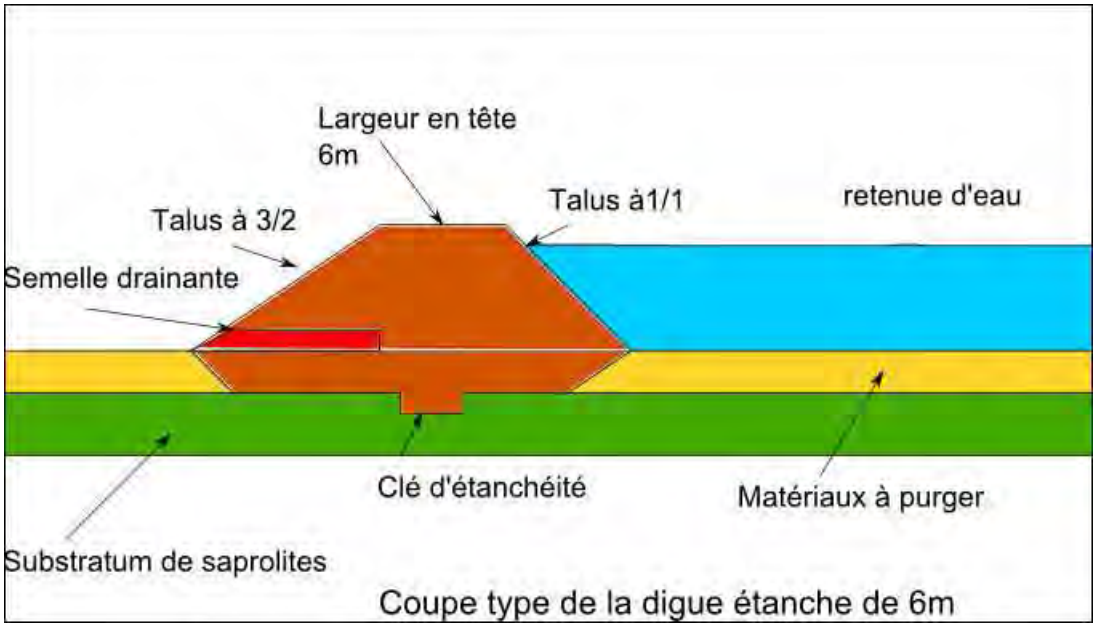
Étanchéité :
Son étanchéité sera assurée par le terrain naturel coté versant et sur son fond et par la digue à créer coté aval.
Le terrai naturel sera cylindré et compacté énergiquement après purge des végétaux (troncs en partie enterrés etc..) de façon à en parfaire l'imperméabilité.

Gestion de l'ouvrage - phasage
L'ouvrage sera réalisé en une seule étape et devra être dimensionné pour recevoir les eaux de l'ensemble du bassin.

Géométrie de la digue :

On retiendra ici a priori une hauteur de digue de 6m.

On respectera la géométrie désormais classique suivante pour la construction de ce ouvrage :



Principe de construction de la digue aval étanche

La hauteur de purge sous la digue sera sans doute de l'ordre de 1,5 à 2 m selon l'implantation retenue (3 m au droit des sondages) ; la construction du corps de digue pourra être effectuée avec des saprolites issues des terrassements généraux de l'usine ou bien des terrassements généraux du bassin en retenant les termes supérieurs ferralitisés marron et en

évitant de mettre en œuvre les termes saprolitiques rosés sous-jacents plus plastiques et plus délicats à compacter, avec des caractéristiques mécaniques plus médiocres.

VI.2.2. La construction des digues - Éléments généraux

Les ouvrages seront réalisés selon les règles habituelles de ce type d'ouvrage décrites dans notre rapport « Principes de conception, construction et gestion des digues de retenue d'eau et de résidus miniers » réf. RP-973/1002/02 du 28 janvier 2012.
Une des contraintes du site, habituelle en Guyane, réside dans le choix particulièrement étroit pour la disponibilité des matériaux qui entrent dans la construction des ouvrages, en particulier des matériaux graveleux et a fortiori des matériaux calibrés, avec l'absence de possibilité d'importer des matériaux de carrière sur le site.

Les disponibilités en matériaux - Aptitude à la mise en remblai

Seul un petit nombre de matériaux différents se trouve disponible sur le site avec :

- des **colluvions et saprolites superficielles** faiblement ferralitisées de classe GTR A1 et ces matériaux seront utilisés pour la construction des digues étanches ; elles forment une couche superficielle, de l'ordre de 2,5 m en moyenne (3 m au plus) sur le sommet des reliefs et sur la partie supérieure des pentes. Elles présentent des caractéristiques mécaniques intéressantes et sont **de bons matériaux de remblais** moins sensibles à l'eau que les saprolites rosées sous-jacentes, mais leur ferralitisation disparaît vers l'aval des reliefs.
Le volume de la ressource est donc limité et devra être géré avec attention. Nous proposons ici d'utiliser les produits issus du terrassement projeté pour l'usine en contrehaut du site ainsi que ceux issus de la tranche superficielle du bassin de résidus principal, a priori ici de fort volume mais il conviendra que la mise en remblai soit contemporaine de la construction de la digue afin d'éviter leur altération par les agents météoriques (pas de stock intermédiaire). Les matériaux issus des terrassements en masse du bassin pourront également être réutilisés avec de forts volumes disponibles ;
- des **saprolites argilo-sableuses**, présentes en forts volumes mais plus difficiles de mise en œuvre et plus sensibles à l'eau. Nous conseillons de **ne pas utiliser ces matériaux pour la construction des digues de retenue d'eau**, trop délicats à mettre en œuvre et de teneur en eau naturelle élevée malgré un prélèvement en place ; ils pourront être utilisés pour les **écrans étanches** latéraux ou en fond de casiers ;

- **des matériaux graveleux** qui sont ici disponibles de façon relativement aisée, et ce point est rare sur les sites miniers guyanais ; il s'agit pour essentiel de faciès saprock ou de roche peu altérée mais encore rippable issus des terrassements de la zone Central et des fosses CL et BW voisines ou peu éloignées du site des bassins projetés. Il seront utilisés pour la réalisation des ouvrages drainants (fossés-drains, semelles drainantes, etc ..) mais aussi pour les corps de digue perméables.
Les matériaux des verses à stériles présents en bordure de la crique Yaou pourront également être utilisées mis avec discernement en raison de leur hétérogénéité (déversements successifs possiblement d'origines différentes).

Les latérites et les **filons de quartz,** qui représentent souvent les seuls matériaux disponibles sur les sites miniers, sont ici rares ou absents.
Il s'y ajoute les **alluvions sablo-graveleuses** lavées et perméables des fonds de criques, matériaux disponibles sur le site minier et souvent ici à dominante sableuse, peu graveleuses et riches en fines.

L'aptitude à la mise en remblai de ces matériaux avec leurs conditions de mise en œuvre seront examinées plus loin.

Fondation de la digue étanche :

Cet aspect ne concernera ici a priori que la digue du bassin de rétention des eaux de faible hauteur et de faible longueur, mais qui nécessitera un soin particulier.

La fondation des digues est un point essentiel qui permet d'éviter les fuites sous l'ouvrage ainsi que sa déformation par tassement sous charge du sol ; son étanchéité naturelle se trouve ici acquise et il conviendra de procéder à **la purge intégrale** des sables et des termes médiocres accumulés en fond de crique afin de rencontrer partout le substratum saprolitique sous son emprise (profondeur 1,5 à 2 m selon implantation). Il s'y ajoutera la réalisation d'une **clé d'étanchéité** sous la digue sous forme d'une tranchée, réalisée en sous-face de la digue, ancrée dans le sol imperméable en place avec un comblement d'argile compactée (profondeur 1 m, largeur du compacteur).
Ces points nécessitent la réalisation d'un suivi ou d'un **contrôle géotechnique d'exécution** (mission G4) afin de s'assurer que ces points cruciaux se trouvent bien maîtrisés et de s'adapter aux variations locales dans la nature des matériaux du sous-sol.
Un défaut d'ancrage conduit fréquemment à l'apparition de fuites par contournement latéral au contact remblai-terrain naturel ou par circulations d'eau sous digue à travers le terrain naturel, toujours difficiles à traiter.
Pour les digues graveleuses, l'ancrage dans les saprolites ne sera pas nécessaire.

Ancrage latéral :

L'**ancrage latéral** sera réalisé dans les pieds de versant en purgeant ici aussi la couverture de colluvions pour s'ancrer dans les saprolites ; on veillera ainsi à respecter un ancrage latéral de 1,5 m dans les saprolites en place avec une tranchée de 1,5 m environ de largeur (ou de la largeur du compacteur) creusée dans le sol en place et qui recevra des matériaux argileux compactés afin d'éviter tout risque de fuite par contournement latéral.
Pour les digues graveleuses, l'ancrage latéral dans les saprolites ne sera pas nécessaire.

Semelle drainante :

La mise en place d'une semelle drainante en matériaux perméables en sous-face des remblais sera nécessaire ici à la fois pour maîtriser les fuites actuelles de l'ouvrage, pour garantir l'absence de saturation du corps de digue à construire et pour maintenir sèche et stable la partie aval du corps de digue assurant un rôle de massif poids, cet aspect étant déterminant pour le calcul de stabilité des ouvrages.
Épaisse de 1 m environ, elle sera mise en place sur toute la partie aval l'assise des digues étanche et ne doit pas dépasser la moitié aval de la digue.
La semelle drainante sera réalisée avec des matériaux drainants perméables graveleux, propres et frottants, ici les produits de marinage de type saprock présents avec une disponibilité suffisante sur le secteur.

La semelle drainante sera protégée du colmatage par un géotextile anticontaminant type feutre non tissé (éviter les bâches) posé à sa partie supérieure afin d'empêcher tout colmatage par le corps de remblai sus-jacent (bidim B32 ou équivalent).
On veillera ici à ce que les semelles drainantes demeurent en permanence hors d'eau de façon à ce qu'elles n'amènent pas des eaux sous le corps de digue ; elles devront ainsi être réalisées à une cote suffisamment élevée pour se trouver au-dessus de la cote de la crique.
Les semelles drainantes ne sont évidemment pas nécessaires pour les digues en remblais graveleux.

La digue en matériaux argileux (retenue des eaux) :

La construction du corps de digue sera conduite selon les procédures classiques pour un matériau de catégorie GTR A1.
Ce type de matériaux se trouve disponible sur le site et à son voisinage, en particulier à la faveur des terrassements à réaliser (usine, bassins, ...) ; on retiendra de préférence les saprolites et limons argileux superficiels ferralitisés (tranche du sol de 0 à 2 ou 3 m, de teinte plus marron) ; en

effet, au-delà, les matériaux saprolitiques de teinte plus rouge à rosée sont moins aisés à mettre en œuvre, plus sensibles à l'eau et de caractéristiques mécaniques plus médiocres et il faudrait alors rechercher des matériaux d'emprunt plus en profondeur dans des zones moins altérées.
Il s'agit de sols difficiles à mettre en œuvre pour des teneurs en eau élevées (faible portance, matelassage) ce qui conduira à éviter a priori la saison des pluies pour la construction de la digues, et ce en particulier pour les saprolites issues comme ici des formations, volcano-sédimentaires du Paramaca, à l'inverse de celles issues des formations granitiques.

L'emprunt sera évidement suffisamment éloigné du site de la digue pour ne pas interférer avec sa construction et suffisamment proche pour limiter les transports de matériaux ; on veillera de plus à éviter si possible de déboiser des surfaces supplémentaires. Il sera réalisé avec des fronts verticaux de façon à éviter l'imbibition du matériaux avec les pluies.
On retiendra ici la mise en place de couches peu épaisses (0,40 m au plus à la mise en œuvre) avec un compactage moyen à intense et au minimum 4 passes du compacteur (une passe = un aller-retour).

Dans tous les cas, la bordure des couches se trouve peu ou pas compactée et se trouve être par la suite le siège d'un fluage superficiel ; on s'attachera ainsi à la création d'une surlargeur dans la section de la digue qui sera ensuite purgée par peignage avec le godet d'une pelle jusqu'à la partie correctement compactée.
Nous conseillons ici de réaliser au démarrage du chantier une planche d'essai avec mesure des densités ou de la résistance du matériau en surface après passage du compacteur ; on réalisera également un suivi étroit de la teneur en eau des matériaux issus de l'emprunt.
On veillera à effecteur une fermeture du chantier à chaque interruption, avec passage du compacteur de façon à éviter toute imbibition des matériaux de la digue.

Les écrans étanches :
Ces ouvrages, qui interviendront en fond des casiers hors-sol ou en bordure latérale des casinotiers terrassés en déblai dans les verses à stériles seront mis en place selon la même procédure que matériaux des dises étanches. Les écrans latéraux recevront un ancrage en pied dans les saprolites.

Les digues en matériaux graveleux (retenue des sables) :

Il s'agira des ouvrages internes aux casiers qui seront des ouvrages évolutifs et perméables construits par étapes successives qui suivront le remplissage du casier par les résidus sableux ; chacune des étapes comportera un remblai de 4m de hauteur environ et sera installée pour la

moitié de son emprise sur les résidus sableux, qui subiront ainsi un fort tassement sous charge, a priori d'ampleur pluri-décimétrique ; ce tassement sera rapidement achevé et nécessitera alors une reprise du remblai avec rechargement de façon à restaurer l'horizontalité de la digue.

La construction du corps de digue sera conduite selon les procédures classiques pour un matériau de catégorie GTR C1 à C2 a priori dans un état hydrique « m » ; il ne présentera toutefois pas une granulométrie étalée et sera très hétérogène, ce qui favorisera sa perméabilité et son caractère drainant.

On retiendra ici la mise en place de couches peu épaisses (0,40 m au plus à la mise en œuvre) avec un compactage modéré afin de ne pas diminuer la perméabilité du matériau ; nous conseillons de réaliser une planche d'essai préalable pour définir le compactage en veillant à éviter un surcompactage (minimum 2 ou 3 passes du compacteur, une passe = un aller-retour).
Le matériau est peu sensible à l'eau et on veillera à ne pas l'écrêter de ses gros blocs ; on évitera toutefois une mise en œuvre lors de pluies intenses ou répétées, et en veillant à retenir un front d'emprunt vertical.

Enfin, il conviendra d'installer **une semelle graveleuse** non compactée (longueur 20 m, largeur 10 m, épaisseur 1m) en amont des digues graveleuses à rôle de drainage en sous face des sables du bassin.
Une nappe de feutre anticontaminant permettra d'éviter sa pollution par les sables.
Par ailleurs, on veillera à déverser les résidus depuis la partie amont du bassin, distale par rapport à la digue, de façon à permettre un bon ressuyage des résidus et un ruissellement des eaux météoriques à leur surface.

Les évacuateurs de crue

Cet ouvrage ne concernera ici que le bassin de rétention et de repompage des eaux ; indispensable à tous les bassins de retenue, il se trouve destiné à permettre de gérer un événement pluvieux exceptionnel avec le passage d'une lame d'eau non habituelle.
L'évacuateur doit nécessairement être creusé dans le terrain naturel et comporter un **ouvrage de dissipation d'énergie** en aval en pied de digue pour éviter toute érosion du terrain ou du corps de digue : blocs rocheux, troncs d'arbres, poursuite du chenal suffisante pour éviter toute interaction avec la digue, etc..

Un tel évacuateur sera donc ici implanté en rive gauche du bassin de reprise des eaux drainées, c'est à dire de son coté Sud.

Maîtrise des eaux météoriques

La forte sensibilité à l'érosion des matériaux de remblais argileux et l'intensité des épisodes pluvieux conduisent à retenir les principes généraux suivants :

- **éviter de concentrer les eaux** en un point et au contraire disperser les eaux au maximum sur les surfaces de talus, sauf à assurer leur maîtrise parfaite avec un réseau d'évacuation, ce qui est rarement le cas dans ce contexte ;

- donner des **pentes déversantes homogènes** aux surfaces de collecte (sommet des digues) de façon à éviter de concentrer les écoulements pluviaux et conduire à la création de micro-canyons d'érosion ;

- **éviter la création de touts points bas** non drainés en tête de digue ou sur les redans ainsi que de bourrelets faisant obstacle au ruissellement ou bien alors ceux-ci (merlons de sécurité en bordure de voie, etc..) devront comporter des brèches régulières ;
- donner des pentes élevées aux talus de remblais et de déblais, de l'ordre de 1/1 au moins, afin d'en réduire la sensibilité à l'érosion par le ruissellement ; ce talus raide viendra alors en surépaisseur du corps de digue par rapport à la géométrie calculée ;

- on donne habituellement aux sommets de digues des **pentes déversantes** vers le talus de moindre hauteur, c'est à dire en général vers l'intérieur du bassin, car il s'agira également des talus les moins sensibles à l'érosion ; toutefois, nous conseillons ici, vu la nécessité d'éviter de concentrer des eaux dans les bassins, de déverser ces eaux vers l'extérieur, cette situation étant rendue possible par les faibles hauteurs de digues en matériaux argileux.
  Pour les digues en matériaux graveleux, cette question ne se posera pas, car il se trouvent à l'intérieur du bassin et seront de toutes façons peu érodables ;

- créer des dispositifs simples pour faciliter la **végétalisation** sur les talus définitifs des digues pour faire face aux problèmes d'érosion ;

- les zones soumises à l'érosion pluviale pourront également recevoir un **masque superficiel en matériaux graveleux** ; la mise en place d'une couverture graveleuse, latérites, saprock ou alluvions lavées des criques, sera bienvenue et facilitera de plus la végétalisation spontanée des talus et sommets de digues ;

– la création d'un **fossé de colature** de chaque coté de la digue permettra d'éviter aux eaux de ruissellement des berges ou de la voie d'accès de se déverser sur la digue et ses talus, cet aspect se trouvant a priori ici géré par les fossés de colature périphériques aux bassins ; une surélévation de la crête de digue par rapport aux fonds voisins de part et d'autre jouera également ce rôle.

VI.3. Géométrie des digues - Calculs de stabilité

VI.3.1. Hypothèses retenues

Ces calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel TALREN IV selon la géométrie de principe décrite ci-dessus et sont destinés ici à vérifier la stabilité de l'ouvrage ainsi défini a priori à partir des règles de dimensionnement empiriques classiques.
Il a été considéré que les ouvrages aurait une durée de fonctionnement active limitée (10 ans au plus) et le calcul a été réalisé avec des coefficients de sécurité classiques (objectif coefficient de sécurité F>=1,5).

Les caractéristiques des sols sont issues des essais en laboratoire et il a été retenu φ'= 45° et C=0 pour les matériaux graveleux compactés (saprock, etc..) et un sol infiniment résistant pour le substratum saprolitique.

VI.3.2. Digues étanches en matériaux argileux :

Cet aspect ne concernera que l'ouvrage de rétention et de reprise des eaux en partie aval du site et nous avons ainsi retenu comme principes de réalisation de l'ouvrage :

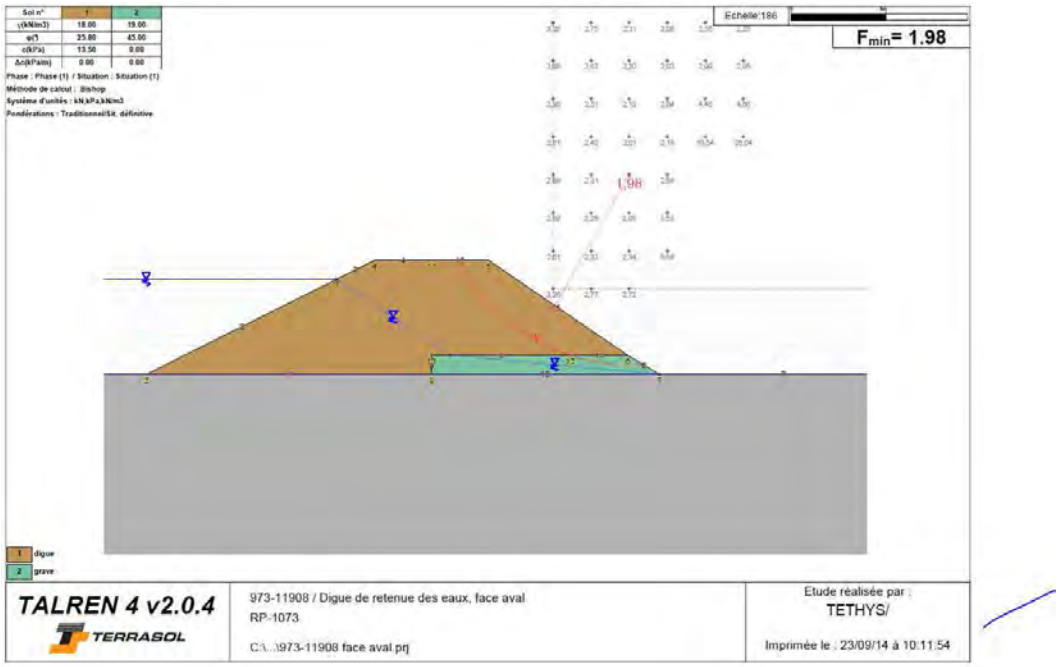
- des pentes génératrices de talus aval à 2/1 (2 à horizontale) susceptibles en fait d'être raidies en surlargeur à 3/2 pour des questions de protection contre l'érosion pluviale, les matériaux du talus à 3/2 étant alors considérés comme venant en sur-épaisseur de la digue calculée (ici dénommés « couche de protection » ;
- des pentes génératrices des talus amont de 2/1 ;
- la création d'une large risberme à -6 m/sommet ne sera pas nécessaire ici car la digue projetée sera de faible hauteur, de l'ordre de 6m au plus ;
- une largeur de digue en tête de 4 à 6 m au minimum ;
- une revanche (hauteur de digue hors d'eau coté intérieur) de 1 m en tête de digue.

Caractéristiques des différents types de sol mis en jeu par le calcul

Type de sol	Densité t/m^3	Cohésion kPa	frottement
Substratum saprolitique			
Horizons graveleux : assise de l'ouvrage, semelles drainante	1,9	0	45°
Remblai du corps de digue	1,8	13,5	25,8°

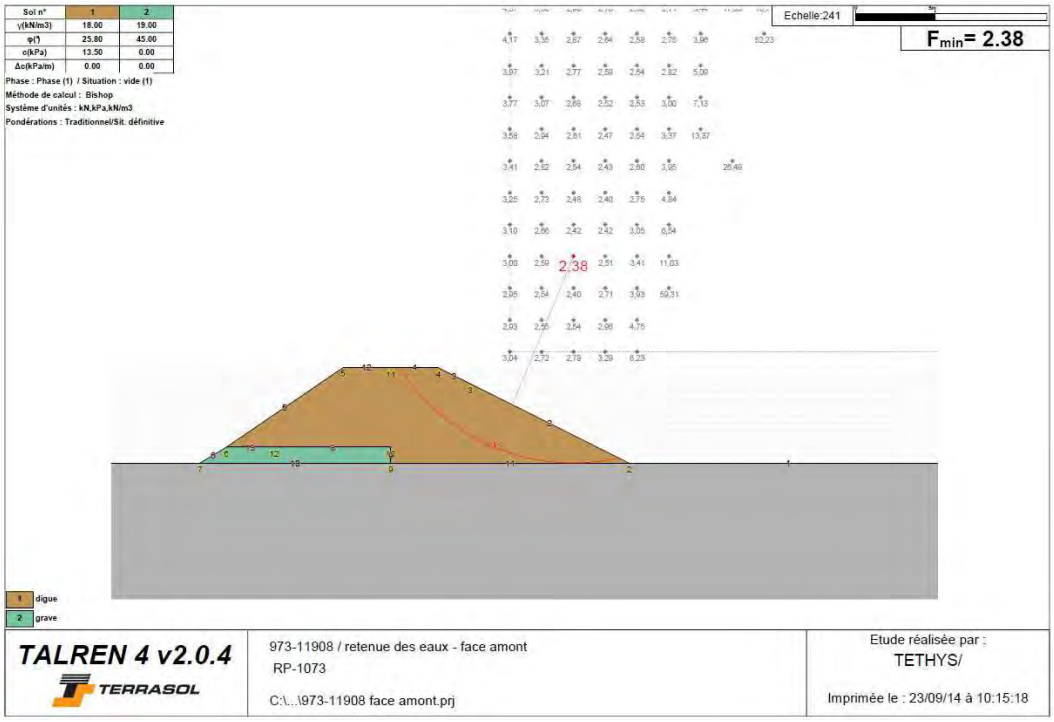
Il a été réalisé un calcul de stabilité du talus aval avec le bassin plein, un calcul de stabilité du talus amont avec le bassin vide, un calcul de stabilité du talus amont avec le bassin plein et un calcul de stabilité du talus amont dans le cas d'une vidange rapide, la digue n'ayant pas eu le temps de se désaturer, cette configuration ne devant a priori être susceptible d'intervenir.

Calcul de stabilité du talus aval :



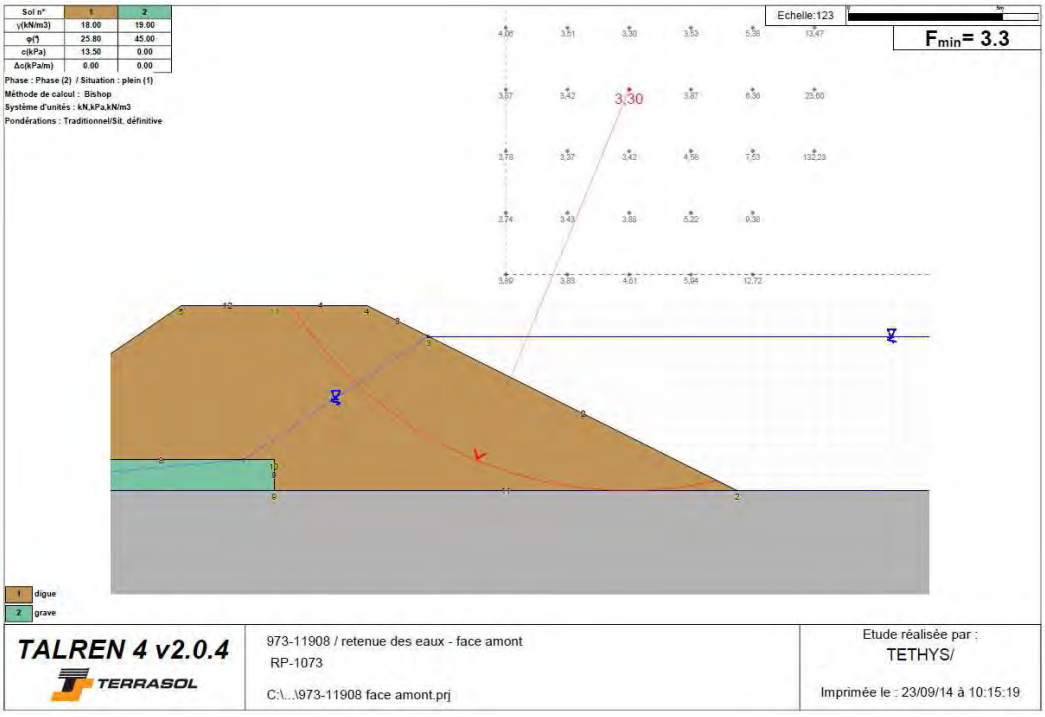
Avec un coefficient de sécurité F= 1,98, la stabilité de l'ouvrage est très largement assurée.

Calcul de stabilité du talus amont - bassin vide



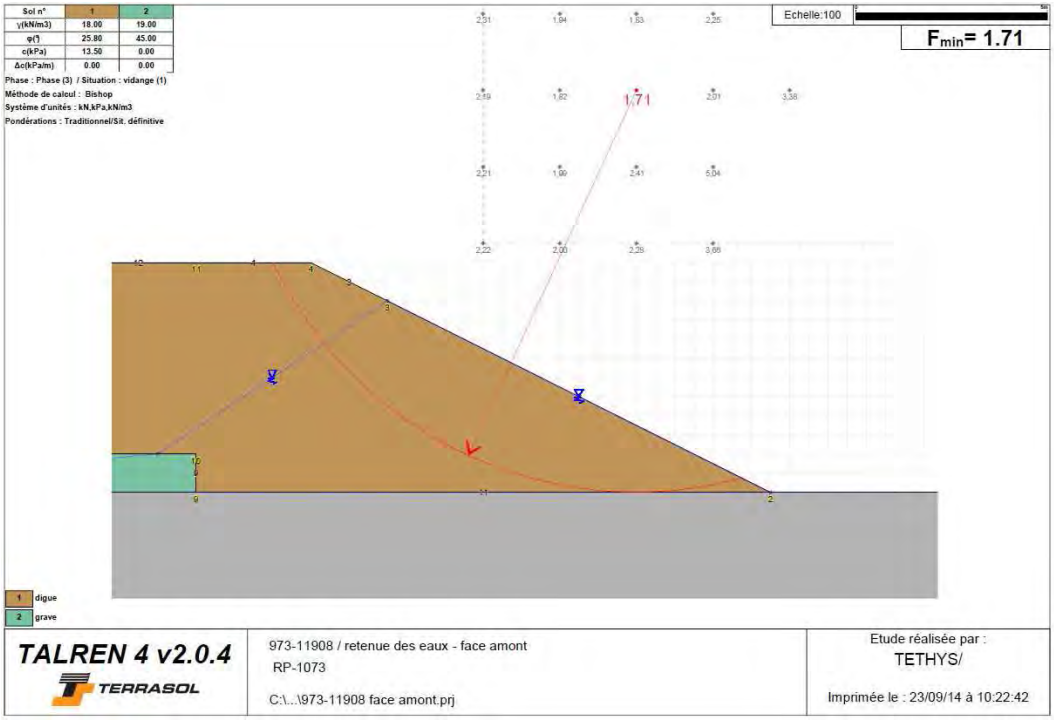
Avec un coefficient de sécurité F= 2,38, la stabilité de l'ouvrage est assurée.

Calcul de stabilité talus amont - bassin plein



Avec un coefficient de sécurité F= 3,3 la stabilité de l'ouvrage est assurée.

Calcul de stabilité du talus amont en cas de vidange rapide



Avec un coefficient de sécurité F= 1,71 la stabilité de l'ouvrage est assurée.

VI.3.3. Digues en matériaux graveleux (talus de résidus sableux) :

De tels talus seront créés lors de la construction de casiers hors-sol pour lesquels une pente de 3/2 a été retenue (3 à l'horizontale) avec un masque graveleux de 2 à 3 m d'épaisseur.

Le calcul a été réalisé pour les talus de résidus hors-sol, les talus des casiers de résidus dans le bassin en déblai étant a priori sensiblement d'allure voisine mais dans une situation plus sécuritaire.

La création d'un ouvrage composé de plusieurs digues successives construites de façon décalée sur les remblais sableux (cf plus haut) apparaissait plus sécuritaire et sa stabilité n'a donc pas été calculée ici.

Dans cas présent, ces digues limitant les casiers ne devraient pas excéder 8m de hauteur à l'intérieur du bassin.

La piézométrie a été retenue par sécurité à +4 m dans les résidus avec un niveau de base rabattu par le pied de digue par le masque drainant.

Caractéristiques des différents types de sol mis en jeu par le calcul

Type de sol	Densité t/m^3	Cohésion KPa	frottement
Remblai graveleux du corps de digue	1,9	0	45°
Résidus sableux	1,8	9	32,2°
Écran étanche de base	1,7	13,5	35,8
Résidus du casier inférieur	1,9	9	32,2°

Le substratum saprolitique très résistant ne se trouvait a priori pas concerné par le calcul.

Avec un coefficient de sécurité F= 1,52 la stabilité de l'ouvrage est assurée.

****

Les éléments de cette étude pourront être examinés lors d'une réunion de travail avec les intervenants techniques de cette affaire.

Le Gérant

Pierre ROSTAN

Le Géotechnicien se tient à la disposition du demandeur pour toutes précisions complémentaires sur la présente étude.

La présente mission G2 est à présent terminée et nous conseillons de respecter ici l'enchaînement des missions géotechniques en particulier en phase de chantier ; à défaut de mission complémentaire, toute pièce reçue sera considérée comme non lue.

DOCUMENTS CI-ANNEXES :

- classification et schéma d'enchaînement des missions géotechniques types (NF P 94-500) ;
- principe du pénétromètre dynamique ;
- diagrammes des sondages au pénétromètre dynamique léger (1) ;
- log des sondages à la pelle mécanique (9) ;
- résultats des essais en laboratoire :
  - identifications GTR (2) ;
  - essais proctor (2) ;
  - essais de cisaillement rectiligne (3) ;
  - essais de perméabilité à l'oedomètre (3) ;
  - essais de perméabilité au perméamètre (1).

- **DIFFUSION :**
  - AUPLATA S.A. (pdf) ;
  - GEO+ ENVIRONNEMENT (pdf).

4.2.4 - Tableaux synthétiques

Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2)Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4)Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

PRINCIPE
DU PENETROMETRE DYNAMIQUE LEGER

Cette technique consiste à tester la qualité du sol en enfonçant une pointe dans le sol par un battage régulier.

Le battage est réalisé par un mouton de 11,95 kg tombant en chute libre de 50 cm de hauteur.
La pointe mesure 4,9 cm^2 de section.

La résistance dynamique (Rd) est calculée par la formule dite des Hollandais, qui pose comme étant des termes égaux l'énergie développée par le mouvement du mouton et la résistance que le terrain oppose à l'enfoncement de la pointe,
d'où :

$$Rd = \frac{M^2 . h}{e . (T + M)} . \frac{1}{\oslash}$$

où :

M : poids du mouton

T : poids des tiges

h : hauteur de chute

e : refus

$\oslash$: section de la pointe

MINE & AVENIR

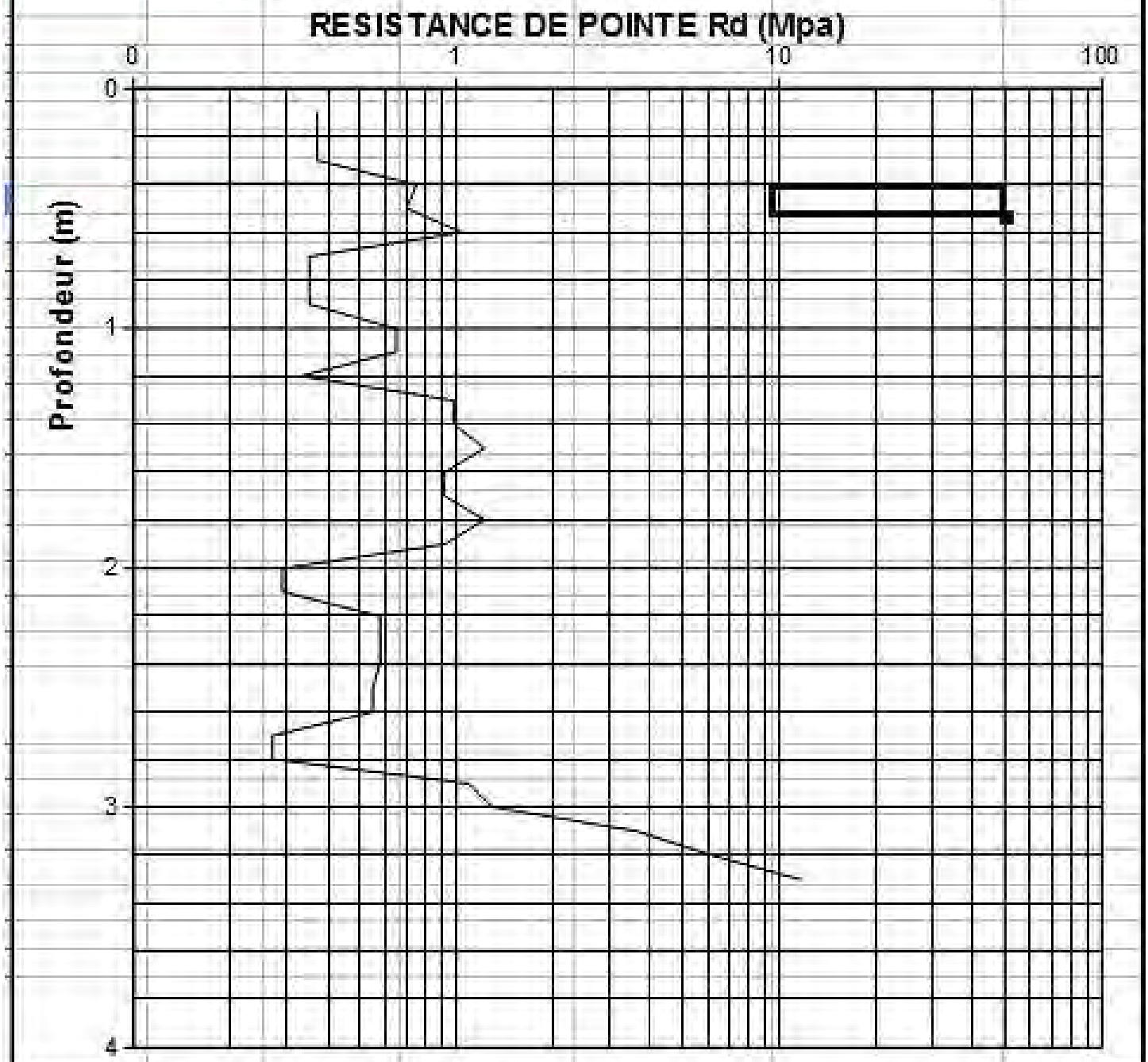
Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE MINES
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Date : 18/04/2014
Chantier: DIGUES UTMA YAOU
ref chantier: 973-1073

SONDAGE N° 1



CARACTERISTIQUES DU PENETROMETRE

m masse du mouton=	11,97 kg	S (section pointe)	9,62 cm²
m' masse enclume =	6,16 kg	g =	9,81 m/s²
m'' masse tige=	1,44 kg	Longueur de tige	0,5 m
H hauteur de chute =	0,5 m		

Les Aubergades
05 380 CHÂTEAUROUX les ALPES
☎ 04 92 43 40 12
fax: 04 92 43 62 37

SARL CEC V Aménagement au capital de 150 000 F
Siret 3303 6 705 000 12-NAF 742 C

MICROPOLIS
05 000 GAP
☎ 04 92 53 49 55
fax: 04 92 53 21 01

MINE & AVENIR

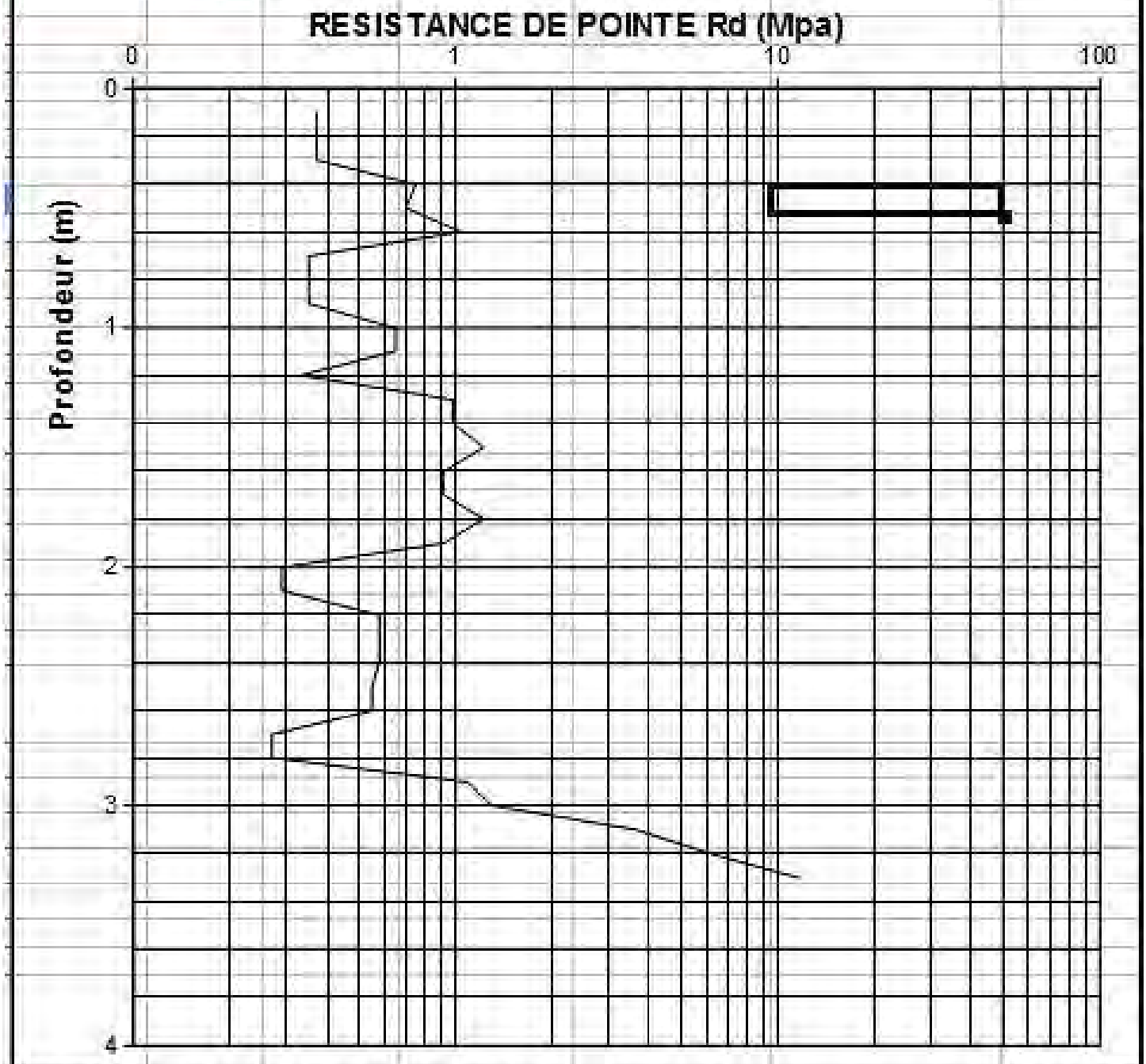
Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE MINES
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Date : 18/04/2014
Chantier: DIGUES UTMA YAOU
ref chantier: 973-1073

SONDAGE N° 1



CARACTERISTIQUES DU PENETROMETRE

m masse du mouton=	11,97 kg	S (section pointe)	9,62 cm²
m' masse enclume =	6,16 kg	g =	9,81 m/s²
m'' masse tige=	1,44 kg	Longueur de tige	0,5 m
H hauteur de chute =	0,5 m		

Les Aubergeries
05 380 CHÂTEAUROUX les ALPES
☎ 04 92 43 40 12
fax: 04 92 43 62 37

SURL CAC Aménagement au capital de 150 000 F
Siret 3903 [illegible] 742 C

MICROPOLIS
05 000 GAP
☎ 04 92 53 49 55
fax: 04 92 53 21 01

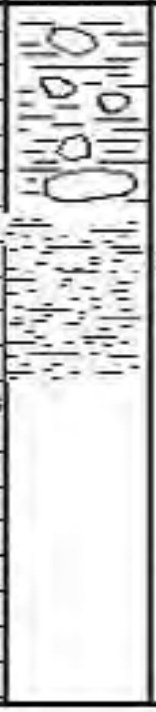
MINE & AVENIR

Ingénierie géologique géotechnique et minière

SONDAGES A LA PELLE MÉCANIQUE

PROCES VERBAL

Date : 17/04/2014
Chantier : DIGUES UMCO YADU
Réf. Chantier : 973-1073

Cote / TN (cm)	N° 9	LITHOLOGIE
0		Remblai hétérogène
1		
1,6		
2		Limon argileux rougeâtre
3		

Cote / TN (cm)		LITHOLOGIE
0		
1		
2		
3		
4		
5		

Cote / TN (cm)	N°	LITHOLOGIE
1		
2		
3		
4		
5		

Cote / TN (cm)	N°	LITHOLOGIE
1		
2		
3		
4		

SONDAGES A LA PELLE MÉCANIQUE

PROCES VERBAL

Date : 17/04/2014
Chantier : DIGUES UMCO YAOU
Réf. Chantier : 973-1073

Cote / TN (cm)	N° 1	LITHOLOGIE
0		Limon argileux verdâtre
1		
1,5		Alluvions sableuses à matrice limoneuse
2		
3		Saprolite argileuse jaunâtre tendre
4		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 2	LITHOLOGIE
0		Limon argileux rougeâtre
0,6		
1		Limon argileux verdâtre
2		
2,6		Alluvions sableuses Venue d'eau
3		Saprolite argileuse
4		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 3	LITHOLOGIE
1		Limon argileux rougeâtre
2		Limon argileux verdâtre
3		
4		Saprolite argileuse jaunâtre
5		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 4	LITHOLOGIE
1		Limon argileux rougeâtre
2		Argile graveleuse latérisée à nodules ferrugineux
3		Saprolite argileuse jaunâtre
4		Arrêt du sondage

338, rue du Général des Carnes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél. : 05 94 30 57 70 Fax : 05 94 29 05 61
Mobile : 06 94 20 54 20 - 06 94 20 20 13 - e-mail : dmtethys@yahoo.fr - dmtethys@wanadoo.com

MINE & AVENIR

Ingénierie géologique géotechnique et minière

SONDAGES A LA PELLE MÉCANIQUE

PROCES VERBAL

Date : 17/04/2014
Chantier : DIGUES UMCO YAOU
Réf. Chantier : 973-1073

Cote / TN (cm)	N° 5	LITHOLOGIE
0		Limon argileux verdâtre et bois
1		
1,4		parois instables le trou se referme aussitôt creusé
2		forte venue d'eau Alluvions sableuses
3		Saprolite argileuse jaunâtre tendre Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 6	LITHOLOGIE
0		
1		
2		
3		Saprolite argileuse jaunâtre
4		
5		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 7	LITHOLOGIE
1		Limon argileux rougeâtre
2		Saprolite argileuse jaunâtre
3		Arrêt du sondage
4		
5		

Cote / TN (cm)	N° 8	LITHOLOGIE
		Remblai hétérogène
1		
2		Limon argileux rougeâtre
3		Arrêt du sondage
4		

TERRA TETHYS

338, rue du Général de Gaulle 97354 REMIRE-MONTJOLY - tél. 05 94 30 37 39 - fax 05 94 38 08 81

SONDAGES A LA PELLE MÉCANIQUE

PROCES VERBAL

Date : 17/04/2014
Chantier : DIGUES UMCO YAOU
Réf. Chantier : 973-1073

Cote / TN (cm)	N° 1	LITHOLOGIE
0		Limon argileux verdâtre
1		
1,5		Alluvions sableuses à matrice limoneuse
2		
3		Saprolite argileuse jaunâtre tendre
4		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 2	LITHOLOGIE
0		Limon argileux rougeâtre
0,6		
1		Limon argileux verdâtre
2		
2,6		Alluvions sableuses Venue d'eau
3		Saprolite argileuse
4		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 3	LITHOLOGIE
1		Limon argileux rougeâtre
2		Limon argileux verdâtre
3		
4		Saprolite argileuse jaunâtre
5		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 4	LITHOLOGIE
1		Limon argileux rougeâtre
2		Argile graveleuse latérisée à nodules ferrugineux
3		Saprolite argileuse jaunâtre
4		Arrêt du sondage

338, rue du Mas-el-Duc Centre 07554 MONTPELLIER Tél. 04 67 64 57 70 Fax 04 67 64 57 71
Mobile 06 07 06 54 20 - 06 64 20 20 15 - cm.tethys@wanadoo.fr - tethys@tethys.com

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-06 | Date PV : **17/07/2014**

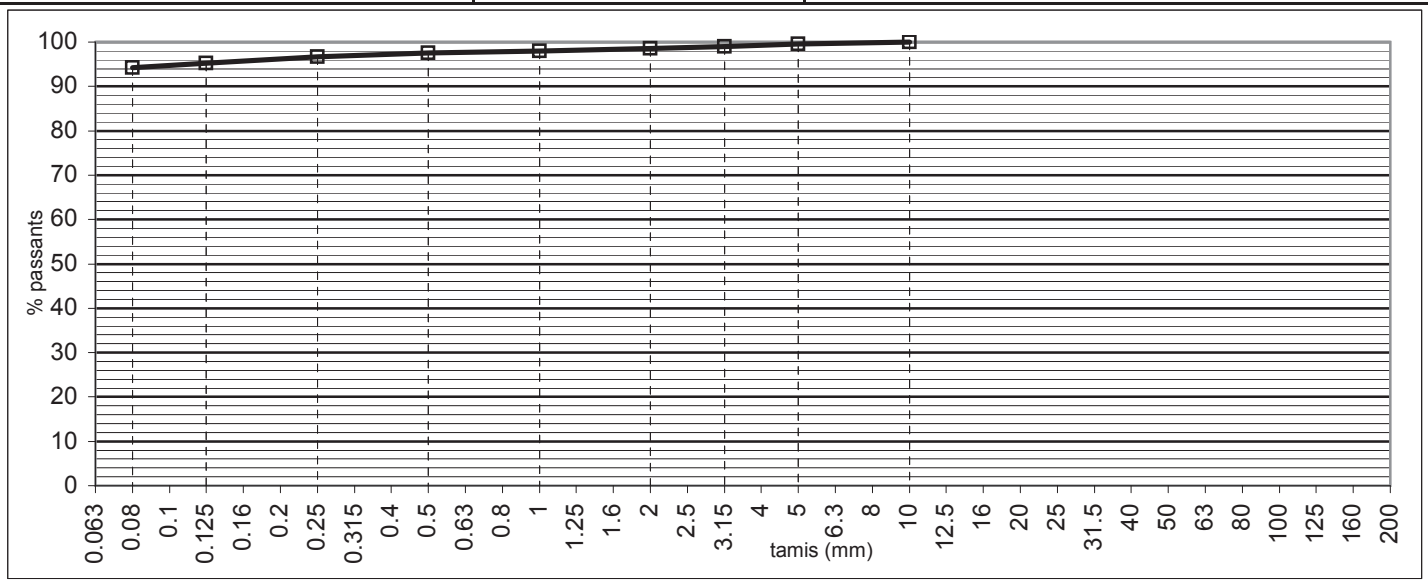
PROCES VERBAL

IDENTIFICATION DES MATERIAUX

référence normes françaises : NF P 94 056 et NF P 18 560 - EN 933-1

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°3
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :	**saprolite ferralitisée (marron)**		

		Echantillon	Spécifications CCTP	Observations
teneur en eau **W%**	fraction TOTALE	**28.0%**		
compactage OPN fraction 0/20	densité sèche	**1.43 t/m3**		
	W% OPN	**30.4%**		
Indice de Poinçonnement	IPI à Wnat			
Los Angeles	LA			
Micro Deval	MDE			
Valeur de bleu	VB 0/2 (MB)			
	VB S	**0.78**		
Fraction < 0.08 mm (sur fraction 0/50)		**94.3%**		
Fraction > 50 mm (sur prélèvement)		**0%**		
Diamètre maxi : D mm (sur prélèvement)		**10**		
Classification GTR		A1 m	**état hydrique moyen**	



tamis mm	0.063	0.08	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	10	20	31.5	40	50	63	80	100	125	200
% <		94.3	95.3	96.7		97.5	98.0	98.6	99.0		99.5	100									
fraction 0/50																					

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-07 | Date PV : **17/07/2014**

PROCES VERBAL

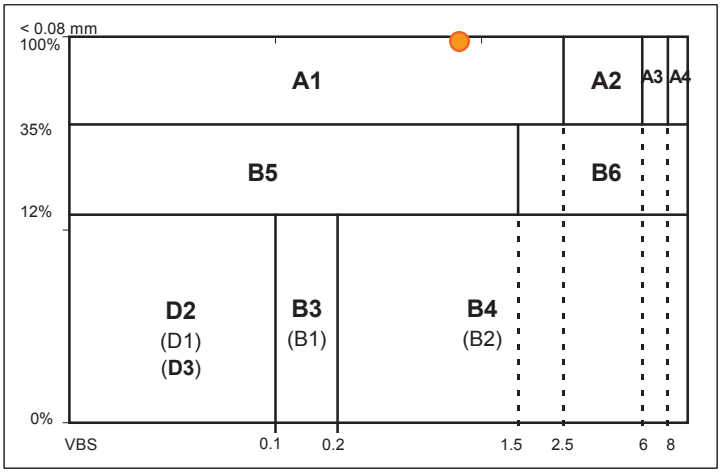
ESSAI AU BLEU DE METHYLENE

référence normes : NF P 94-068 et EN 933-9

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°3
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :	**saprolite ferralitisée (marron)**		

Préparation de l'échantillon		fraction < 0.08mm (VBta)	fraction 0/5 (VBS)		fraction 0/2 (MB)	
Masse sèche en g			**70.0**			
Nombre de doses	10 cm3		3			
	2.5 cm3		10			
Volume total de solution de bleu			**55.0 cm3**			
		VB tache =	**VB =**	**0.79**	**MB =**	
			VBS =	**0.78**	**MB_F** (0/0.125mm) **=**	

RAPPEL DE LA CLASSIFICATION GTR [fraction 0/50]



fraction de référence		% < 0.08 mm	%<5mm
0/50		94.3%	99.5%
0/5		94.8%	100%
0/2			
Teneur en eau échantillon W%	fraction TOTALE	**28.0%**	
Classe GTR de la fraction 0/50 du Sol		**A1**	
Classe GTR de la fraction < 0.08 mm			
Catégorie de fabrication des sables et graves selon EN 933-9			

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-01 | Date PV : **17/07/2014**

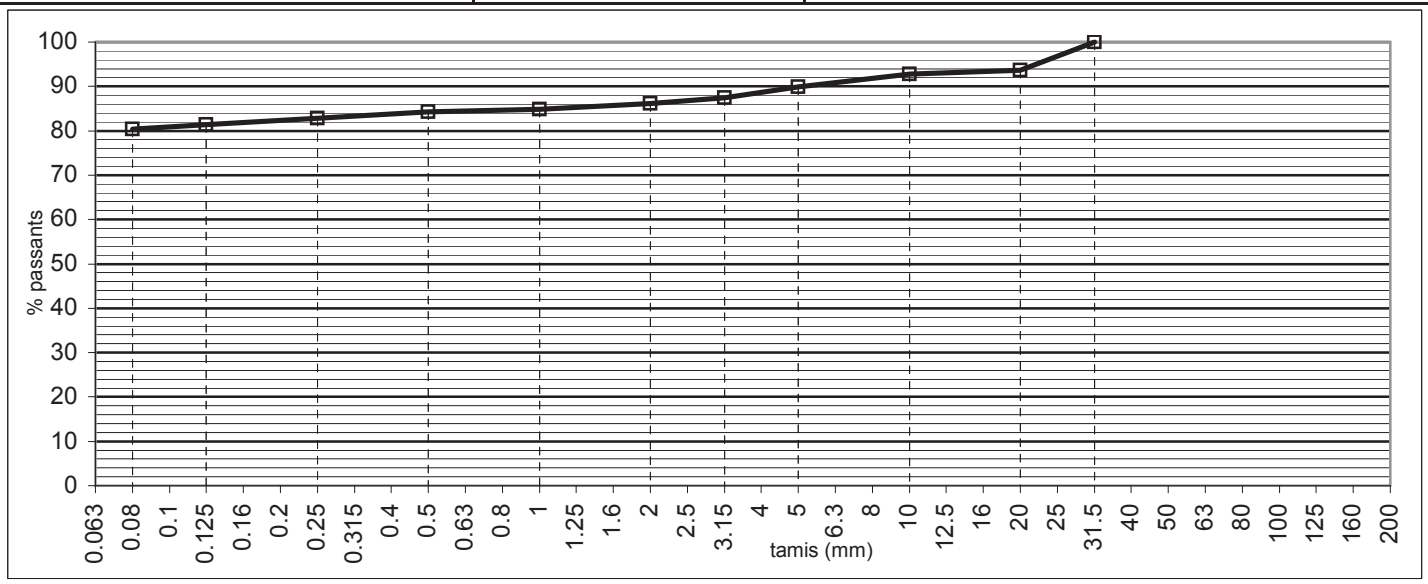
PROCES VERBAL

IDENTIFICATION DES MATERIAUX

référence normes françaises : NF P 94 056 et NF P 18 560 - EN 933-1

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°1
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :	**saprolite (rougeâtre)**		

		Echantillon	Spécifications CCTP	Observations
teneur en eau **W%**	fraction TOTALE	**31.1%**		
compactage OPN fraction 0/20	densité sèche	**1.46 t/m3**		
	W% OPN	**31.2%**		
Indice de Poinçonnement	IPI à Wnat			
Los Angeles	LA			
Micro Deval	MDE			
Valeur de bleu	VB 0/2 (MB)			
	VB S	**0.77**		
Fraction < 0.08 mm (sur fraction 0/50)		**80.4%**		
Fraction > 50 mm (sur prélèvement)		**0%**		
Diamètre maxi : D mm (sur prélèvement)		**31.5**		
Classification GTR		A1 m	**état hydrique moyen**	



tamis mm	0.063	0.08	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	10	20	31.5	40	50	63	80	100	125	200
% <		80.4	81.4	82.8		84.2	84.9	86.1	87.4		89.9	92.8	93.6	100							
fraction 0/50																					

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-02 | Date PV : **17/07/2014**

PROCES VERBAL

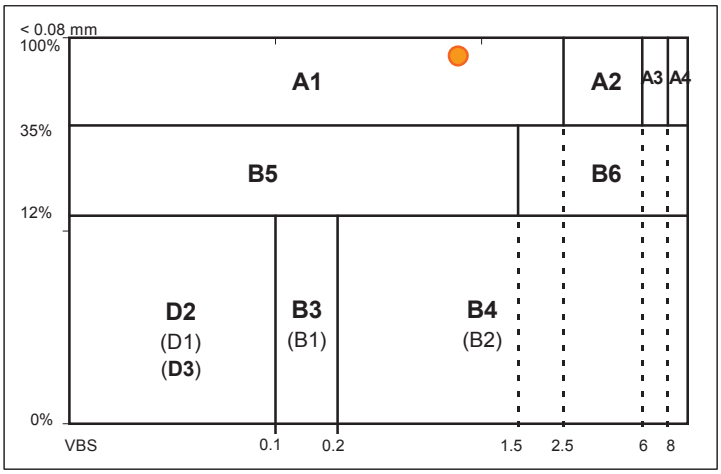
ESSAI AU BLEU DE METHYLENE

référence normes : NF P 94-068 et EN 933-9

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°1
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :	**saprolite (rougeâtre)**		

Préparation de l'échantillon		fraction < 0.08mm (VBta)	fraction 0/5 (VBS)		fraction 0/2 (MB)	
Masse sèche en g			**70.0**			
Nombre de doses	10 cm3		3			
	2.5 cm3		12			
Volume total de solution de bleu			**60.0 cm3**			
		VB tache =	**VB =**	**0.86**	**MB =**	
			VBS =	**0.77**	**MB_F** (0/0.125mm) **=**	

RAPPEL DE LA CLASSIFICATION GTR [fraction 0/50]



fraction de référence		% < 0.08 mm	%<5mm
0/50		80.4%	89.9%
0/5		89.4%	100%
0/2			
Teneur en eau échantillon W%	fraction TOTALE	**31.1%**	
Classe GTR de la fraction 0/50 du Sol		**A1**	
Classe GTR de la fraction < 0.08 mm			
Catégorie de fabrication des sables et graves selon EN 933-9			

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-08 Date PV : **17/07/2014**

PROCES VERBAL

ESSAI PROCTOR

références normes française : NF P 94-093 et NF P 94-078

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM 5 - n°3
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**saprolite ferralitisée (marron)**	

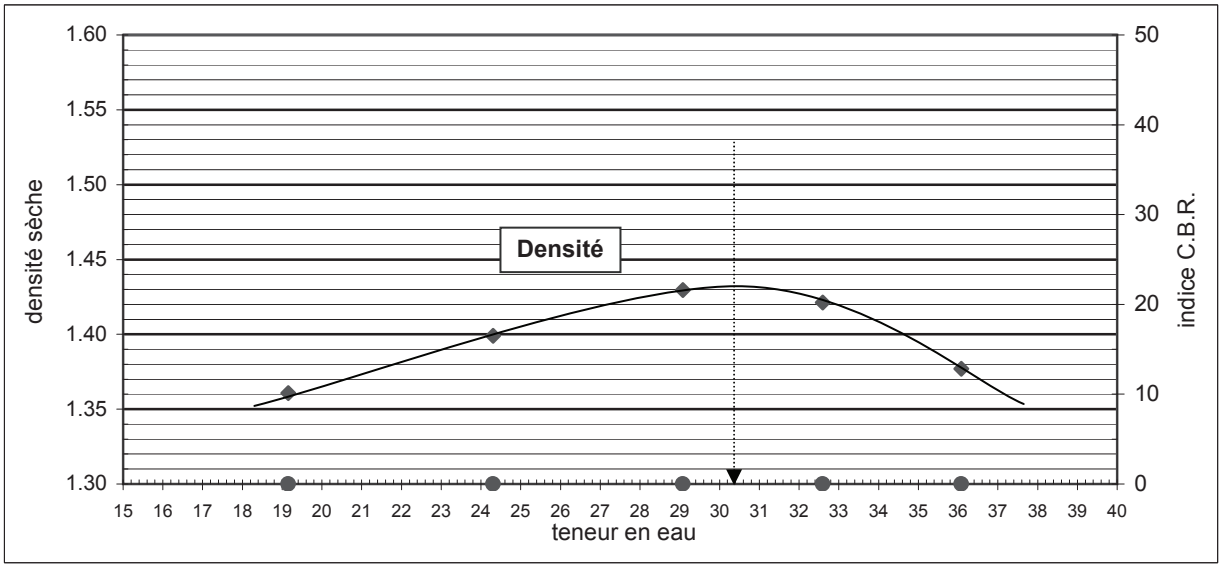
Proctor : NORMAL

Moule : NORMAL 943 cm3

Ecrétage prélèvement à 20 mm : 0%

Densité spécifique : 2.65 t/m3 par convention

compactage	n°1	n°2	Wnat - n°3	n°4	n°5	n°6
Teneur en eau fraction 0/20	**19.2**	**24.3**	**29.1**	**32.6**	**36.1**	
Densité sèche - t/m3	1.361	1.399	1.430	1.421	1.377	
Indice de Portance Immédiat : C.B.R.						
W% pour état saturé avant compactage						
% gonflement						
W% après immersion						
C.B.R. après imm.						



OPTIMUM PROCTOR W = **30.4%** densité sèche **ρd = 1.43 t/m3**

correction sur la fraction totale *applicable pour les matériaux ayant moins de 30% de > 20mm , à titre d'information au-delà.*

OPTIMUM CORRIGE **W ' = 30.4%** **densité corrigée** ρ'd = **1.43 t/m3**

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte.L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-12b | Date PV : **14/08/2014**

PROCES VERBAL

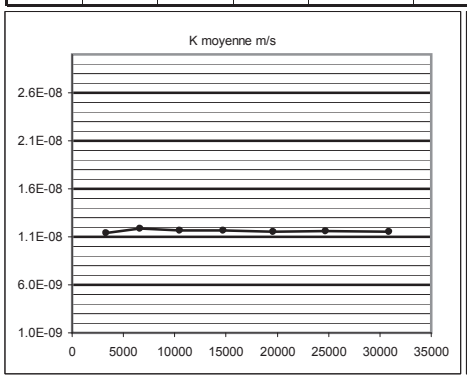
ESSAI DE PERMEABILITE à charge variable

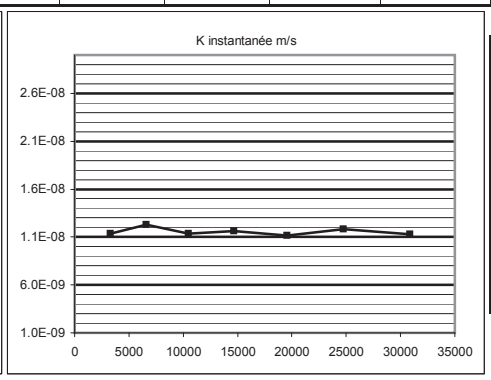
référence norme française : PR NF X 30-442

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	P6
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**Sables broyés < 100 µm**	

	paramètres de l'essai				
	initial	final	durée de l'essai y compris saturation		2 jours
W%	27.3%	25.1%	origine eau	source eau de ville	ph = 7.2
saturation	97.6%	96.5%	Etat :	remanié	
hauteur échantillon cm	2.70	2.10	température local	mini = 20°	maxi = 21°
indice des vides	0.755	0.716	surface de l'échantillon	40.0 cm²	
densité sèche	1.539	1.574	pression chargement	0.20 bars	
masse volumique des particules		2.7 estimée	hauteur colonne d'eau initiale	0.23 cm	

date	heure	min	sec	cumul heures	cumul minutes	cumul secondes	**delta secondes**	cm	lecture cm3	hauteur cumul m	K instantané	**perméabilité : K m/s**
0	0	0	0	0	0	0	**0**	-5.2	**-3.0**	0.233		
0	0	55	0	0	55	3300	**3300**	-3.4	**-2.0**	0.215	1.14E-08	**1.14E-08**
0	1	50	0	1	110	6600	**3300**	-1.7	**-1.0**	0.198	1.23E-08	**1.18E-08**
0	2	55	0	2	175	10500	**3900**	0.0	**0.0**	0.181	1.14E-08	**1.17E-08**
0	4	5	0	4	245	14700	**4200**	1.7	**1.0**	0.164	1.16E-08	**1.17E-08**
0	5	26	0	5	326	19560	**4860**	3.4	**2.0**	0.147	1.11E-08	**1.15E-08**
0	6	52	0	6	412	24720	**5160**	5.2	**3.0**	0.129	1.18E-08	**1.16E-08**
0	8	35	0	8	515	30900	**6180**	6.9	**4.0**	0.112	1.13E-08	**1.15E-08**





PERMEABILITE Instantanée FINALE
1.2E-08
PERMEABILITE Moyenne FINALE
1.2E-08
observations :

: élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-03 Date PV : **17/07/2014**

PROCES VERBAL

ESSAI PROCTOR

références normes française : NF P 94-093 et NF P 94-078

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM 5 - n°1
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**saprolite (rougeâtre)**	

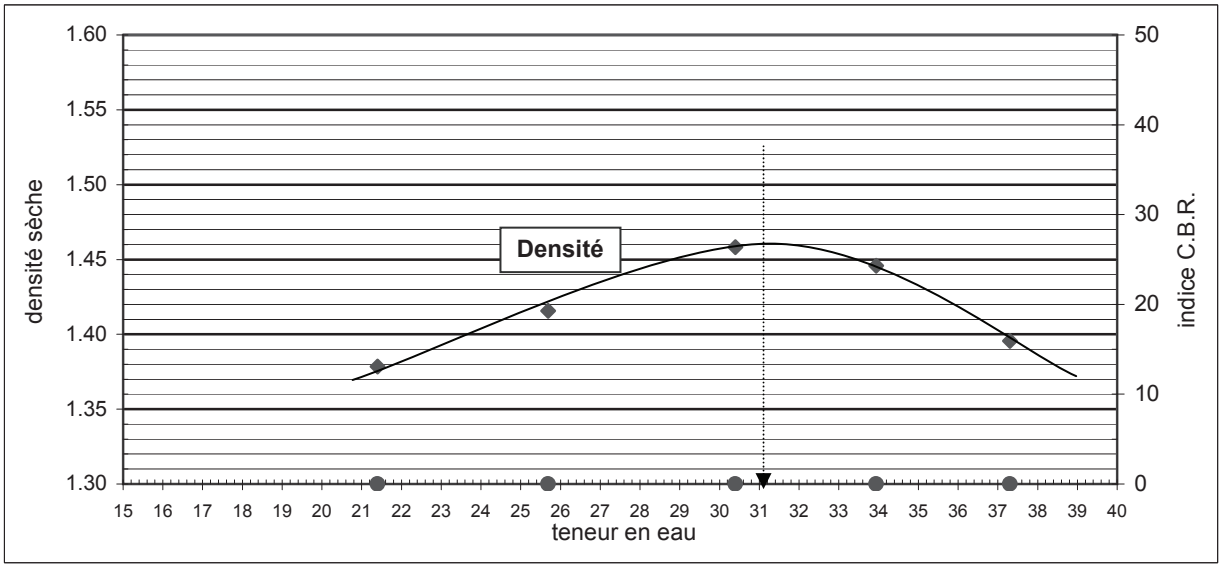
Proctor : NORMAL

Moule : NORMAL 943 cm3

Ecrétage prélèvement à 20 mm : 6%

Densité spécifique : 2.65 t/m3 par convention

compactage	n°1	n°2	Wnat - n°3	n°4	n°5	n°6
Teneur en eau fraction 0/20	**21.4**	**25.7**	**30.4**	**33.9**	**37.3**	
Densité sèche - t/m3	1.378	1.416	1.458	1.446	1.396	
Indice de Portance Immédiat : C.B.R.						
W% pour état saturé avant compactage						
% gonflement						
W% après immersion						
C.B.R. après imm.						



OPTIMUM PROCTOR W = **31.2%** densité sèche **ρd = 1.46 t/m3**

correction sur la fraction totale	*applicable pour les matériaux ayant moins de 30% de > 20mm , à titre d'information au-delà.*		
OPTIMUM CORRIGE	**W ' = 29.3%**	**densité corrigée**	ρ'd = **1.50 t/m3**

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte.L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-12a | Date PV : **08/08/2014**

PROCES VERBAL

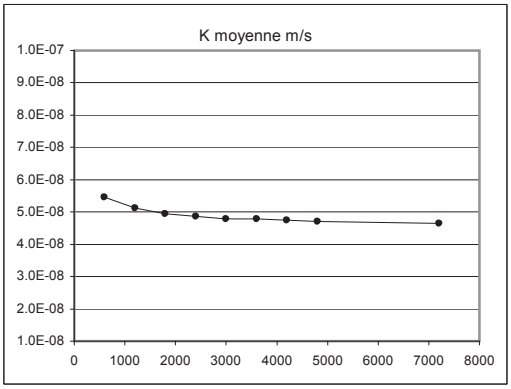
ESSAI DE PERMEABILITE - cellule Proctor modifié

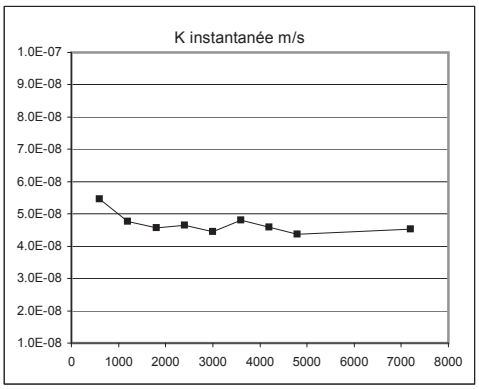
référence norme française : NF P 94 512-11

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	P6
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**sables broyés < 100µm**	

Type d'essai :	charge variable	préparation de l'échantillon	OPN	surface du moule en cm²	181.5

date	heure	min	cumul heures	cumul minutes	cumul secondes	**delta secondes**	lecture cm	**lecture cm3**	volume cm3	hauteur cumul m	K instantané	**perméabilité : K m/s**
0	0	0	0	0	0	**0**	47	**59.5**	0.00	1.140		
0	0	10	0	10	600	**600**	44.9	**56.8**	2.66	1.119	5.5E-08	**5.47E-08**
0	0	20	0	20	1200	**600**	43.1	**54.6**	4.94	1.101	4.8E-08	**5.12E-08**
0	0	30	0	30	1800	**600**	41.4	**52.4**	7.09	1.084	4.6E-08	**4.94E-08**
0	0	40	0	40	2400	**600**	39.7	**50.3**	9.24	1.067	4.6E-08	**4.87E-08**
0	0	50	0	50	3000	**600**	38.1	**48.2**	11.27	1.051	4.4E-08	**4.78E-08**
0	0	60	0	60	3600	**600**	36.4	**46.1**	13.42	1.034	4.8E-08	**4.78E-08**
0	0	70	0	70	4200	**600**	34.8	**44.1**	15.45	1.018	4.6E-08	**4.76E-08**
0	0	80	0	80	4800	**600**	33.3	**42.2**	17.34	1.003	4.4E-08	**4.71E-08**
0	0	120	0	120	7200	**2400**	27.3	**34.6**	24.94	0.943	4.5E-08	**4.65E-08**





Teneur en eau essai	
Densité essai	
Teneur en eau finale	
PERMEABILITE Instantanée FINALE	
4.4E-08	
PERMEABILITE Moyenne FINALE	
4.7E-08	
observations :	

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Proces Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-10 | Date PV : **30/07/2014**

PROCES VERBAL

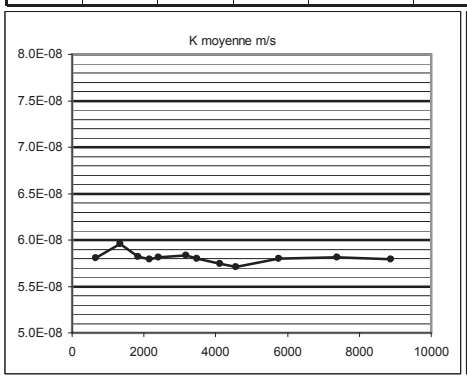
ESSAI DE PERMEABILITE à charge variable

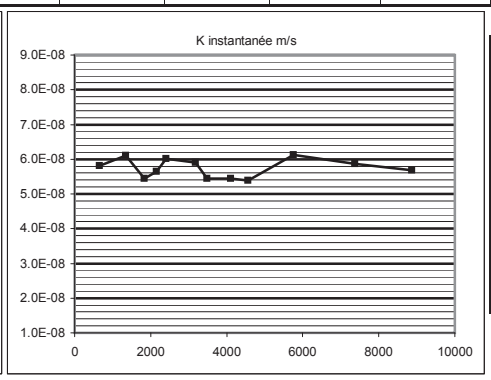
référence norme française : PR NF X 30-442

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM 5 - n°3
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**saprolite ferralitisée (marron)**	

	paramètres de l'essai				
	initial	final	durée de l'essai y compris saturation		2 jours
W%	29.5%	41.6%	origine eau	source eau de ville	ph = 7.2
saturation	85.2%	116.8%	Etat :	remanié	
hauteur échantillon cm	2.70	2.67	température local	mini = 20°	maxi = 21°
indice des vides	0.935	0.933	surface de l'échantillon	40.0 cm²	
densité sèche	1.395	1.397	pression chargement	0.20 bars	
masse volumique des particules	2.7	estimée	hauteur colonne d'eau initiale	0.23 cm	

date	heure	min	sec	cumul heures	cumul minutes	cumul secondes	**delta secondes**	cm	lecture cm3	hauteur cumul m	K instantané	**perméabilité : K m/s**
0	9	34	0	0	0	0	**0**	-5.2	**-3.0**	0.233		
0	9	45	0	0	11	660	**660**	-3.4	**-2.0**	0.215	5.81E-08	**5.81E-08**
0	9	56	20	0	22	1340	**680**	-1.7	**-1.0**	0.198	6.11E-08	**5.96E-08**
0	10	4	30	1	30	1830	**490**	-0.7	**-0.4**	0.188	5.44E-08	**5.82E-08**
0	10	10	0	1	36	2160	**330**	0.0	**0.0**	0.181	5.64E-08	**5.79E-08**
0	10	14	0	1	40	2400	**240**	0.5	**0.3**	0.176	6.01E-08	**5.82E-08**
0	10	27	0	1	53	3180	**780**	2.1	**1.2**	0.160	5.89E-08	**5.84E-08**
0	10	32	0	1	58	3480	**300**	2.6	**1.5**	0.155	5.44E-08	**5.80E-08**
0	10	42	30	1	68	4110	**630**	3.6	**2.1**	0.145	5.45E-08	**5.75E-08**
0	10	50	0	1	76	4560	**450**	4.3	**2.5**	0.138	5.39E-08	**5.71E-08**
0	11	10	0	2	96	5760	**1200**	6.2	**3.6**	0.119	6.13E-08	**5.80E-08**
0	11	37	0	2	123	7380	**1620**	8.3	**4.8**	0.098	5.86E-08	**5.81E-08**
0	12	2	0	3	148	8880	**1500**	9.8	**5.7**	0.083	5.69E-08	**5.79E-08**





PERMEABILITE Instantanée FINALE
5.9E-08
PERMEABILITE Moyenne FINALE
5.8E-08
observations :

: élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA

Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-09 | Date PV : **17/07/2014**

PROCES VERBAL

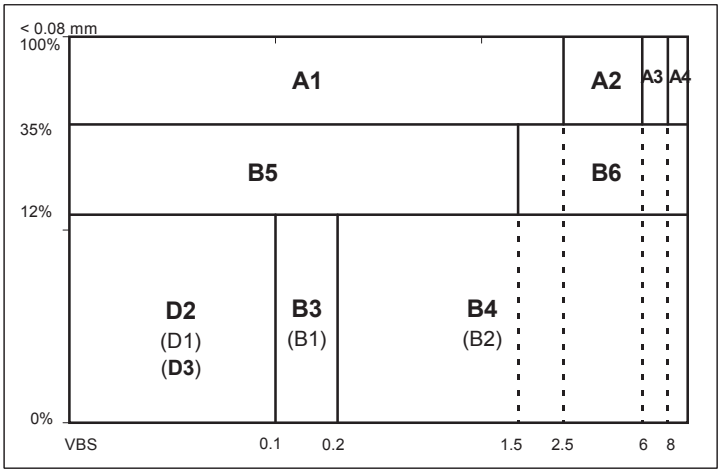
ESSAI AU BLEU DE METHYLENE

référence normes : NF P 94-068 et EN 933-9

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	P6
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :	**sable broyé <100µm**		

Préparation de l'échantillon		fraction < 0.08mm (VBta)	fraction 0/5 (VBS)		fraction 0/2 (MB)	
Masse sèche en g			**199.6**			
Nombre de doses	10 cm3		5			
	2.5 cm3		12			
Volume total de solution de bleu			**80.0 cm3**			
		VB tache =	**VB =**	**0.40**	**MB =**	
			VBS =	**0.40**	**MB_F** (0/0.125mm) **=**	

RAPPEL DE LA CLASSIFICATION GTR [fraction 0/50]



fraction de référence		% < 0.08 mm	%<5mm
0/50			
0/5			
0/2			
Teneur en eau échantillon W%	fraction TOTALE	**31.1%**	
Classe GTR de la fraction 0/50 du Sol		**/**	
Classe GTR de la fraction < 0.08 mm			
Catégorie de fabrication des sables et graves selon EN 933-9			

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce Procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-11 | Date PV : **30/07/2014**

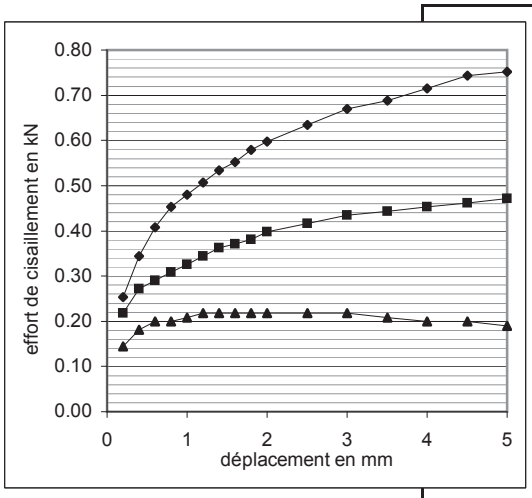
PROCES VERBAL

CISAILLEMENT DIRECT - drainé

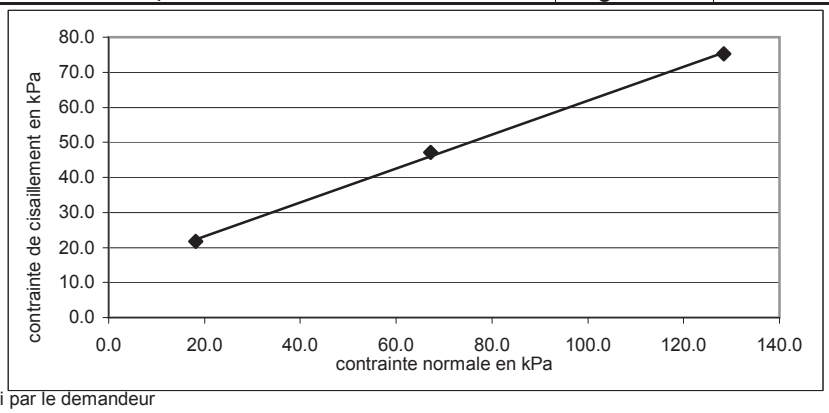
référence norme française : NF P 94-071-1

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°3
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**saprolite ferralitisée (marron)**	

Eprouvette	10 x 10 cm	100 cm²	hauteur	2.5 cm	Vitesse de cisaillement	25 µm/min



		boite n°	1	2	3	4
		charge en N	1284.3	671.8	181.8	
		0.2	0.254	0.217	0.145	
		0.4	0.344	0.272	0.181	
		0.6	0.408	0.290	0.199	
		0.8	0.453	0.308	0.199	
		1.0	0.480	0.326	0.208	
		1.2	0.507	0.344	0.217	
		1.4	0.534	0.362	0.217	
		1.6	0.553	0.371	0.217	
		1.8	0.580	0.380	0.217	
		2.0	0.598	0.399	0.217	
		2.5	0.634	0.417	0.217	
		3.0	0.670	0.435	0.217	
		3.5	0.688	0.444	0.208	
		4.0	0.716	0.453	0.199	
		4.5	0.743	0.462	0.199	
		5.0	0.752	0.471	0.190	
contrainte normale		en kPa	128.4	67.2	18.2	
effort de cisaillement		en Newton	751.9	471.0	217.4	
contrainte de cisaillement		en kPa	75.2	47.1	21.7	
W% avant saturation			29.1	29.1	29.1	
W% après saturation et contrainte			41.7	42.8	43.7	
densité humide avant contrainte		en g/cm³	1.68	1.76	1.78	
densité sèche avant contrainte		en g/cm³	1.30	1.36	1.38	
densité sèche après contrainte		en g/cm³	1.41	1.41	1.40	



Fraction essai cisaillement :	0/8
angle	25.8°
cohésion en kPa	13.5

Observations :

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-05 | Date PV : **22/07/2014**

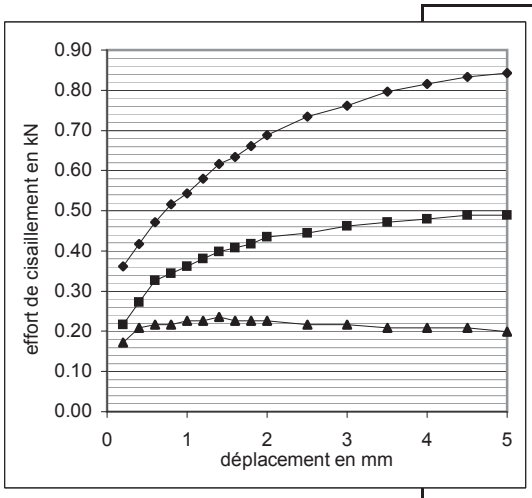
PROCES VERBAL

CISAILLEMENT DIRECT - drainé

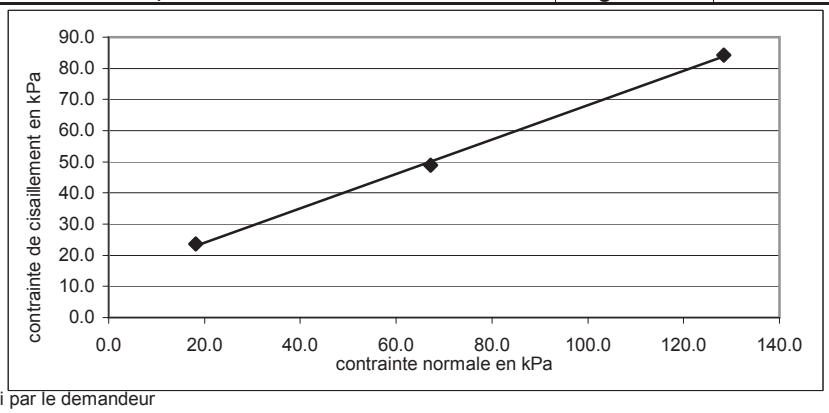
référence norme française : NF P 94-071-1

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	SPM5 - n°1
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**saprolites (rougeâtre)**	

Eprouvette	10 x 10 cm	100 cm²	hauteur	2.5 cm	Vitesse de cisaillement	25 µm/min



boite n°	1	2	3	4
charge en N	1284.3	671.8	181.8	
déplacement en mm 0.2	0.362	0.217	0.172	
0.4	0.417	0.272	0.208	
0.6	0.471	0.326	0.217	
0.8	0.516	0.344	0.217	
1.0	0.544	0.362	0.226	
1.2	0.580	0.380	0.226	
1.4	0.616	0.399	0.236	
1.6	0.634	0.408	0.226	
1.8	0.661	0.417	0.226	
2.0	0.688	0.435	0.226	
2.5	0.734	0.444	0.217	
3.0	0.761	0.462	0.217	
3.5	0.797	0.471	0.208	
4.0	0.815	0.480	0.208	
4.5	0.833	0.489	0.208	
5.0	0.842	0.489	0.199	
contrainte normale en kPa	128.4	67.2	18.2	
effort de cisaillement en Newton	842.4	489.2	235.5	
contrainte de cisaillement en kPa	84.2	48.9	23.6	
W% avant saturation	31.3	31.3	31.3	
W% après saturation et contrainte	38.3	39.3	40.1	
densité humide avant contrainte en g/cm³	1.87	1.87	1.85	
densité sèche avant contrainte en g/cm³	1.42	1.42	1.41	
densité sèche après contrainte en g/cm³	1.46	1.45	1.43	



Fraction essai cisaillement :	0/8
angle	28.9°
cohésion en kPa	12.9

Observations :

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

CECM
Laboratoire d'analyse
Sols - Bétons - Granulats

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

Société minière AUPLATA
Mine de YAOU - GUYANE (97)

Dossier CECM : 97/3431-13 | Date PV : **14/08/2014**

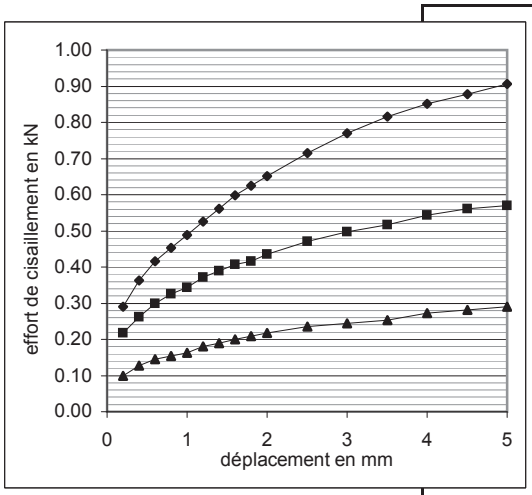
PROCES VERBAL

CISAILLEMENT DIRECT - drainé

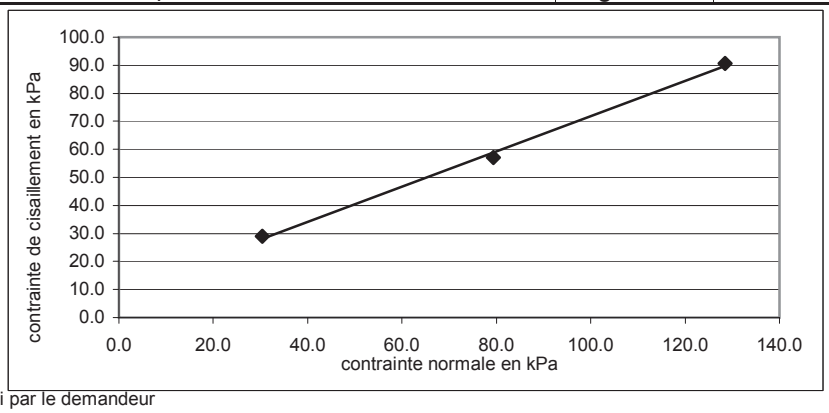
référence norme française : NF P 94-071-1

PRÉLÈVEMENT			
Date * :		Origine * :	P6
Par * :		Identification * :	RP-973/1073 - bassins de retenue des résidus ultimes
Nature * :		**sables broyés à 100 µm**	

Eprouvette	10 x 10 cm	100 cm²	hauteur	3.7 cm	Vitesse de cisaillement	1000	µm/min



		boite n°	1	2	3	4
		charge en N	1284.3	794.3	304.3	
	déplacement en mm	0.2	0.290	0.217	0.100	
		0.4	0.362	0.263	0.127	
		0.6	0.417	0.299	0.145	
		0.8	0.453	0.326	0.154	
		1.0	0.489	0.344	0.163	
		1.2	0.525	0.371	0.181	
		1.4	0.562	0.390	0.190	
		1.6	0.598	0.408	0.199	
		1.8	0.625	0.417	0.208	
		2.0	0.652	0.435	0.217	
		2.5	0.716	0.471	0.236	
		3.0	0.770	0.498	0.245	
		3.5	0.815	0.516	0.254	
		4.0	0.851	0.544	0.272	
		4.5	0.879	0.562	0.281	
		5.0	0.906	0.571	0.290	
contrainte normale		en kPa	128.4	79.4	30.4	
effort de cisaillement		en Newton	905.9	570.7	289.9	
contrainte de cisaillement		en kPa	90.6	57.1	29.0	
W% avant saturation			27.4	27.4	27.6	
W% après saturation et contrainte			27.7	27.9	28.4	
densité humide avant contrainte		en g/cm³	1.89	1.89	1.90	
densité sèche avant contrainte		en g/cm³	1.48	1.49	1.49	
densité sèche après contrainte		en g/cm³	1.56	1.55	1.53	



Fraction essai cisaillement :	0/8
angle	32.2°
cohésion en kPa	9.0

Observations :

* : élément fourni par le demandeur

Opérateur : E. Lemarchand

Ce procès Verbal d'essai est une "mission d'investigations géotechniques", prestation "essais en laboratoire" au sens des § 6.1.5 et 6.2.2 de la norme française NF P 94-500 : Missions d'ingénierie géotechnique de Décembre 2006. Cette prestation ne comprend pas d'étude ni de conseil, l'exploitation de ce compte rendu factuel devra être réalisée par l'auteur du programme d'investigations, désigné par le client dans le cadre d'une mission distincte. L'utilisation des données doit nécessairement faire référence au présent P.V. d'essai.

GÉOTECHNIQUE SAS
Siège social : 8 rue du Traité de Rome
site AGROPARC - BP 51224
84911 AVIGNON Cedex 09 - ☎ 04 90 01 39 02

GEOtechnique sciences de la terre sas
PROVENCE - ALPES - COTE-D'AZUR
Siren 538 776 899 RCS AVIGNON

LABORATOIRE C.E.C.M. - St Claude
05380 CHATEAUROUX LES ALPES
☎ 04 92 43 47 29 - 🖷 04 92 43 62 37
tethys.cecm@orange.fr

Annexe 12

Note d'étude géotechnique : Construction des parcs à résidus ultimes décyanurés n°2 à 4

Source : MINES & Avenir

Remire-Montjoly,
le 09 Octobre 2014

à **la SOCIETE MINIERE DE YAOU-DORLIN**
Z.I. du Dégrad des Cannes
97354 REMIRE-MONTJOLY
à l'attention de M. Didier TAMAGNO

N/Réf. : RP-973/1073/04
COURRIER

OBJET : Avis géotechnique complémentaire en vue la construction de bassins de retenue des résidus ultimes à l'issue de l'usine de cyanuration, site minier de Yaou, commune de MARIPASOULA .

Nous avons été questionnés sur les aspects techniques relatifs à la réutilisation des bassins de retenue des résidus sableux de l'usine gravimétrique en service jusqu'ici comme bassins de stockage des résidus décyanurés ; bien que cet aspect n'ait pas été abordé dans notre rapport d'étude, qui concernait différents autres sites de stockage voisins, voici quelques éléments de réflexion sur cette question.

Cette note est basée sur les documents graphiques F20 et F22 transmis par GEOPLUS ENVIRONNEMENT.

Tout d'abord une question sons doute naïve mais le terme de « lixiviats » pour les eaux des bassins de drainance des casiers de résidus ne risque t il pas de porter à confusion avec les produits liquides issus de la cyanuration à l'usine ?

La conservation des digues existantes :

Digue D2 :
Il sera dans tous les cas possible de **réutiliser la digue D2** (bassin Lauvernier), dont la hauteur avoisine 15m et qui a fait l'objet d'attentions régulières lors des dernières phases de sa construction.
Il serait toutefois dommage d'utiliser cette digue comme ouvrage de rétention des eaux car elle serait surdimensionnée et pourrait trouver son rôle dans la rétention des sables. Le plus grand soin sera amené lors de la purge des sables afin d'éviter de la dégrader sur son coté amont.

138, PAE du Dégrad des Cannes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél : 05 94 30 37 79 – Fax : 05 94 29 06 61
Mobiles : 06 07 05 74 70 06 94 00 23 13 roc2@wanadoo.fr idmtethys@yahoo.com
SARL au capital de 10.000€ RCF Cayenne 537 834 442 NAF 7112B

Un écran graveleux drainant sera mis en place entre le talus amont de la digue D2 et les résidus ultimes afin d'en assurer le bon drainage.
L'étanchéité de la digue D2 demeure incertaine à son pied et se trouve actuellement assurée sans doute par les dépôts de boues qui seront curés ; la mise en place d'une clé d'étanchéité au pied aval de la digue, avec ancrage jusqu'au substratum saprolitique, sera donc ici nécessaire.

Digue D1 :

Cette digue devra assurer l'étanchéité coté amont du bassin de résidus et il est difficile d'admettre qu'elle soit étanche aujourd'hui, ayant été sans doute construits en gagnant sur les sables lors de leur surélévation. Il conviendra donc ici de mettre en place une digue étanche entre fosse B et le bassin à créer, avec un emplacement situé dans la zone la plus étroite du bassin ; sa profondeur devra être déterminée et il conviendra d'abaisser le niveau des eaux de la fosse B lors de ces travaux pour éviter le retour des eaux de la fosse B vers les bassins.
Ainsi, la tenue de l'ouvrage existant lors de la purge des sables des bassins n'est pas assurée, avec risque de retour des eaux depuis le bassin de la fosse B ; en effet, la comparaison avec le plan topo de 2007 montre une élévation d'au moins 5m depuis cette époque et qui se trouve susceptible d'avoisiner 10m par rapport à la topographie initiale.
Il convient donc ici de réfléchir à une vidange partielle des eaux de la fosse B avant la purge des bassins et la création des digues ; la digue D1 du plan devra alors être conçue à la fois avec un rôle d'étanchéité et de rétention des résidus coté bassin, mais aussi de rétention des eaux du bassin d'eaux claires n°1de l'autre coté de cette digue, avec a priori une emprise importante.

L'emplacement de la digue D1 du plan F22 risque de se trouver trop proche de la fosse B avec une très forte épaisseur de matériaux médiocres (boues déversées sous eau ..) pour y fonder la digue, ce point demeurant à éclaircir.

Digues D1' et D1" :
Il ne semble guère y avoir d'intérêt à conserver **les digues D1' et D1"**, sans doute construites en gagnant sur les sables lors de leur surélévation et qui ne pourront dés lors plus jouer un rôle de digue étanche et il apparaît ainsi sur le projet qu'elles seront sera remplacée par des digues perméable.
Une question : la digue D1" semble sur le plan devoir être remplacée par une digue perméable ; est exact ? Et dans ce cas, pourquoi mettre un masque graveleux drainant sur sa face amont ?
On pourra en effet ici de conserver cet ouvrage sans rôle d'étanchéité avec mise en place d'un écran graveleux de drainage sur sa face amont, mais dans tous les cas il se posera des questions aiguës sur le « bassin de lixiviats » n°2.

Les bassins de rétention des « lixiviats » :

Si je comprends bien, le bassin de lixiviat n°2 serait un bassin provisoire, en attendant le fonctionnement du bassin de lixiviat n°3, avec un phasage des travaux de l'amont vers l'aval ? ?

Ce bassin N°2 pose un problème de drainage gravitaire, car si l'on estime que le fond du bassin en amont de D1" se situe en dessous de cette côte, soit environ 10m sous la surface topographique actuelle.

Ainsi, il serait intéressant d'examiner la question de la suppression de ce « bassin de lixiviat » n°1 pour dés le début des travaux mettre en service le bassin n°2.

Cet aspect conduira alors nécessairement à un travail de purge des résidus s'effectuant de l'aval vers l'amont.

Nous conseillons donc ici la création d'un **unique bassin étanche de retenue des eaux** issues du dispositif de drainage des bassins de résidus qui sera mis en place en aval de la digue Lauvernier,(« bassin de lixiviat » n°2) a priori plutôt en rive droite (Ouest) car, outre sa proximité de l'usine pour le pompage de ses eaux, il ne comportera pas de bassin versant important en contre-haut comme en rive gauche. Il sera installé sur le terrain naturel saprolitique, et la topographie paraît la aussi mieux adaptée coté Ouest, le côté Est pouvant également être retenu mais avec, nous semble t il, plus de contraintes.

Sa cote sera la plus basse possible pour drainer le fond des bassins et il conviendra sans doute de remblayer le fond du bassin Lauvernier avec des argiles compactées pour gagner la dénivelée nécessaire (2m ?) et avoir la pente permettant le drainage gravitaire.

Néanmoins, il s'agit là d'un travail important et l'on pourra aussi examiner la possibilité de mettre en place un bassin avec étanchéité rapportée qui sera creusé en déblai dans le flat en contrebas, quitte à le réaliser sous le niveau de base hydrostatique (nécessité d'une membrane étanche lestée) de façon à conserver son alimentation gravitaire et à éviter ce remblaiement du fond des bassins.

La réutilisation des bassins après curage :

Il convient d'**éviter le site de la fosse B** au Nord de l'usine gravimétrique, dont la profondeur nous est inconnue et qui représente un point bas rempli d'eau dont le drainage gravitaire n'est pas envisageable ; de plus, ce site se localise immédiatement au pied d'un glissement de terrain actif et il y a tout intérêt à le conserver comme bassin d'eau claire pour la future usine gravimétrique.

Une fois la clef d'étanchéité mise en place au pied amont de la digue D2 en aval et une digue étanche D1 mise en place en amont, on pourra considérer que cet ensemble représente un bassin étanche convenable et on pourra créer des casiers avec masque graveleux comme ceux déjà décrits par ailleurs dans notre rapport d'étude.

L'organisation générale du site consistera ainsi à assurer un drainage gravitaire de l'ensemble des fonds de bassin pour les collecter dans un seul bassin de retenue d'eau de faible volume à l'aval hydraulique du dispositif ainsi que cela été prévu sur les autres bassins de stockage.

Pour que **le dispositif de drainage gravitaire** fonctionne, il conviendra après purge des sables d'installer un système de drainage gravitaire en fond de bassin et on devra ainsi a priori purger d'abord le bassin Lauvernier, de façon à installer ce dispositif de drainage, puis purger les bassins de sables en remontant vers le Nord.

Remarques :

Attention, dans le document F22, **l'usine gravimétrique** (et non « gravitaire ») se situe dans une large zone de glissement actif et ne peut être installée sur ce site.

Le bassin de stockage des résidus en aval de l'usine gravimétrique : il serait judicieux ici d'avoir le point de déversement des résidus en partie aval depuis la digue à créer, de façon à ce que la zone mouillée ne baigne que les talus de saprolites et non la digue et de façon à permettre des surélévations successives de cette digue par remblaiement sur les sables du bassin. Par ailleurs, le site a été très perturbé et je crains que la fondation de ma digue soit difficile à établir, son emprise se situant au droit d'une fosse remblayée (ma connaissance de l'exploitation comporte une lacune pour cette époque) et ce point nécessite des éclaircissements.

En conclusion :

Il apparaît donc que l'opération sera complexe et devra être menée avec réflexion poussée quand au dimensionnement des ouvrages et au phasage des travaux.
Nous conseillons ici la réalisation d'un bassin étanche global divisé en casiers successifs limités par des digues perméables selon le projet fourni et selon les principes déjà définis dans notre rapport d'étude.
La question de la suppression du « bassin de lixiviat » n°1 devra être examinée pour dés le début des travaux mettre en service le bassin n°2 ; cet aspect conduira alors nécessairement à un travail de purge des résidus s'effectuant de l'aval vers l'amont mais si possible avec un remplissage des casiers du bassin s'effectuant de l'amont vers l'aval pour des questions de drainage gravitaire.

Bonne réception

Le Géologue

Pierre ROSTAN

Annexe 13

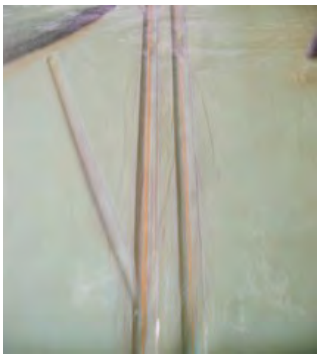
Principes de construction, gestion et surveillance des ouvrages de retenue des eaux et des résidus

Source : THETHYS

TETHYS

Ingénierie Géotechnique

Études et Reconnaissances du Sous-sol



RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

PRINCIPES DE CONSTRUCTION, GESTION ET SURVEILLANCE DES OUVRAGES DE RETENUE DES EAUX ET DE RÉSIDUS

SITES MINIERS PRIMAIRES DE GUYANE FRANÇAISE.

AUPLATA S.A. et COMPAGNIE MINIERE ESPERANCE	
Réf. : PR-973/10351/03	OCTOBRE 2010

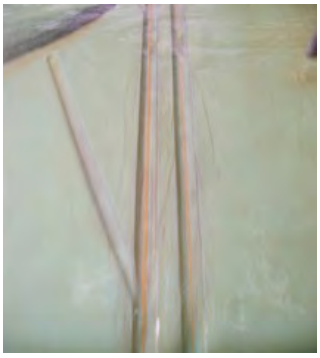
GROUPE TETHYS

Saint-Claude - 05380 Châteauroux-les-Alpes - Tél. : **04 92 43 40 12** - Fax : 04 92 43 62 37 - tethys.geologie@orange.fr
MICROPOLIS - Bât. IC5 - 05000 Gap - Tél. : **04 92 53 49 98** - Fax : 04 92 53 21 81 - beg.tethys007@orange.fr
SARL CECM Aménagement au capital de 22 867 € - TVA intracommunautaire FR 77 350 811 709 - SIRET 00012 - NAF 7112 B

TETHYS

Ingénierie Géotechnique

Études et Reconnaissances du Sous-sol



Châteauroux les Alpes,
le 5 Janvier 20112

RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

Nos Réf. : PR-973/910352/03

SITUATION :

Établissement des principes de bonne construction, de bonne gestion et de surveillance des ouvrages de retenue des eaux et de résidus sur les sites miniers primaires en Guyane française.

OBJET :

Avis géotechnique sur les travaux réalisés à la suite de ; nos devis réf PR-973/10351/01 et 02 du 29/12/2011, vos commandes du 04/01/2012.

DEMANDEUR :

M. Pierre GIBERT, AUPLATA S.A., Dégrad des Cannes, 97354 REMIRE-MONTJOLY et M. Alexandre CAILLEAU, COMPAGNIE MINIERE ESPERANCE, Z.A. Terca, Route du Larivot, 97351 MATOURY.

GROUPE TETHYS
Saint-Claude - 05380 Châteauroux-les-Alpes - Tél. : **04 92 43 40 12** - Fax : 04 92 43 62 37 - tethys.geologie@orange.fr
MICROPOLIS - Bât. IC5 - 05000 Gap - Tél. : **04 92 53 49 98** - Fax : 04 92 53 21 81 - beg.tethys007@orange.fr
SARL CECM Aménagement au capital de 22 867 € - TVA intracommunautaire FR 77 350 811 709 - SIRET 00012 - NAF 7112 B

Le développement des gisements aurifères primaires, annoncé dés la fin du 19ème siècle, semble enfin devoir intervenir en Guyane française après plus d'un siècle de tentatives diverses auxquelles la nature des gisements comme les moyens d'exploitation ne laissaient dans l'ensemble que peu de chances de succès.
Cette nouvelle génération de travaux miniers s'accompagne de la construction de bassins de retenue de résidus issus des laveries ou de bassins de retenue des eaux de procédé qui sont des ouvrages comportant souvent de forts enjeux, avec outre des risques techniques, environnementaux et humains évidents, ceux d'un arrêt de production avec des ouvrages souvent réalisés dans des conditions difficiles liées à la météorologie, aux moyens disponibles et une variété très limitée des ressources locales en matériaux de remblais.
Toutefois, l'expérience montre que la sinistralité de ces ouvrages reste faible et résulte en général de défauts de construction plutôt que de leur sous- dimensionnement et l'on n'observe ainsi que façon exceptionnelle des ruptures sous la poussée des eaux ou des matériaux soutenus, même si les coefficients de sécurité des digues, lorsqu'elles ont été réalisées de façon empirique, apparaissent souvent insuffisants.
Ainsi, si les ruines d'ouvrage sont rares, l'expérience montre que celles-ci résultent non pas d'erreurs de dimensionnement mais plutôt des conséquences de malfaçons initialement peu importantes, voire de la conjonction de plusieurs désordres mineurs.
L'importance de la problématique des digues minières doit par ailleurs s'analyser, outre les aspects évidents liés à la sécurité des personnes, en termes économiques et être ainsi mise en regard du cout d'un éventuel arrêt de production si l'alimentation en eau claire devait faire défaut à la laverie.
Bien que chaque ouvrage soit un cas d'espèce qui nécessite une adaptation rigoureuse au site et aux matériaux disponibles à travers la réalisation des nécessaires études géotechniques, nous examinons ci-après les principales règles de bonne exécution des digues en remblais avec leurs principes de construction et de surveillance adaptés à la réalité du contexte amazonien, notamment à l'éloignement, aux moyens d'exécution sur place ou encore aux habitudes de travail ....

Ce travail synthétise ici le retour d'expérience après plus d'une trentaine d'inventions sur les différentes retenues et digues en terre des principaux sites miniers primaires de Guyane.

DOCUMENTS CONSULTES

Gestion des résidus et stériles des activités minières janvier 2009. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles. Commission Européenne.

Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations. Guide pratique à l'usage des propriétaires te des gestionnaires. MERIAUX M., ROYET P., FOLTON C. 2004. CEMAGREF Éditions.

Digues de barranques et de lagunes d'exploitations minières. BARRAS A. 2010. Rapport d'expertise BRGM/RP-58778-FR.

??????????????????????????????,

I.PRINCIPES DE CONCEPTION DES OUVRAGES

I.1. - La conception des ouvrages

I.1.1.Éléments généraux :

Les ouvrages étudiés ici représentent les ouvrages nécessaires au fonctionnement des laveries de traitement du minerai aurifère et consistent ainsi essentiellement dans des bassins de stockage par décantation des résidus issus de la laverie et des bassins de stockage d'eau pour son fonctionnement. Le flow-sheet des eaux de procédé s'effectuant en système fermé, le bassin de stockage des résidus représente également un premier bassin de décantation des eaux de procédé avec écoulement gravitaire vers un second bassin à rôle de décantation secondaire et de reprise des eaux claires par relevage vers la laverie.

L'ensemble des éléments de la conception et la construction des digues dans l'industrie minière va nécessiter tout d'abord la prise en compte des objectifs de l'exploitant en termes de volumes confrontés à la réalité des différents aspects techniques des sites (topographie, hydrographie, géologie, géotechnique, etc..) acquis notamment par les reconnaissances géologiques et géotechniques réalisées sur le site ; il s'agit également d'éviter, en les anticipant, toute modification ou évolution des digues de retenue dans l'avenir qui pourrait s'accompagner d'un arrêt de fonctionnement de l'usine de traitement.
Nous conseillons aussi d'éviter dans la mesure du possible la construction de digues qui soient amenées à demeurer sans remplissage durant de longues périodes, offrant ainsi inutilement de grandes surfaces à l'altération et à l'érosion météorique.
Il convient de plus de gérer **le paradoxe des digues tropicales**, c'est à dire la construction de retenues d'eau avec un matériau sensible qui voit ses caractéristique mécaniques se dégrader rapidement en présence d'eau.
Ainsi, il convient d'une façon générale de concevoir les ouvrages de façon à ce que ceux-ci, comportent un minimum de linéaire de digue à construire en choisissant un site à la topographie favorable (dépressions naturelles, resserrement de crique, etc...) et également d'éviter que les pieds aval de digue se trouvent baignés par un autre bassin, par une retenue naturelle, une crique, etc...

I.1.2.Implantation :

Outre les aspects d'ordre strictement topographique examinés ci-dessus, il con vient de retenir un bassin versant en amont aussi faible que possible et si possible une implantation en tête de versant avec, à défaut, la création de fossés de colature périphériques de façon à éviter ou maîtriser les apports parasites météoriques.

La stabilité naturelle du site doit également être appréhendée de façon à s'assurer de l'absence de mouvement de terrain déclaré (risque de réception de matériaux dans la retenue) et la question de la stabilité d'ensemble des berges et talus mouillés en pied par le bassin projeté doit également être examinée, cet aspect prenant surtout son importance pour les retenues d'eau claire.
De plus, il convient également de s'interroger sur les enjeux en aval ; si il n'y a en général pas de secteurs aménagés ou habités en aval de ces ouvrages miniers, nous conseillons dans la mesure du possible d'éviter l'implantation des bassins d'eau claire en amont d'autres bassins (risque de rupture en cascade, nécessité de retenir des évacuateurs de crues dimensionnés en conséquence, cf.§I.1.7), des installations techniques et a fortiori une base-vie et à défaut de retenir un soin tout particulier dans leur construction et leur surveillance.

I.1.3.Les bassins d'eau claire :

Tout d'abord pour des questions de contraintes techniques et administratives réglementaires, nous conseillons d'éviter pour des retenues d'eau les ouvrages de classe A selon le décret du 11/12/2007 (hauteur supérieure ou égale à 20m).
Un bassin de stockage des eaux claires (décantation secondaire) doit autant que possible comporter une géométrie définitive dés sa mise en service avec un remplissage complet car une augmentation de sa capacité avec rehaussement de digue s'avère en général une opération très délicate, et ne peut être réalisée qu'avec un élargissement sur sa face aval.
Il convient donc tout d'abord pour ce type de bassin de concevoir le projet et la hauteur de digue en fonction de la capacité de stockage nécessaire mais aussi des évolutions futures prévisibles de cette capacité, afin d'éviter toute intervention future sur la digue, systématiquement délicate sur le plan technique si elle n'a pas été prévue dés sa conception.

I.1.4.Les bassins de stockage des résidus :

Par contre, le stockage des résidus de la laverie, sables et boues, nécessite une capacité évolutive de l'ouvrage au fur et à mesure des apports de l'usine et donc une construction par étape avec des rehaussements successifs.
Il est alors possible d'examiner sous certaines conditions la construction de digues de faible hauteur avec des rehaussements successifs, la solution la plus économique étant la réalisation de remblais décalés vers l'intérieur du bassin et reposant en partie sur les résidus, pourvus que ceux-ci ne soient pas saturés en eau ; ce type de réalisation permet de plus de limiter sensiblement la consommation d'espace.

Le principe de conception des digues de retenue des résidus sera aussi de maintenir les eaux le plus loin possible des ouvrages en remblais avec un pont de déversement des résidus, si possible évolutif et situé depuis les bords de digues de façon à créer en permanence un point haut topographique avec une banquette de résidus plus grossiers et

éloigner les résidus fins et la décantation primaire de l'eau qui se situera alors contre les berges et talus naturels ; cette disposition permet ici d'éviter de créer des instabilités sur les corps de digues construits en matériaux sensibles à l'eau.

I.1.5. Géométrie des corps de digue

D'une façon générale et à titre de prédimensionnement des ouvrages, il convient pour les talus de remblais des digues en matériaux argileux de ne pas excéder des pentes de 2/1 coté amont et 3/2 coté aval, avec la création de risbermes intermédiaires à partir de 6 m de hauteur avec une largeur en tête de 4 à 5 m au minimum, nécessaire pour la stabilité comme pour les interventions d'engins ; la hauteur de digue au dessus du fil d'eau (« revanche ») ne doit nulle part être inférieure à 1m. Ces éléments doivent bien entendu être adaptés dans le détail à la réalité de chaque ouvrage et de ses conditions spécifiques (environnement naturel, rôle de l'ouvrage, fonctionnement, ..).

La géométrie précise des digues fait l'objet de calculs informatiques, en général à l'aide du logiciel TALREN, à partir des caractéristiques des matériaux de remblais déterminées par les essais en laboratoire (cf.§??) ; ces calculs permettent de préciser le coefficient de sécurité des talus et donc leur stabilité à la rupture en fonction des poussées à reprendre, de la présence d'eau dans le corps de digue, ...

I.1.6. Étanchéité :

La bonne étanchéité naturelle des sites est en général acquise avec quelques adaptations (purges sous fondations, ancrages latéraux, etc..) examinées plus loin et la disponibilité en matériaux de remblai suffisamment argileux permettent habituellement la construction de digues imperméables après s'être assuré de leur faible perméabilité par de essais en laboratoire, en général sur échantillons compactés
Nous conseillons ainsi d'éviter les dispositifs d'étanchéité rapportés (géomembranes, etc..) qui exigent beaucoup de soin pour leur mise en œuvre et pour assurer leur pérennité et n'apparaissent ni nécessaires ni adaptés aux conditions des sites étudiés.

I.1.7. Vidange de fond - Évacuateur de crues :

La mise en place d'une **vidange de fond** est un élément nécessaire afin de permettre l'abaissement du niveau pour entretien ou bien dans une situation d'urgence ; un dispositif évolutif avec tuyaux métalliques en « L » mis en place à la construction et traversant le corps de digue à sa base pour sa partie horizontale permet d'évacuer les eaux en régime normal (bassin en aval, ..) et d'assurer les besoins de décantation ; la partie verticale affleurant le fil d'eau du bassin joue un rôle de limitateur de débit tout en assurant l'écrémage et l'évacuation d'eaux peu ou pas turbides.

L'**évacuateur de crue** est un ouvrage indispensable à tous les bassins de retenue qui se

trouve destiné à permettre de gérer un événement pluvieux exceptionnel avec le passage d'une lame d'eau non habituelle sans désordres sur la digue ; cet ouvrage, indépendant de la vidange de fond, consiste en un chenal ouvert creusé en bordure de digue et dimensionné en fonction de débits d'eaux pluviales collectés par le bassin versant ; cet aspect doit tenir compte des modifications éventuelles futures de ce bassin versant, en particulier si des déboisements (ouverture de piste, de chantiers, etc.) doivent y être réalisés dans l'avenir. L'évacuateur doit nécessairement être creusé dans le terrain naturel et comporter un ouvrage de dissipation d'énergie en aval pour éviter toute érosion du terrain ou du corps de digue : blocs rocheux, troncs d'arbres, poursuite du chenal suffisante pour éviter toute interaction avec la digue, etc..

I.2. LES RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES PREALABLES

Les reconnaissances géologiques et géotechniques ont ici pour but d'apprécier les conditions techniques du sous-sol et de définir l'adaptation des ouvrages projetés à la réalité de leur sous-sol dans le cadre de missions G12 , selon la norme NFP 94-500 puis le cas échéant de définir plus précisément les ouvrages géotechniques dans le cadre d'une mission G2.
Le but des reconnaissances géologiques et géotechniques devra être ici de :
–s'assurer de la stabilité du site et de son aptitude générale à recevoir le projet (analyse de surface) ;
–déterminer les conditions de fondations des ouvrages : épaisseur de matériaux médiocres à purger, profondeur du substratum étanche (sondages au pénétromètre et à la pelle mécanique) ;
–s'assurer des conditions d'ancrage latéral (étanchéité, résistance mécanique, ...) ;
–rechercher le cas échéant un site d'emprunt (sondages à la pelle mécanique) ;
–examiner l'aptitude des matériaux de l'emprunt pressenti à être mis en remblai avec leurs conditions de mise en œuvre.

Parmi l'arsenal des moyens de reconnaissances géotechniques, le **pénétromètre dynamique** paraît être le moyen le mieux adapté au contexte par sa facilité de transport et de mise en place tout en restant économique. Il permet de réaliser une coupe mécanique du terrain quais continue ce qui est particulièrement adapté à la reconnaissance d'ouvrages existants en permettant de déceler des défauts de compactage, parfois sur de très faible épaisseurs, susceptibles d'être à l'origine de désordres ; cette méthodologie non destructive permet aussi en phase de reconnaissance préalable de préciser les épaisseurs de matériaux médiocres à purger sous fondation.
La **pelle mécanique** fait partie des moyens systématiquement disponibles sur place et permet la réalisation de sondages et de prélèvement d'échantillons, avec la nécessité de prendre soin aux risques de remaniements du sol par les sondages.
Il s'y ajoute les **méthodes géophysiques électriques ou sismiques**, non destructives et qui

permettent des investigations rapides sur de forts linéaires ainsi que dans les sites sensibles ou non accessibles aux engins mécaniques ; la détermination de la résistivité également la recherche ciblée et la visualisation de zones saturées en eau par des fuites dans une digue.

L'intérêt des **essais en laboratoire** résidera principalement dans l'identification des matériaux destinés à la construction des ouvrages un fois le site d'emprunt retenu (cf.§ I.3) ; ils consisteront dans leur identification GTR (norme NFP ??), et dans la détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux retenus pour la construction des remblais du corps de digue à l'aide d'essais de cisaillement à la boite de Casagrande ou d'essais triaxiaux (détermination de l'angle de frottement interne et de la cohésion des matériaux), bien que souvent les caractéristiques retenues soient celles issues de l'expérience.

La réalisation d'essais Proctor (essai Proctor normal réalisé dans un moule Proctor modifié pour des questions de granulométrie du matériaux, norme NPFP ??) accompagné d'essais de comportements avec poinçonnements CBR va permettre de préciser les conditions de mise en œuvre des matériaux de construction des digues (principes de compactage, teneur en eau, objectifs de densité lors du compactage, ..) ; il s'y ajoutera la réalisation d'essais de perméabilité sur échantillons compactés au perméamètre (en général exécutés sur un moule Proctor) de façon à vérifier l'étanchéité des corps de digues réalisés avec ces matériaux et qui sera nécessairement inférieure à 10^{-7} m.s.

I.3. LES MATERIAUX ET LE SITE D'EMPRUNT

I.3.1. Les emprunts

La construction des ouvrages en terre va s'effectuer en exploitant au mieux les ressources géologiques disponibles sur le site minier afin bien évidement d'éviter tout apport extérieur, autant pour des raisons environnementales qu'économiques . Ces matériaux sont en général issus d'emprunt très proches et il convient d'éviter la mise en œuvre des résidus eux-mêmes, en général trop perméables, sans ou quasiment sans cohésion, hétérogènes et au comportement difficile à gérer, ces aspects étant appréhendés à travers les essais en laboratoire.
Si les questions relatives à l'étanchéité du matériau de remblai sont en général résolues rapidement avec les ressources locales, la mise en place de matériaux trop graveleux (latérites, alluvions, ..) ou insuffisamment compactés conduira à l'apparition de fuites d'eau ; il convient à cet égard de veiller à une grande vigilance quant aux éventuelles évolutions de l'emprunt avec son creusement, en particulier vis à vis la possibilité d'y rencontrer des éléments plus graveleux avec la profondeur.
Bien entendu, si il est intéressant que l'emprunt soit proche du site, il convient que celui-ci soit suffisamment éloigné pour ne pas interférer avec la digue, notamment pour ne pas conduire à une surlongueur des digues notamment en cas de surélévation.

Une solution intéressante sur les plans techniques et économiques peut résider, si les matériaux sont adaptés, dans la réalisation d'un emprunt à l'intérieur même du bassin, en

prenant soin de ne pas créer de talus trop raides ou susceptibles d'être déstabilisés lorsqu'ils seront baignés par les eaux.
Bien entendu, dans tous les cas les matériaux pour la construction de la digue doivent être exempts de tout débris végétaux ou présentant un caractère évolutif.

I.3.2. Les matériaux

Malgré de fortes divergences dans le détail, ces ressources en matériaux sont dans l'ensemble peu variées d'un site à l'autre et l'on peut ainsi distinguer :

- Les saprolites

Les saprolites sableuses issues de l'altération des diorites représentent de bons matériaux de remblai imperméables, en général de catégorie GTR A1 et B1, mais très sensibles à l'eau et notamment sensibles aux conditions météorologiques de mise en œuvre et leur mise en place sous l'eau n'est pas envisageable.
En effet, d'une façon générale, il convient d'insister sur le fait que les matériaux sont très sensibles à l'eau et voient leurs caractéristiques mécaniques se dégrader rapidement avec leur saturation ; de plus, certains produis argileux issus de la décomposition de schistes et volcanites des formations du Paramacca sont apparus fortement gonflants, à l'inverse des produits issus de l'altération des granites et des gneiss.
Il s'agit de sol difficiles à mettre en œuvre pour des teneurs en eau élevées (faible portance, matelassage) ce qui conduit à éviter a priori la saison des pluies pour la construction des digues.
Dans les conditions tropicales (forte évaporation), on retiendra la mise en place en couches peu épaisses (0,40 m au plus à la mise en œuvre) avec un compactage moyen à intense.
L'utilisation en remblais de sols de catégorie A est adaptée pour des hauteurs de digues jusqu'à 10 m environ et doit faire l'objet de beaucoup de soin et d'attention au delà, avec des adaptations de la géométrie du corps de digue (redans,...) ou des renforcements du matériau ; ils nécessitent, une étude géotechnique spécifique pour chaque cas particulier de digues de fortes hauteurs afin d'en justifier la stabilité et l'adaptation aux conditions géologiques locales.
Les saprolites moins évoluées, tendant vers le terme « saprock », représenteront également évidemment des matériaux bien adaptés à la construction des digues.

- Le saprock : en général issu du marinage des zones profondes des fosses et carrières, ce matériaux perméable (catégorie GTR R??) ne peut participer à l'étanchéité des corps de digue mais constitue un remblai frottant de bonnes caractéristiques mécaniques qui peut verni en renfort et épaulements sur le cotés extérieurs des ouvrages, en couverture anti-érosion, en remblai drainant, etc..

- Les formations latéritiques : inaptes à la construction des corps de digues car trop

perméables, il s'agit dans tous les cas de matériaux précieux qu'il convient stocker lors de décapages car leurs utilisations possibles sont multiples en raison de leur bonnes caractéristiques mécaniques, mais il est également nécessaire de distinguer les différents types de matériaux, avec les argiles graveleuses latéritiques et les cuirasses susceptibles de fournir des blocs d'enrochement. On pourra utiliser ce formations comme couverture anti-érosion, remblai drainant (masques, éperons , .;) après vérification de leur perméabilité (pas de fraction fine développée), corps de remblais frottants

- Les alluvions graveleuses lavées par l'orpaillage

- Les quartz filoniens

- Les résidus de la laverie

Ces matériaux le plus souvent à dominante sableuse ont des caractéristiques mécaniques moyennes et ne sont pas imperméables une fois mis en remblais. Il s'agit de sols de portance faible, souvent à tendance thixotropique et sensibles à leur teneur en eau, à l'érosion et aux conditions météorologiques de mise en œuvre ; ils sont le siège de tassements sous charge de forte amplitude mais très rapidement achevés après chargement.

Nous déconseillons ici leur mise en œuvre dans les corps de digue et aucun ouvrage ne sera donc construit ici avec ces matériaux.

II.LA CONSTRUCTION DES DIGUES

II.1.La fondation :

La fondation des digues est un point essentiel qui permet d'éviter les fuites sous l'ouvrage ainsi que sa déformation par tassement sous charge du sol ; il convient donc en premier lieu de s'assurer de l'étanchéité du sol de fondation et de ses caractéristiques mécaniques et, le cas échéant, de procéder à une purge des matériaux médiocres (limons, terre végétale, débris végétaux, matériaux remaniés, tranche d'altération poussée du substratum, ...) ou des alluvions perméables lavées par l'orpaillage ancien sous l'emprise de la digue. Ces aspects conduisent systématiquement à la création d'une clé d'étanchéité sous la digue, ancrée dans le sol imperméable en place, et à l'accroissement de l'ancrage latéral des remblais de fondation dans les versants ; des épaisseurs de matériaux médiocres trop élevées sous l'emprise de l'ouvrage conduiront à des risques de fuite et de tassements avec fissures et vont nécessiter une substitution et/ou un clouage des fonds de forme par des matériaux graveleux résistants.
Ces points nécessitent la réalisation d'un suivi ou d'un contrôle géotechnique (mission G4) afin de s'assurer que ces points cruciaux se trouvent bien maîtrisés et de s'adapter aux variations locales dans la nature des matériaux du sous-sol.
Un défaut d'ancrage conduit fréquemment à l'apparition de fuites par contournement latéral au contact remblai-terrain naturel ou par circulations d'eau sous digue à travers le terrain naturel, toujours difficiles à traiter.

Enfin, la mise en place de semelles drainantes en matériaux perméables sous la partie aval de l'ouvrage, au toit du terrain naturel en place et en sous-face des remblais, permet aussi de maîtriser les fuites éventuelles et de maintenir sèche et stable la partie aval du corps de digue assurant un rôle de massif poids, déterminant pour le calcul de stabilité des ouvrages.

II.2.Le corps de remblai

La construction du corps de remblai est souvent soumise à de fortes contraintes météorologiques avec de rapides variations de teneur en eau des matériaux et donc des difficultés de compactage et les travaux doivent ainsi de préférence être réalisés durant la saison sèche. La mise en remblai doit s'effectuer dans de bonnes conditions de teneur en eau par couches peu épaisses avec un objectif de 0,40m au plus après compactage et avec au minimum 4 passes (1 passe = 1 aller-retour) du compacteur.
Il est nécessaire ici de réaliser un contrôle des résultats du compactage à l'avancement avec la réalisation d'une planche d'essai au démarrage du chantier permettant d'optimiser ces aspects, de valider le nombre de passes du compacteur et d'éviter des surcompactages qui, outre les aspects financiers, peuvent conduire à une perte de serrage du matériau.
technique des allées
Ce type de démarche permet, à travers un suivi géotechnique du démarrage des chantiers,

de s'adapter à la réalité des conditions de mise en œuvre c'est à dire aux matériel disponible sur place pour la construction des digues, aux conditions météorologiques du moment ou à la réalité du comportement du matériau.
Cette planche d'essai va consister en la mise en place d'une couche de matériaux avec mesures de ses caractéristiques après chaque passage du compacteur à l'aide soit du pénétromètre dynamique soit d'un scissométre léger ou encore de mesures de densité par pesage d'échantillons de volume connu (prélèvement par un carottier court battu à la masse) ; on considérera que le compactage maximal est obtenu lorsqu'il n'apparaît plus de gain sur les mesures après chaque passage du compacteur.

Le compactage s'effectue à l'aide d'un compacteur adapté, mais en l'absence d'un tel engin sur le site engin, le compactage peut être réalisé à l'aide d'un engin lourd à chenilles mais avec des largeurs du corps de digue permettant d'assurer le serrage de la totalité du corps de remblai par le passage de l'engin.

Dans tous les cas, la bordure des couches se trouve peu ou pas compactée et se trouve être par la suite le siège d'un fluage superficiel que l'on peut éviter par la création d'une surlargeur dans la section de la digue qui se trouve ensuite purgée par un peignage avec le godet d'une pelle jusqu'à la partie correctement compactée.

II.3. Protection des digues contre l'érosion

Les talus issus de la construction des digues vont représenter des surfaces très sensibles à l'érosion par les eaux pluviales ou par la circulation des eaux dans le bassin.

- La gestion des eaux météoriques et de ruissellement

La forte sensibilité à l'érosion des matériaux de remblais argileux et l'intensité des épisodes pluvieux conduisent à retenir les principes généraux suivants :

- éviter de concentrer les eaux en un point et au contraire disperser les eaux au maximum sur les surfaces de talus ;

- donner des pentes déversantes homogènes aux surfaces de collecte (sommet des digues) de façon à éviter de concentrer les écoulements pluviaux et conduire à la création de micro-canyons d'érosion ;

- éviter la création de touts points bas non drainés en tête de digue ou sur les redans ainsi que de bourrelets faisant obstacle au ruissellement ou bien alors ceux-ci devront comporter des brèches régulières ;

- donner par surépaisseur des pentes élevées aux talus de remblais et de déblais, de l'ordre de 1/1 au moins, afin d'en réduire la sensibilité à l'érosion par le ruissellement ;

- donner aux sommets de digues des pentes déversantes vers le talus de moindre hauteur, c'est à dire en général vers l'intérieur du bassin, car il s'agira également des talus les moins sensibles à l'érosion.
- création de dispositifs simples pour faciliter la végétalisation sur les talus définitif de digues ou sur les talus provisoires de digues évolutifs pour faire face à des problèmes d'érosion active. On mettra ainsi en place sur les zones sensibles des arbres et arbustes coupés et des branches disposées en andains selon des lignes horizontales sur les talus et retenus par des piquets en bois plantés dans la digue. De mise en place simple et économique, ces andains composés de lits de branches peuvent atteindre ainsi quelques décimètres de hauteur et freiner les phénomènes érosifs en retenant les terres tout en facilitant la végétalisation des talus ;

- les zones soumises à l'érosion pluviale pourront également recevoir un masque superficiel en matériaux graveleux ; la mise en place d'une couverture graveleuse, latérites ou alluvions lavées des criques, sera bienvenue et facilitera de plus la végétalisation spontanée des talus et crêtes de digues ;

- création de fossés de colature de part et d'autre des digues permettant d'éviter aux eaux de ruissellement des berges ou des voies de se déverser sur la digue et ses talus ; une surélévation de la crête de digue par rapport aux fonds voisins de part et d'autre permet de rejeter ces eaux vers de s fossés qui vont les accompagner jusqu'en pied de talus ;

- enfin, d'une façon générale, l'ensemble des talus de remblai des digues devra être systématiquement végétalisé dans les meilleurs délais.

➢ La gestion des eaux de procédé

Il sera intéressant d'essayer de concevoir des ouvrages de rétention des rejets de laverie évitant toute circulation d'eau en pied intérieur des digues afin d'éviter leur érosion et leur infiltration dans les corps de digue, avec, par la maîtrise du point de rejet des sables, la création d'un point bas contre le terrain naturel ou bien en ramenant des sables contre la tête de digue, de façon à écarter suffisamment (2 m minimum) ces circulations du pied de digue.

III.PATHOLOGIE DES DIGUES EN TERRE - TRAITEMENT DES DÉSORDRES

Si nous avons souligné plus haut la faible sinistralité relative des ouvrages étudiés, ceux-ci comportent néanmoins fréquemment des défauts d'exécution, souvent mineurs par eux-mêmes mais susceptibles par leur évolution de conduire plus ou moins rapidement à la remise en cause de la stabilité des ouvrages voire à leur ruine partielle totale.
Ainsi, d'une façon générale, nous n'avons jamais rencontré en Guyane de désordres liés directement à la poussée des matériaux soutenus (eau, résidus de laverie) qui ne paraît ainsi pas être une source de sinistralité majeure en l'état des connaissances malgré un dimensionnement souvent empirique.
Les phénomènes significatifs d'une évolution du comportement de l'ouvrage consistent en des déformations du remblai (tassement en crête, gonflement des talus, apparition de fissures, ...) ainsi que de fuites d'eau s'effectuant à travers le corps de remblai ou à son pied.
L'étude du traitement de ces désordres relève d'une mission G 5 selon la classification des misions géotechniques normalisée NFP 94-500.

III.1.LES FUITES :

III.1.1.Origine des désordres :

Les fuites des bassins peuvent résulter :

- de défauts d'étanchéité du sol de fondation, avec un ancrage insuffisant et une purge insuffisante : cas de la présence d'anciennes barranques sous les digues, d'alluvions sablo-graveleuses anciennement lavées par l'orpaillage, etc..

- d'un contournement latéral de la digue par suite d'une trop forte perméabilité du terrain naturel ou d'une fracture de ce terrain, cas peu fréquent, et d'un défaut d'ancrage latéral de la digue dans le terrain naturel ;
- de défauts d'étanchéité de la digue, par suite de la mise en œuvre de matériaux trop perméables (digues en sables, digue en matériaux trop graveleux : marinage de carrière, latérite, saprock, ..), cet aspect incitant à un grand soin dans le choix de l'emprunt et dans le contrôle des matériaux qui en sont issus ; ils peuvent concerner l'ensemble de l'ouvrage ou seulement une partie, avec par exemple une couche trop graveleuse, ou bien l'absence de décapage des horizons superficiels remblayés lors d'une surélévation d'ouvrage. De tels défaut d'étanchéité sont ainsi fréquents lors de la surélévation d'une digue existante au niveau du « raccord » avec la digue ancienne ;
- d'un défaut de compactage, concernant en général un horizon d'épaisseur limitée qui induit une ligne de fuites à travers le corps de digue ;

- d'un défaut d'étanchéité le long des conduites de vidange, le compactage du corps de digue autour de la conduite étant souvent difficile ;
- et enfin, cas peu fréquent mais aux conséquences possiblement catastrophiques, de fuites à travers des fissures du corps de digues consécutives à un défaut de comportement mécanique de l'ouvrage (tassement, rupture, etc..).

Leur diagnostic s'effectue à travers leur localisation et l'allure des venues d'eau, le suivi de leur débit dans le temps (évolutif ou non), les variations de débit avec les variations du fil d'eau du bassin, les phénomènes de renards (eau en charge avec emport de particules fines), accompagnées ou non de désordres mécaniques de la digue.
Il convient également de s'interroger si il peut s'agir de venues d'eaux normales s'effectuant à travers les dispositifs de drainage de la digue ou à travers sa semelle drainante.

Ce diagnostic sera établi par une analyse visuelle de surface mais aussi par sondages au pénétromètre ou par géophysique électrique pour préciser la cote des circulations d'eau ou encore les caractéristiques mécaniques des niveaux fuyards (niveau plus médiocre, insuffisamment compacté ou saturé en eau, etc..) ; la mesure des caractéristiques physico-chimiques simples des eaux fuyardes (température, conductivité, etc..) permet également d'en préciser l'origine et les vitesses de transfert à travers le corps de digue.
Cette analyse permet de préciser l'origine des fuites, d'en apprécier l'impact sur la stabilité de l'ouvrage et donc d'en définir les modes de traitement.

III.1.2.Le traitement des fuites

Le traitement des fuites sera fonction d'une part de leur incidence sur le comportement de la digue, qui se trouvera appréciée à travers le diagnostic géotechnique des désordres, et d'autre part sur la possibilité d'interrompre les circulations d'eau à travers les corps de digues, qui se trouve fonction de la profondeur des circulations.
Deux types de traitement sont ainsi envisageables avec :

- si les désordres demeurent sans incidence sur la stabilité d'ensemble de la digue avec des circulations d'eau dans le corps de digue trop profondes pour être interceptées et/ou nécessitant un traitement (imbibition du corps de digue, risques de fluage ou de dégradation des matériaux, etc..) la maîtrise en surface des eaux fuyardes par des dispositifs drainants (masques ou éperons drainants en matériaux graveleux) qui vont le plus souvent venir en substitution des matériaux dégradés par les fuites ; ces masques pourront ainsi être réalisés en matériaux graveleux grossiers avec un angle de frottement interne élevé et une forte perméabilité, type blocs de quartz, cuirasse latéritique, produits de marinage rocheux, saprock peu évolués, etc.. Cette démarche nécessite dans tous les cas un accompagnement des eaux ainsi captées sur la digue pour éviter qu'elles ne se réinfiltrent ou érodent le corps de digue ;
- si les circulations d'eau dans le corps de digue apparaissent suffisamment peu profondes (quelques mètres), leur maîtrise pourra être assurée par la réalisation d'une reconstruction partielle de la digue ou d'une clé d'étanchéité en matériaux argileux soigneusement compactés, voire d'un renfort de la digue en aval, ces deux méthodes pouvant être réalisées conjointement.

– La clé d'étanchéité permet d'éviter la déconstruction de la digue fuyarde en réalisant une tranchée centrale jusqu'à une profondeur de -1m au delà du niveau de l'horizon fuyard sur une largeur voisine de celle du compacteur ; cette trachée est ensuite remblayée et compactée par couches de 0,40m au plus par des matériaux argileux étanches jusqu'à son sommet.

III.2. LES DESORDRES MECANIQUES DES CORPS DE DIGUE

Outre les désordres relatifs aux ouvrages fuyards, de nombreuses digues sont le siège de désordres par suite de défauts de construction parmi lesquels on observe :

– des tassements du corps de digue, avec déformations (affaissements, fissures en tête, etc..) consécutifs à des défauts de compactage, en particulier par suite de déversements en masse sur des ouvrages à surélever ou de couches trop épaisses pour permettre un compactage autre que superficiel. Il est particulièrement intéressant d'observer que ces ruptures des corps de digues, a priori d'aspect inquiétant, sont souvent suivies d'une reconsolidation du remblai avec apparition d'une cohésion résiduelle non négligeable permettant par la suite un comportement convenable de l'ouvrage qui doit rester sous surveillance !

– des ruptures du corps de remblai, consécutives à de forts tassements de la digue (défaut de fondation, remblai reposant sur des vases, etc..) ou par suite de diminution des caractéristiques mécaniques de la digue par des circulations d'eau parasites (fuites, défaut de maîtrise des eaux pluviales, etc;.) ;

  Le traitement de ces désordres peut, après diagnostic géotechnique de leur origine, nécessiter diverses interventions allant de la purge partielle avec reconstruction partielle de la digue jusqu'au renforcement de l'ouvrage par un remblai d'épaulement en aval.

IV.LE SUIVI DES OUVRAGES DANS LE TEMPS

IV.1.Généralités

La surveillance des ouvrages a pour objectif de déceler au plus tôt toute évolution des corps de remblais, le cout de réparation des désordres évoluant toujours de façon exponentielle avec le temps et leur aggravation ; divers moyens s simples peuvent être mis en œuvre depuis la surveillance visuelle de l'état de surface (morphologie, suintements, fissures, débits de fuites, ..), le suivi d'alignements de repères solidaires de la digue, la mise en place de piézomètres pour suivre les niveaux d'eau dans le corps de digue ou encore « inclinomètres » rustiques, etc.., leur efficacité résidant dans le caractère périodique et régulier des opérations.
Ainsi, l'ensemble de ces considérations amenées dans le respect de la réalité des moyens accessibles aux exploitants (ressources locales naturelles et techniques mais aussi humaines) doit permettre une exploitation pérenne de ces ouvrages miniers dans des conditions techniques et environnementales optimales ; leur impact économique doit être mis en face, outre l'optimisation des couts de construction (carburants, heures d'engins, ..), de celui des remises en état ou de la reconstruction des ouvrages et apparaissent dans tous les cas négligeables en regard des pertes de production possibles.

IV.2.Entretien et surveillance des ouvrages :

IV.2.1.Inspection visuelle :

L'inspection visuelle est ainsi considérée comme la partie majeure de la surveillance des barrages ; il convient ici de prévoir une surveillance régulière de l'état des digues avec visites des zones suspectes éventuelles (zones fuyardes, zones comportant des fissures, etc..) afin de prévenir toute évolution par une intervention suffisamment précoce si celle-ci devient nécessaire.
Cette surveillance doit avoir un rythme de visite modulé en fonction du type de désordres et de leurs caractères évolutifs éventuels, une évolution nette devant déclencher son traitement en priorité, car dans ce type de désordre tout délai se traduit de façon systématique et exponentielle par des surcouts de traitement.

Enfin, pour des digues de hauteur importante (>10m), un suivi topographique pourra être mis en place ; on pourra envisager par exemple la mise en place de barres métalliques verticales scellées au mortier ou au coulis de ciment dans des forages peu profonds (2 à 3 m) à usage de repères topographiques rigoureusement alignés selon un axe parallèle à la digue et permettant de déceler de façon immédiate toute évolution (contrôles de parfait alignement) ; ce scellement est destiné à solidariser le repère avec le corps de digue et à permettre de s'affranchir des mouvements superficiels intempestifs (dessiccation de surface, déstabilisation accidentelle,...).

La réalisation d'un suivi topographique, moins aisée de mise en œuvre, pourra également être examinée si les ouvrage le justifient, avec mise en place de repères fixes (bornes topographiques) sur les berges dans le terrain naturel en un point qui ne pourra pas être sujet à des terrassements ou d'une destruction dans l'avenir.

IV.2.2.Le suivi des fuites

Le contrôle visuel des zones de fuites avérées, des zones de suintements ou des zones humides sera nécessaire et devra être complété par des mesures de débits par empotage (temps de remplissage d'un récipient de volume connu) ou leur estimation si les débits sont faibles ou si le site ne permet pas d'effectuer de mesure.
Ce résultats devront être reportés dans un carnet permettant de suivre d'un seul coup d'œil l'évolution des débits.

IV.2.3.Suivi interne des corps de digue :

- Piézomètres :

La présence d'eau dans le corps de digue est un élément normal si il se trouve maîtrisé et ne connait pas d'évolution ni de variations et la mise en place de piézomètres dans les corps de digue sera bienvenue afin de contrôler la pression de l'eau dans l'ouvrage avec ses variations, en particulier pour les basins d'eau claire ; les niveaux d'eau dans ces piézomètres seront ainsi contrôlés régulièrement et consignés dans un cahier à cet effet avec la cote de référence de la mesure qui doit se référer à un repère marqué sur le tube de protection métallique du piézomètre et ce afin de permettre d'apprécier aussitôt toute évolution suspecte du niveau d'eau dans les ouvrages, cet aspect étant nécessaire ici pour les digues du bassin de rétention à construire. Là aussi, l'espacement de mesures sera fonction des enjeux et des évolutions constatées.

Il s'agira ici de la pose de piézomètres ouverts, réalisés par forage ou par battage au pénétromètre, protégés en tête de la circulation des engins et des infiltrations d'eaux parasites ; ils recevront ainsi une cimentation périphérique en tête et un capot métallique scellé au sol. La réalisation de la mesure des niveaux piézométrique nécessitera la disponibilité sur place d'une sonde électrique de niveau d'eau.

Attention, les piézomètres ne doivent pas recouper les semelles drainantes en sous-face des remblais, au risque de se trouver drainés par le fond des forages et n'avoir plus de signification.

- Inclinomètres :

Si la pose d'inclinomètres classiques dans des forages n'est pas adaptée au contexte de la forêt amazonienne car leur contrôle, outre son cout, nécessite des mesures à l'aide d'un appareillage spécifique, il est possible de mettre en place des « inclinométres à souris », si des doutes apparaissent sur la stabilité d'un ouvrage.

Il s'agit de mettre en place dans un forage tubé en PVC , réalisé par forage ou battage au pénétromètre dynamique lourd, un tube coulissant creux et lesté (béton, ..) haut de 20 cm environ et relié à la surface par une câblette ; libre circulation de ce tube lesté dans le tube de forage atteste de l'absence de mouvement, et son coincement éventuel indiquera la cote d'un possible mouvement cisaillant.

IV.2.4.Entretien

Parmi les mesures d'entretien régulières, on retiendra le comblement systématique des micro-canyons d'érosion pluviales par des produits argileux compactés, le rebouchage systématique de la fissuration sur les têtes de digues afin d'y éviter les infiltrations d'eaux et le comblement de toute dépression pouvant conduire à des stagnations et infiltrations d'eaux.

IV.2.5.Procédures d'alerte

V.CONCLUSIONS

Les éléments de cette étude pourront être examinés lors d'une réunion de travail téléphonique avec les intervenants technique de cette affaire.

Le Géotechnicien

P. ROSTAN

Le Géotechnicien se tient à la disposition du demandeur pour toutes précisions complémentaires sur la présente étude.

Annexe 14

Rapport d'étude géotechnique : Construction d'une usine modulaire de concentration d'or. Site minier de Yaou

Source : THETHYS

GEOLOGIE, GEOTECHNIQUE, MINES ET ENVIRONNEMENT

MINE & AVENIR

Ingénierie géologique géotechnique et minière

RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

CONSTRUCTION D'UNE USINE MODULAIRE DE CONCENTRATION D'OR

SITE MINIER DE YAOU

Commune de MARIPASOULA

SOCIETE MINIERE DE YAOU-DORLIN S.A.	
Réf. : RP-973/1077/02	Septembre 2014

IDM TETHYS

138, PAE du Dégrad des Cannes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél : 05 94 30 37 79 – Fax : 05 94 29 06 61
Mobiles : 06 07 05 74 70 06 94 00 23 13 roc2@wanadoo.fr idmtethys@yahoo.com
SARL au capital de 10.000€ RCF Cayenne 537 834 442 NAF 7112B

MINE & AVENIR
Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE, GEOTECHNIQUE, MINES ET ENVIRONNEMENT

Rémire-Montjoly,
le 15 Septembre 2014

RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Nos Réf. : RP-973/1077/02

SITUATION : Projet d'usine modulaire de concentration d'or (UMCO) par cyanuration des minerais, site minier de Yaou, commune de MARIPASOULA.

OBJET : Étude géotechnique préliminaire en vue de la construction d'une usine modulaire de concentration d'or par cyanuration des minerais ; notre devis réf. RP-973/1077/01 du 26/04/2014.

DEMANDEUR : M.Pierre GIBERT, directeur Technique, AUPLATA S.A., Dégrad des Cannes, 97354 REMIRE-MONTJOLY.

Documents fournis :

- plan topographique Lidar ;
- plan de masse de principe ;
- caractéristiques de l'usine projetée.

IDM TETHYS
138, PAE du Dégrad des Cannes 97354 REMIRE MONTJOLY Tél : 05 94 30 37 79 – Fax : 05 94 29 06 61
Mobiles : 06 07 05 74 70 06 94 00 23 13 roc2@wanadoo.fr idmtethys@yahoo.com
SARL au capital de 10.000€ RCF Cayenne 537 834 442 NAF 7112B

Sommaire

Table des matières

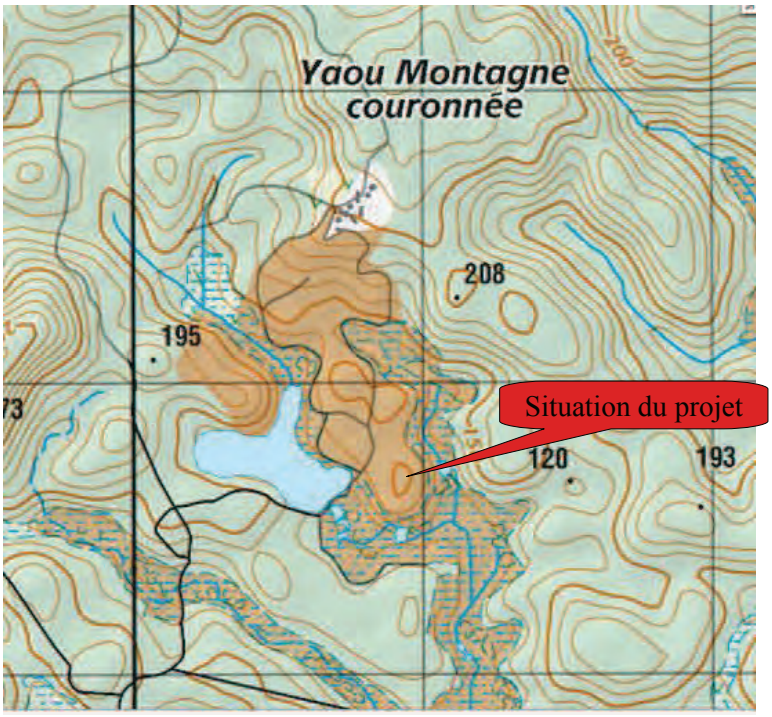
I. LE SITE - LE PROJET....4
II.PRINCIPE DE L'ÉTUDE....6
III.GÉOLOGIE DU SITE – RÉSULTATS DES SONDAGES....7
III.1.Cadre géologique général....7
III.2.Résultats des sondages....9
III.3.Conclusions....9
IV. HYDROGÉOLOGIE DU SITE....11
V.ESSAIS EN LABORATOIRE....12
V.1. Colluvions et saprolites ferralitisées marron :....12
V.2. Saprolites rosées....12
VI. GÉOTECHNIQUE....14
VI.1.Stabilité naturelle actuelle du site....14
VI.2.Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté....14
VI.2.1.Considération générales sur le sous-sol, le projet et les modes de fondations envisageables....14
VI.2.2.Implantation :....15
VI.2.3.Sol de fondation....15
VI.2.4.Profondeurs de fondation....16
VI.2.5.Mode de fondation....16
VI.2.6.Contrainte admissible....16
VI.2.7.Assise du niveau de base....16
VI.2.8.Tassements....17
VI.2.9.Terrassements....17
VI.2.10.Drainage....17

I. LE SITE - LE PROJET

Le terrain étudié est situé en partie Sud du site minier de Yaou, 300 m au Sud de l'usine gravimétrique actuelle au droit d'un relief collinaire situé entre la crique Yaou à l'Ouest et à l'Est la crique où sont établis les parcs à résidus et bassins de décantation des eaux actuels issus du traitement gravimétrique.

Localisé en sommet du relief collinaire, il comporte à l'Ouest et au Sud une pente douce avec une plate-forme terrassée pour des emprunts de matériaux saprolitiques destinés à la construction de la digue « Lauvernier » voisine ; le site se trouve limité au Nord par un talus en gradins dominant la plate-forme du parc à véhicules et à l'Est par un talus abrupt dominant les bassins de résidus actuels.

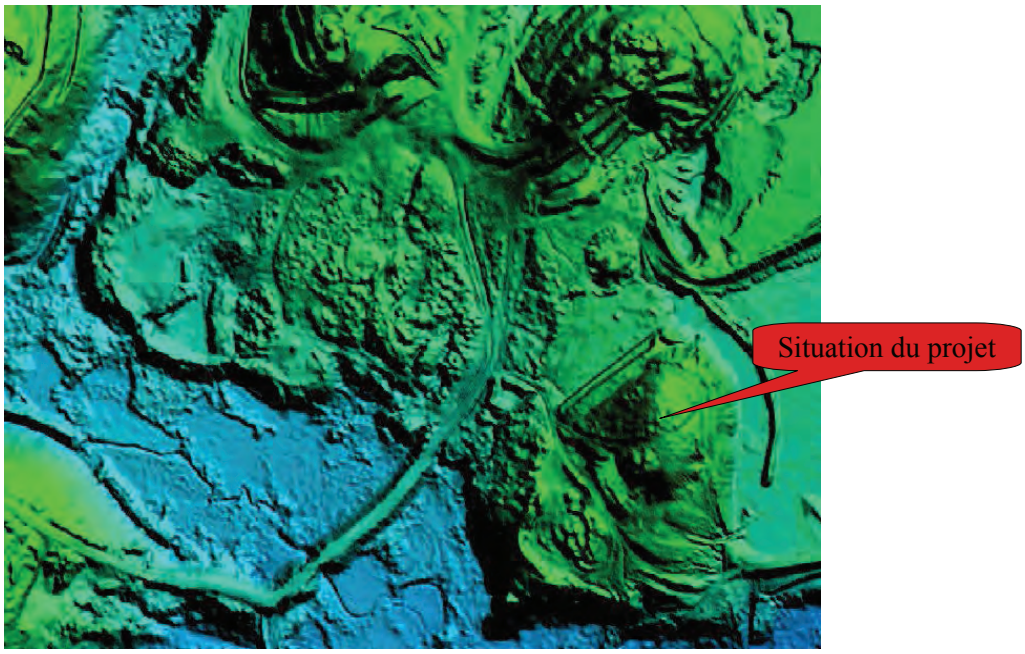
On y projette ainsi la construction d'une usine de cyanuration des minerais aurifères broyés et cyclonés avec une emprise de 52 x 19 m environ et une capacité de 300 t /jour, qui comportera notamment des broyeurs à boulets, une série de 7 cuves en acier de 5 à 10 m de diamètre environ, atteignant jusqu'à 6,5 m de hauteur et une partie avec un étage de bureaux ; il s'y ajoute un silo à minerai de 50 t et un petit bassin de 360 m^3 pour le recyclage des solutions à l'extérieur du bâtiment. L'emprise exacte et l'implantation du projet avec ses charges ne se trouvent toutefois pas encore définies avec précision à ce jour.



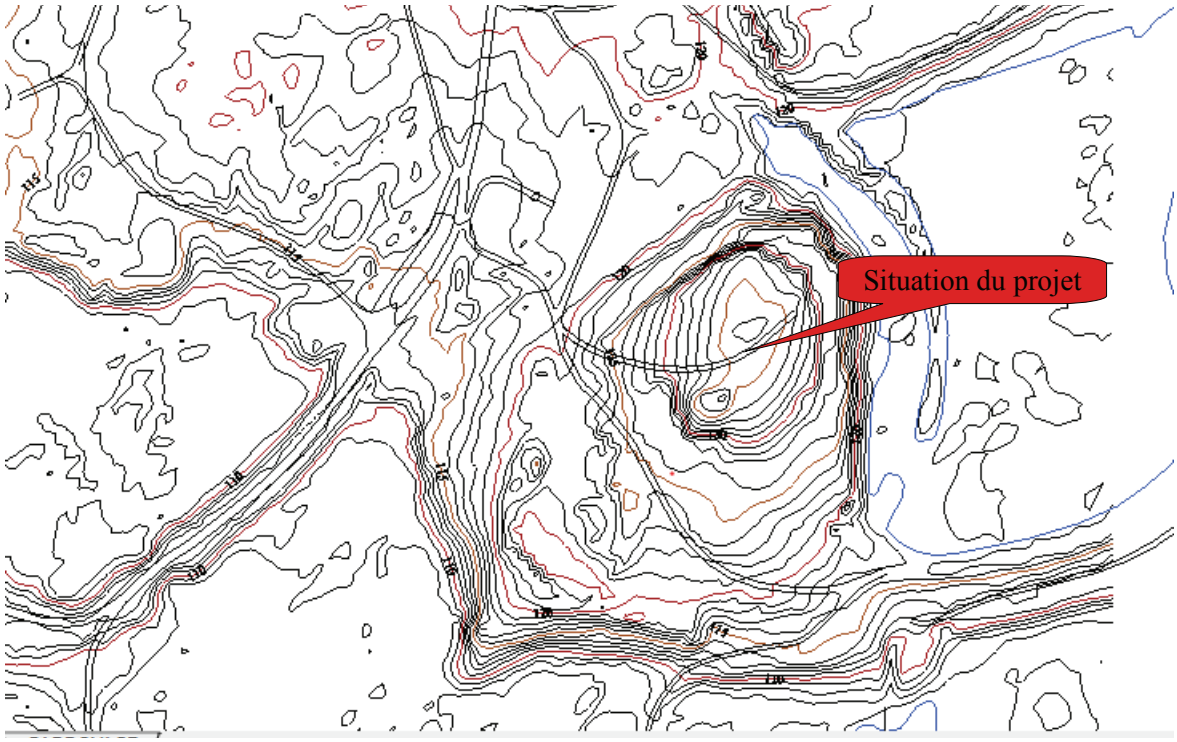
Localisation du projet.

L'objectif de cette étude préliminaire est ainsi de préciser les contraintes imposées par le site (morphologie sous-sol, etc..) au projet d'usine avec des conseils quand à son implantation et une première approche de ses conditions de fondation.

Cette étude devra nécessairement être complétée une fois le projet arrêté et les charges précisées, notamment vis à vis des calculs de tassement du sol sous la charge des cuves (missions G2, etc..).



Localisation du projet



II.PRINCIPE DE L'ÉTUDE

Il s'agit d'une *étude géotechnique préliminaire de site,* mission de type G1 suivant la norme de classification des missions géotechniques types (NF P 94–500 de Novembre 2013), visant à fournir les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté.

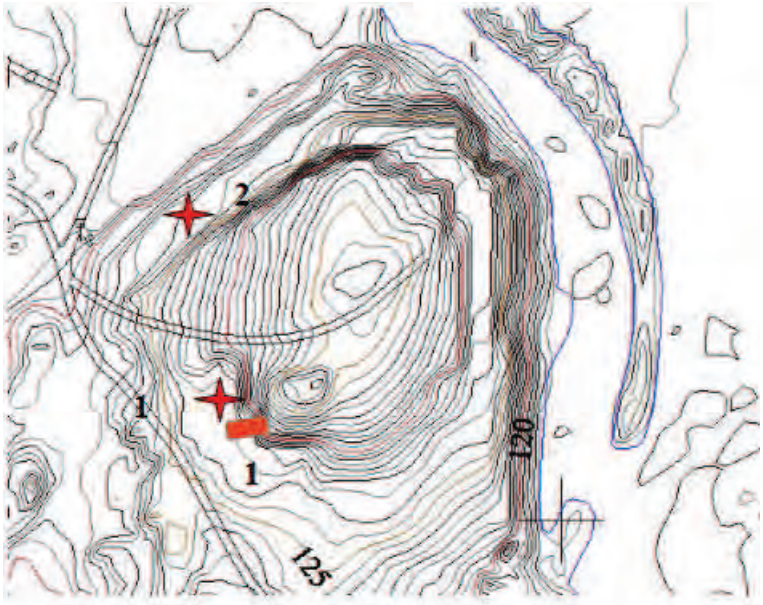
Il a ainsi été réalisé sur le site :

- une analyse géologique et géotechnique de surface avec une synthèse des données dont nous disposons sur le secteur ;

- une campagne de sondages à la pelle mécanique, à des fins de reconnaissance directe des matériaux du sous-sol et de recherche d'anomalies locales ; 1 sondage à - 4 m a ainsi été exécuté le 17/04/2014 ; des mesures au scissomètre léger et au pénétromètre de poche ont été réalisées sur les parois de ce sondage et sur les talus terrassés existants ;

- une campagne de sondages au pénétromètre (notés SP) dynamique léger (mouton de 10 daN, voir principe en annexe) afin de reconnaître la nature et la distribution des matériaux du sous-sol et d'approcher leurs principales caractéristiques mécaniques par la mesure de leur résistance dynamique de pointe (Rd) ; 2 sondages poussés quasiment au refus et totalisant 4 ml ont ainsi été exécutés le 19/04/2014.

Les profondeurs mentionnées dans la présente étude sont à rapporter à la surface topographique telle qu'existante lors de notre intervention, dénommée T.A., (terrain actuel).



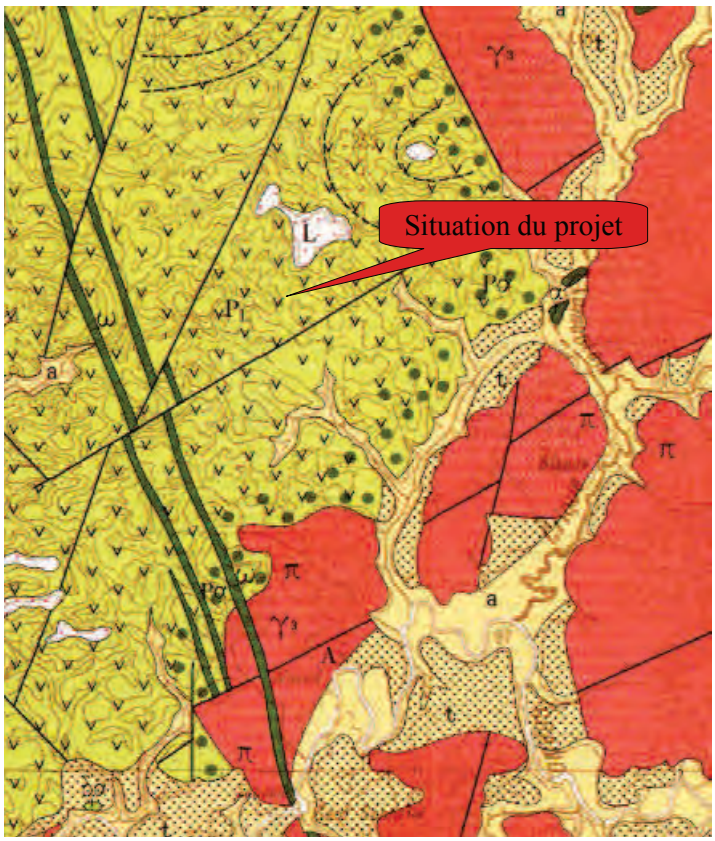
UMCO - Plan d'implantation des sondages

III.GÉOLOGIE DU SITE – RÉSULTATS DES SONDAGES

III.1.Cadre géologique général

D'après notre expérience du secteur, le sous-sol du site est occupé par un substratum rocheux appartenant aux séries volcano-sédimentaires du Paramaca composées ici principalement de schistes plus ou moins talqueux mais aussi de tufs, de coulées de laves, d'amphibolites, .. La minéralisation consiste en des imprégnations dans une intrusion complexe et fort étendue de microdiorite de développement variable mais aussi en des filons de quartz peu épais.

Les travaux en carrière permettent aujourd'hui d'intéressantes observations avec la présence locale de filons (Yaou Central) et la présence fréquente de schistes au toit des diorites minéralisées dont la schistosité épouse l'allure du contact schiste-diorites, cet aspect représentant un bon guide pour le suivi des travaux en carrière.



Extrait de la carte géologique au 1/100.000, feuille Inini.

Ces matériaux se trouvent ici puissamment altérés en saprolites sur de fortes épaisseurs, parfois jusqu'à une cinquantaine de mètres selon leur nature, et sont la plupart du temps masqués dans le secteur par des formations colluviales

superficielles avec des faciès légèrement ferralitisés sur les versants et une carapace latéritique sur certains sommets les plus élevés du secteur (plateau de la base-vie etc..).
De nombreux affleurements de saprolites existent sur le site qui se trouve en grande partie déjà décapé et terrassé . On n'y observe pas de couverture latéritique, absente ici, mais en surface une tranche colluviale marron clair légèrement ferralitisée épaisse de 2,5m à 3m au plus et qui repose sur des saprolites rosées plus plastiques ; ces matériaux ont été terrassés en plusieurs phases lors des différentes étapes de la construction de la digue Lauvernier.

Vue du site du projet depuis le Nord avec les gradins et es forts talus à l'est qui dominent les bassins de résidus.

On observe dans le détail des matériaux schisteux avec une schistosité subverticale orientée N 60 environ et très redressée, à peu prés parallèle au talus terrassé en partie Nord dans les gradins, mais qui semblent butter sur une faille en partie centrale au delà de laquelle ils font place vers l'Est de la colline à des matériaux d'allure perturbée et cisaillée. Il serait intéressant ici de vérifier au préalable si ces faciès cisaillés et mylonitiques ne se trouvent pas minéralisés.

III.2. Résultats des sondages

La présence de bons affleurements sur l'ensemble du site, avec notamment plusieurs coupes géologiques dans des terrassements anciens, a permis de limiter le nombre de sondages qui ont été destinés essentiellement à préciser les caractéristiques mécaniques des matériaux du sous-sol plus que leur géométrie.
Ainsi, les sondages ont rencontré depuis la surface :

- des colluvions limono-argileuses marron résistantes, plus ou moins ferralitisées et présentes seulement dans la zone centrale en relief et décapées partout ailleurs avec une épaisseur de 3,5 m à 4 m environ. Des essais en laboratoire ont été réalisés par ailleurs sur ces matériaux (étude géotechnique des digues des bassins de résidus ultimes) et leur identification GTR conduit à les classer dans la catégorie A1 à l'état hydrique « m ».
  Mesures au scissométre Cu = 130 kPa ; mesures au pénétromètre de poche : Rp = 0,5 MPa ;

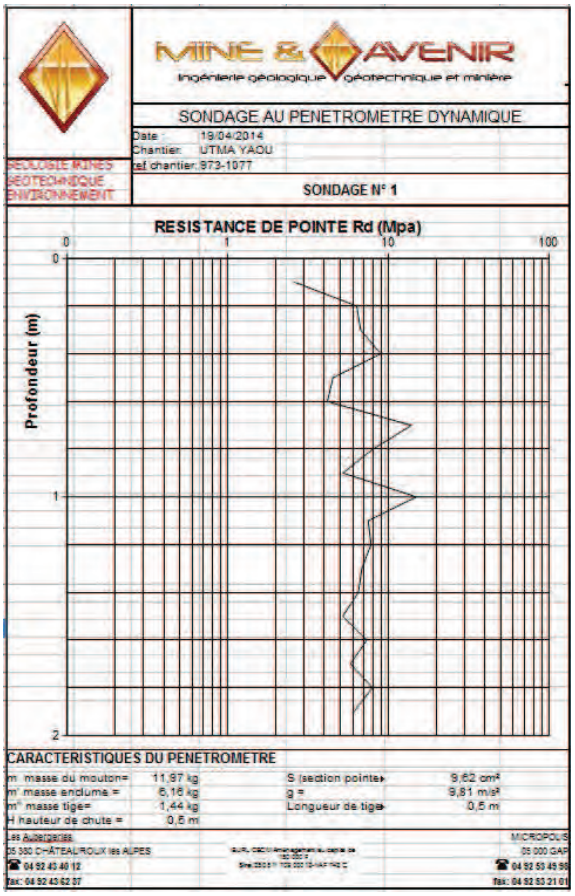
- au-delà et jusqu'à -5 m au moins, des termes saprolitiques d'altération du substratum de teinte rosée et plus tendres que les colluvions marron. Ces matériaux présentent une résistance moyenne sur les deux premiers mètres (résistance dynamique de pointe Rd = 2,5 à 3 MPa en moyenne) puis plus élevée (Rd = 7 à 10 MPa, SP1) ; des essais en laboratoire ont été réalisés sur ces matériaux et leur identification GTR conduit à les classer dans la catégorie A1 à l'état hydrique «m».
  Mesures au scissométre Cu = 100 à 130 kPa ; mesures au pénétromètre de poche : Rp = 0,4 à >0,5 MPa.

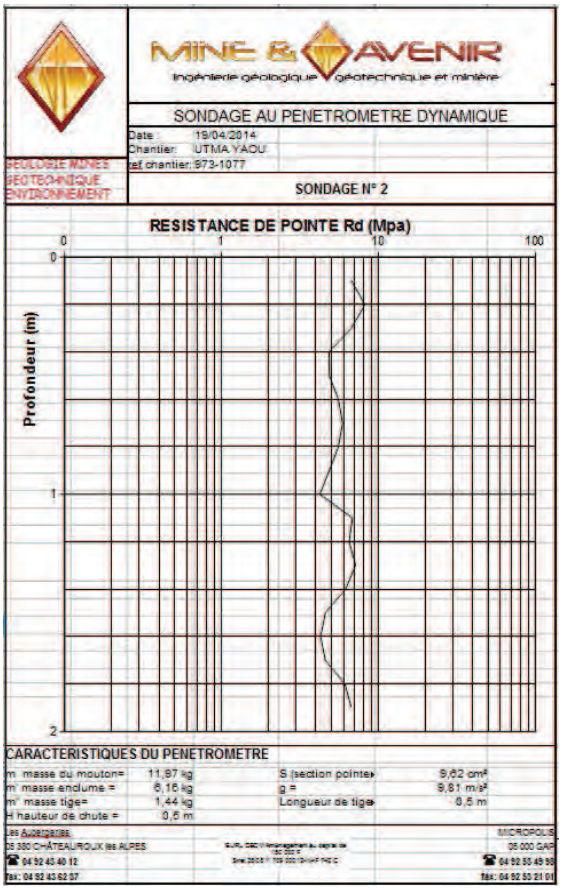
  On note en SP1 une légère augmentation de la résistance dynamique à partir de -1,6m, réalisé dans un secteur où plus de 4m de matériaux ont déjà été décapés, mais celle-ci ne montre ensuite aucune amélioration avec la profondeur.

Aucun refus de pénétration dynamique n'a été enregistré et le substratum rocheux résistant n'a manifestement pas été rencontré ;les saprolites schisteuses en partie Nord sont apparues très résistantes avec Rd = 10 MPa quasiment dés la surface (SP2), les tranches d'altération superficielles ici peu épaisses y ayant été décapées.

III.3. Conclusions

Le sous -sol du site est ainsi apparu plutôt homogène avec en surface un horizon résistant de colluvions marron, présent seulement sur la butte centrale et décapé partout ailleurs, reposant sur des saprolites moyennement résistantes très épaisses avec rapidement des schistes très résistants au moins sur la moitié Ouest de la colline.





Le sondage SPM1 ; vue de sa partie supérieure avec les horizons ferralitisés marron (à gauche) et de sa partie inférieure (à droite) avec les saprolites jaunâtres à rosées.

IV. HYDROGÉOLOGIE DU SITE

Les colluvions limoneuses comme les saprolites sous-jacentes sont des matériaux peu perméables et ainsi, tous points bas creusés dans ces matériaux seront de nature à favoriser les stagnations et maintenir l'humidité.

Toutefois, le site est situé sur un relief collinaire et les apports aquifères sont limités sensiblement à ceux de l'impluvium immédiat sans pentes en contrehaut et aucune venue d'eau pérenne n'est à redouter lors de la réalisation des terrassements généraux ou des fouilles.

Le drainage naturel du site est ainsi convenable mais assuré par ruissellement superficiel à la faveur des pentes topographiques.

Par ailleurs, aucune venue d'eau ou zone humide n'a été rencontrée en surface et tous nos sondages sont tous demeurés secs.

V.ESSAIS EN LABORATOIRE

Ces essais ont été réalisés par ailleurs pour préciser les modes de construction des digues de stockage des résidus de traitement issus de l'usine, mais à partir de matériaux prélevés sur le site de l'usine projetée et nous en rappelons ici les principaux résultats.

Les échantillons ont été prélevés au droit de la future usine de cyanuration, au droit du sondage SPM1 ; il s'agit de colluvions superficielles et de saprolites marron peu ferralitisées, qui représentent habituellement un bon matériau de remblais, et des saprolites jaunâtres à rosées sous-jacentes.

V.1. Colluvions et saprolites ferralitisées marron :

* *Identification GTR* :

- classe GTR **A1m**
- teneur en eau naturelle pour la fraction 0/20 W = 28 %
- valeur au bleu du sol : VBS = 0,78
- passant à 80 µm : 94,3 %
- passant à 50 mm sur échantillon : 100 %
- Diamètre maximum : D_{max} = 10 mm

* *Essai de cisaillement direct drainé sur échantillon remanié* :

- fraction utilisée pour l'essai : 0/8 mm remanié recompacté
- % de la fraction utilisée : 100 % du prélèvement
- angle de frottement interne drainé : φ' = 25,8°
- cohésion drainée : c' = 13,5 kPa
- densité sèche : d=1,76 pour l'échantillon saturé, d=1,36 pour l'échantillon sec non consolidé et d=1,41 pour l'échantillon sec consolidé.

* *Essai Proctor :*

- teneur en eau optimale wopt = 30,4%
- densité optimale dopt = 1,43 t/m^3

V.2. Saprolites rosées

* *Identification GTR* : classe GTR **A1 m**

- teneur en eau naturelle W = 31,1 % pour la fraction 0/20
- valeur au bleu du sol : VBS = 0,77
- passant à 80 µm : 80,4 %
- passant à 50 mm sur échantillon : 100 %
- Diamètre maximum : D_{max} = 31,5 mm sur prélèvement,

** Essai de cisaillement direct drainé sur échantillon remanié* :

- fraction utilisée pour l'essai : 0/8 mm remanié recompacté
- % de la fraction utilisée : 58 % du prélèvement
- angle de frottement interne drainé : φ' = 28,9°
- cohésion drainée : c' = 12,9 kPa
- densité sèche : d=1,87 pour l'échantillon saturé, d=1,42 pour l'échantillon sec non consolidé et d=1,45 pour l'échantillon sec consolidé

** Essai Proctor*

- indice portant immédiat : IPI = 0,6
- teneur en eau optimale wopt = 31,2%, soit **wopt = 29,3%** après correction
- densité optimale dopt = 1,46t/m^3, soit **dopt = 1,5** après correction.

VI. GÉOTECHNIQUE

VI.1.Stabilité naturelle actuelle du site

Le terrain étudié n'est pas le siège de désordres géotechniques graves ou actifs, de type mouvements de terrain ou autres, et sa stabilité naturelle apparaît très bonne bonne ; toutefois, il a été remanié par le passé et comporte de fortes pentes terrassées en parties Nord et Est.

On peut donc envisager la réalisation du projet sous réserve d'en réaliser une parfaite adaptation à la nature de son sous-sol et notamment à ses hétérogénéités consécutives à différents terrassements anciens comme à sa topographie.

VI.2.Principes généraux de construction des ouvrages géotechniques concernant le bâtiment projeté

VI.2.1. Considération générales sur le sous-sol, le projet et les modes de fondations envisageables.

Le site comporte ici différentes contraintes avec :

- des pentes fortes sur ses bordures, notamment au Nord et surtout à l'Est, qui imposent un fort recul d'avec les tête de pentes pour des questions de stabilité d'ensemble ou de détail des ouvrages ;
- une topographie fortement modelée par ces terrassements anciens, a priori ici entièrement en déblai ;
- des matériaux saprolitiques moyennement résistants et très sensibles à l'eau avec dégradation rapide de leurs caractéristiques mécaniques en présence d'eau.

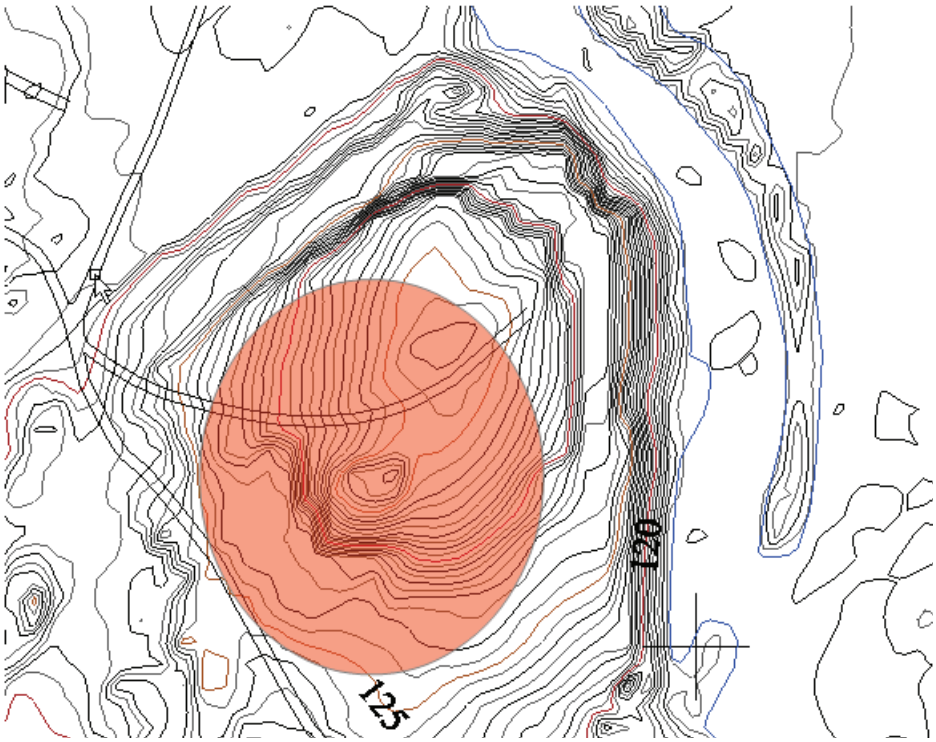
Toute implantation sur la butte centrale telle qu'existante actuellement conduirait à une emprise trop restreinte par suite des nécessaire recul par rapport aux fortes pentes voisines.

Nous conseillons donc ici de terrasser l'ensemble du site à la cote des plates-formes existantes, soit environ ici la côte +/-125, de façon à obtenir une plate-forme homogène représentée par les saprolites rosées et à s'affranchir des effets de pentes liés aux talus terrassés existants qui limitent le relief central.
Les produits issus de ce terrassement (principalement les colluvions marron et les saprolites ferralitisées) pourront être utilisés par ailleurs pour la construction de digues étanches.

VI.2.2.Implantation :

On respectera un recul d'avec les différents talus en aval, qui sera dimensionnant sur les cotés Nord et Est.

D'une façon générale on veillera à respecter partout une pente de 3/2 (3 à l'horizontale) entre la plate-forme du projet et tous points des saprolites en aval, terrassés ou masqués par des remblais.
Dans une première approche, la zone d'emprise possible pour le projet pourra être la suivante :



Zone d'implantation conseillée pour un terrassement à la cote +/-128.

VI.2.3.Sol de fondation

On pourra donc ici retenir des fondations superficielles reposant sur les saprolites moyennement résistantes en considérant que de toutes manières aucun horizon plus résistant n'apparaît ici avant des profondeurs importantes.
On veillera à traverser intégralement les zones remblayées ou altérées superficielles.

La nature du sol de fondation et la profondeur de fouilles réalisées devront faire le moment venu l'objet d'un contrôle par un géotechnicien (réalisation d'une mission G5).

VI.2.4.Profondeurs de fondation

Le sol de fondation retenu sera rencontré ici quasiment dés la surface sur l'ensemble de la zone d'emprise définie ci-dessus, mais il conviendra de vérifier cet aspect, notamment en partie Sud avec de possibles remaniements ponctuels passés inaperçus jusqu'ici.

D'une façon générale, on retiendra un encastrement de 0,40 m au minimum dans le sol de fondation et une profondeur de fondation d'au moins -0,50 m /plate-forme terrassée.

Par ailleurs, on veillera à respecter partout une pente d'au plus 3/2 (3 à l'horizontale) entre appuis décalés du projet (fosses, etc..) comme entre le plan de pose des fondations et tous points de la surface topographique en aval, cet aspect pouvant, selon l'implantation retenue, se révéler dimensionnant en raison des forts talus terrassés qui limitent le site ; on évitera ainsi les fondations voisines des crêtes de talus pour retenir (cf. § Implantation) une emprise du projet décalée vers l'Ouest du relief collinaire.

VI.2.5.Mode de fondation

On retiendra ici partout des fondations sur semelles filantes superficielles ou sur radier en fonction des nécessités de structures (cuves, ..) ; on évitera les appuis ponctuels chargés pour des questions de tassements sous charges comme d'altérabilité du sol.
Dans tous les cas, les fondations devront être coulées à pleine fouille jusqu'en surface dans des fouilles propres et sèches.
En cas d'altération des fonds de fouilles (pluie, …), on procédera à leur curage soigneux, éventuellement manuel, immédiatement avant coulage.

VI.2.6.Contrainte admissible

Pour des fondations superficielles sur semelles filantes reposant partout au sein des saprolites, on retiendra, d'après le DTU 13.2 et avec Rd = 4 MPa au minimum :
- une contrainte de calcul aux ELU :
  q = 0,2 MPa ;

- et une contrainte admissible aux ELS :
  qad = q/1,43 = 0,15 MPa.

VI.2.7.Assise du niveau de base

Le niveau de base du projet sera installé sur la plate-forme terrassée après compactage énergique ; on veillera à protéger intégralement les aménagements

par des toitures et à mettre en place un dallage sur hérisson (ou un le cas échéant un radier) dont l'assise sera soigneusement protégée des infiltrations d'eau.
On évitera toute circulation d'engin sur la plate-forme après son compactage, notamment pour le coulage des fondations, car il y a aura dés lors des risques élevés de cisaillement ou matelassage au droit des passages d'engins.

VI.2.8.Tassements

D'une façon générale, les tassements sous charges ne seront pas négligeables vu le caractère meuble des saprolites et l'hétérogénéité prévisible des charges (murs, cuves, etc...) mais cette question dépendra notamment de la cote de plate-forme (avec des sols de moins en moins compressibles avec la profondeur) et des volumes de déblai (préchargement naturel du sol avant mise en place du bâtiment) ; cet aspect devra être précisé en détail dans l'avenir une fois les charges connues, mais nous conseillons ici de retenir une structure souple et déformable de façon à s'affranchir des déformations du sol de fondation sous la charge de la construction. Les termes du sous-sol nous semblent toutefois a priori insuffisamment résistants pour retenir des fondations ponctuelles avec des charges concentrées et l'on retiendra si possible des charges réparties (radiers, semelles élargies, ..), cet aspect pouvant être révisé en fonction des cotes de plate-forme et de la réalité des charges imposées au sol.

Ces tassements seront longs à se réaliser vu le caractère peu perméable des matériaux du sous-sol et il conviendra d'analyser les risques d'entraînement des avoisinants internes au projet par les tassements des cuves les plus chargées, par la trémie à minerai, etc...

VI.2.9.Terrassements

Les terrassements généraux pourront être entièrement réalisés aux engins mécaniques classiques (pelle mécanique, …).

En phase de chantier, toutes les eaux de ruissellement devront être collectées sur le site avec mise en place de contre-pentes, fossés de colature, etc.. et nous insistons ici sur le caractère peu perméable des terrains en place qui conduira à des risques « d'effet de piscine » pour tout terrassement non drainé gravitairement, avec dégradation rapide des caractéristiques mécaniques des saprolites.

VI.2.10.Drainage

Toutes les eaux de ruissellement devront être collectées et la plate-forme de terrassement devra être drainée afin d'éviter les stagnations d'eau qui l'altéreraient.

Outre la collecte systématique des eaux recueillies par les surfaces imperméabilisées (toitures, …), le bâtiment recevra un drainage périphérique classique gravitaire avec un drain reposant sur une cunette coulée à pleine fouille au pied des murs ou à défaut avec un fossé ouvert périphérique. On veillera à maintenir partout des pentes éloignant les eaux météoriques de la construction.
Enfin, on évitera la création de tout point bas non drainé gravitairement ou bien ceux-ci devront impérativement être étanchés.

Remarque :
Un bassin de faible volume (360m^3) à rôle de stockage des eaux est prévu à extérieur du bâtiment : nous conseillons ici de terrasser ce bassin en déblai, éventuellement avec des parois étanchées par membranes, non pour des problèmes d'étanchéité a priori naturellement convenable, mais pour des questions de stabilité de ses talus constitués de matériaux sensibles à l'eau ; à défaut, on veillera à coucher les talus du bassin avec une pente de 3/1 au plus (3 à l'horizontale). Un tel bassin sera en effet de meilleure stabilité dans tous les cas qu'un bassin hors-sol entouré de digues.
On veillera à ce qu'il soit suffisamment éloigné du bâtiment projeté pour respecter une pente de 3/2 (3h/2v) entre le fond du bassin et le plan de pose des fondations de la construction et à ce qu'il soit également suffisamment éloigné des talus de déblais et pentes topographiques au voisinage.

****

Les éléments de cette étude pourront être examinés lors d'une réunion de travail avec les intervenants techniques de cette affaire.

Le Gérant

Pierre ROSTAN

Le Géologue se tient à la disposition du demandeur pour toutes précisions complémentaires sur la présente étude.

La présente mission G1 est à présent terminée et nous conseillons de respecter ici l'enchaînement des missions géotechniques (mission G2, ..) et en particulier en phase de chantier (mission G5) ; à défaut de mission complémentaire, toute pièce reçue sera considérée comme non lue.

DOCUMENTS CI-ANNEXES :

- classification et schéma d'enchaînement des missions géotechniques types (NF P 94-500) ;
- plan d'implantation des sondages ;
- principe du pénétromètre dynamique ;
- diagrammes des sondages au pénétromètre dynamique léger (2) ;
- log des sondages à la pelle mécanique (1).

DIFFUSION :

- AUPLATA S.A., M.Pierre GIBERT(3 exemplaires + pdf).

4.2.4 - Tableaux synthétiques

Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2)Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4)Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

PRINCIPE
DU PENETROMETRE DYNAMIQUE LEGER

Cette technique consiste à tester la qualité du sol en enfonçant une pointe dans le sol par un battage régulier.

Le battage est réalisé par un mouton de 11,95 kg tombant en chute libre de 50 cm de hauteur.
La pointe mesure 4,9 cm^2 de section.

La résistance dynamique (Rd) est calculée par la formule dite des Hollandais, qui pose comme étant des termes égaux l'énergie développée par le mouvement du mouton et la résistance que le terrain oppose à l'enfoncement de la pointe,
d'où :

$$Rd = \frac{M^2 . h}{e . (T + M)} . \frac{1}{\oslash}$$

où :

M : poids du mouton

T : poids des tiges

h : hauteur de chute

e : refus

$\oslash$: section de la pointe

MINE & AVENIR

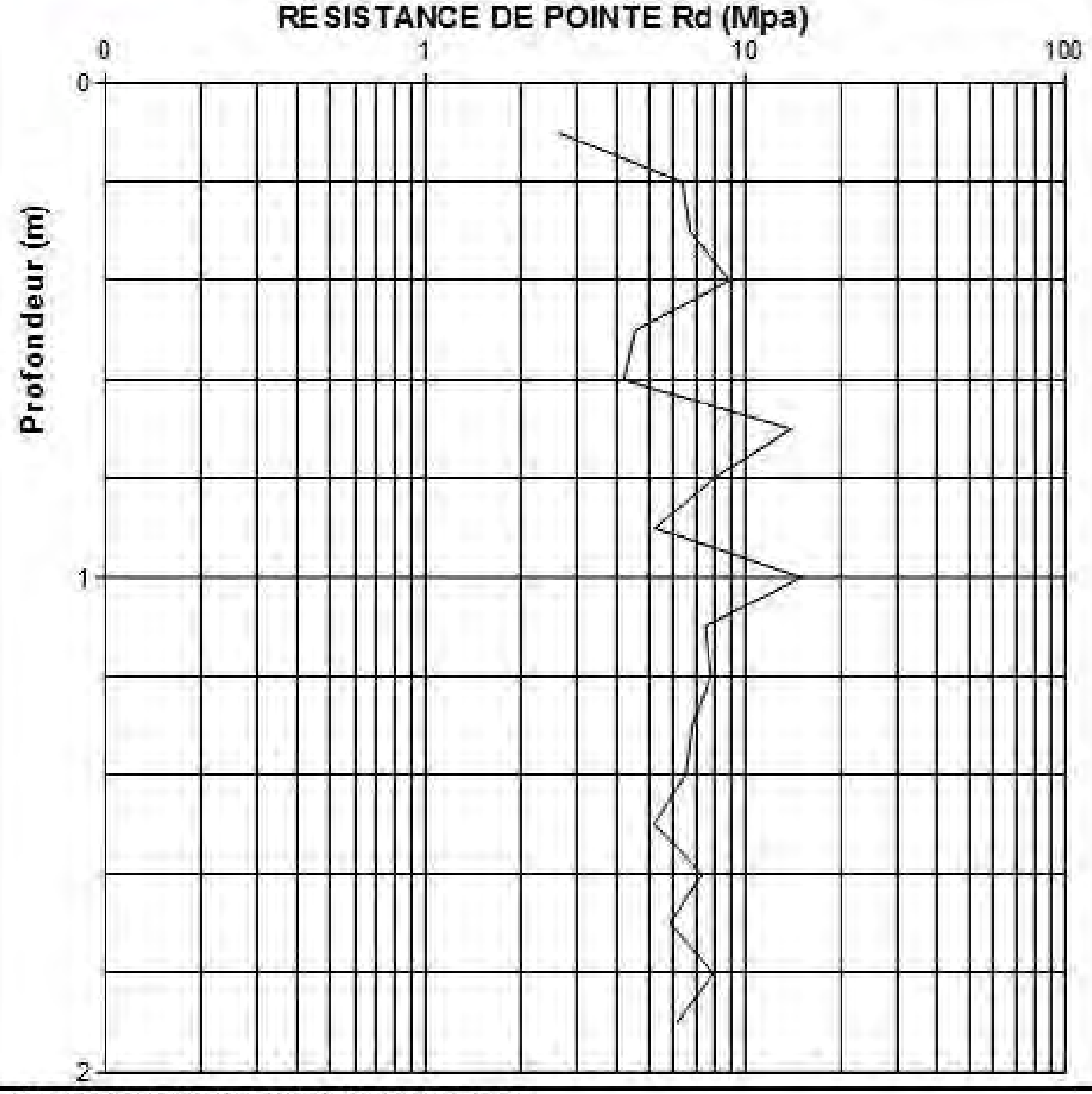
Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE MINES
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Date: 19/04/2014
Chantier: UTIMAYAOU
ref chantier: 973-1077

SONDAGE N° 1



CARACTERISTIQUES DU PENETROMETRE

m masse du mouton=	11,97 kg	S (section pointe)=	9,62 cm²
m' masse enclume =	6,16 kg	g =	9,81 m/s²
m'' masse tige=	1,44 kg	Longueur de tige =	0,5 m
H hauteur de chute =	0,5 m		

MINE & AVENIR

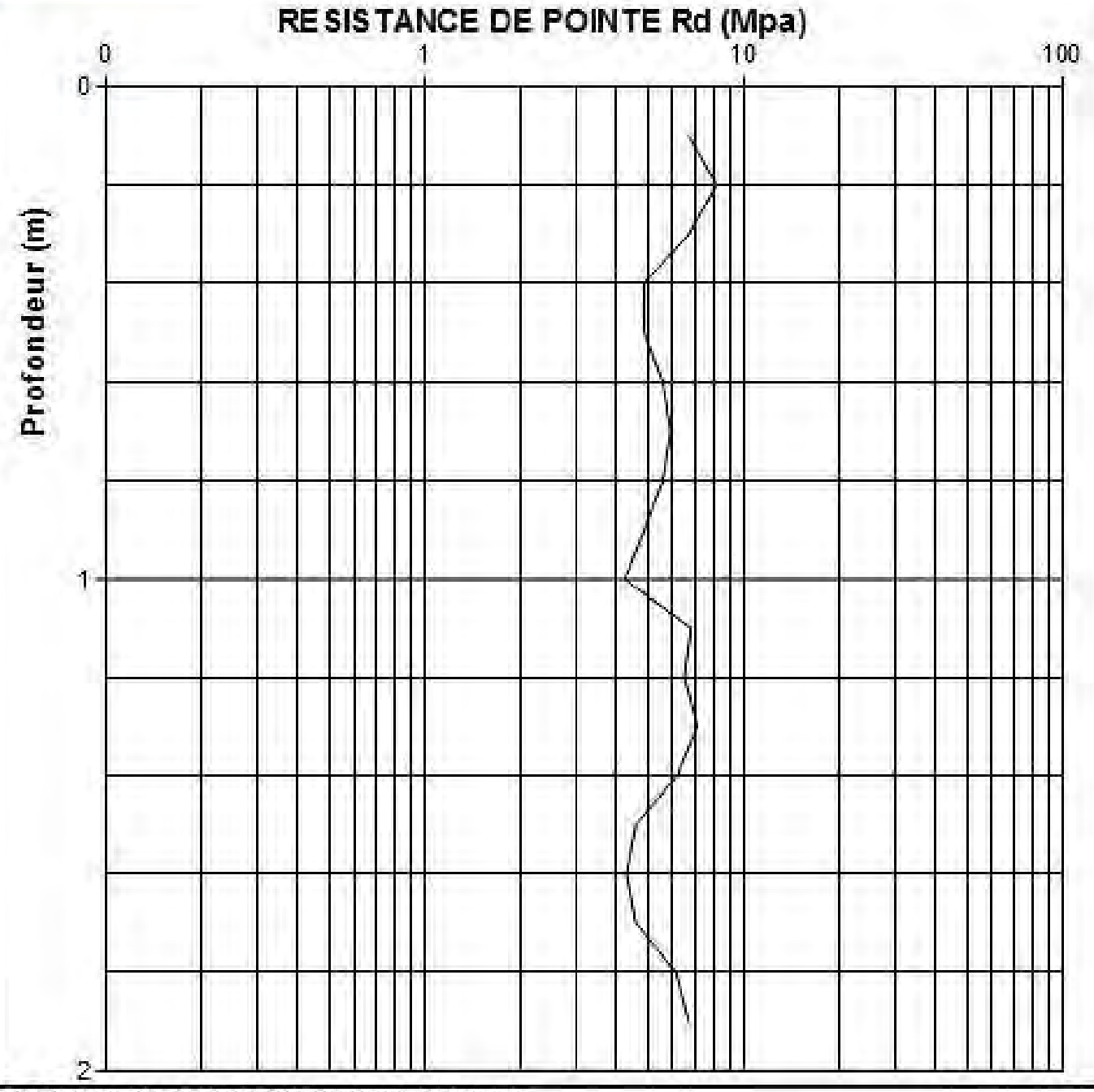
Ingénierie géologique géotechnique et minière

GEOLOGIE MINES
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Date: 19/04/2014
Chantier: UTMAYACU
ref chantier: 973-1077

SONDAGE N° 2



CARACTERISTIQUES DU PENETROMETRE

m masse du mouton=	11,97 kg	S (section pointe)=	9,62 cm²
m' masse enclume =	8,16 kg	g =	9,81 m/s²
m'' masse tige=	1,44 kg	Longueur de tige=	0,5 m
H hauteur de chute =	0,5 m		

MINE & AVENIR

ingénierie géologique géotechnique et minière

SONDAGES A LA PELLE MÉCANIQUE

PROCES VERBAL

Date : 17/04/2014
Chantier : UTMA YADU
Réf Chantier : 973-1077

Cote / TN (cm)	N° 1	LITHOLOGIE
4		Terrain naturel avant terrassement)
		Saprolites ferralitisées marron raides
0		
		Saprolite argileuse jaunâtre à rosée
4		Arrêt du sondage

Cote / TN (cm)	N° 2	LITHOLOGIE

Cote / TN (cm)	N° 3	LITHOLOGIE

Cote / TN (cm)	N° 4	LITHOLOGIE

Annexe 15

Etude hydraulique

Source : GéoPlusEnvironnement

GUYANE FRANCAISE (973)

SMYD

IMPACT HYDRAULIQUE DES PARCS A RÉSIDUS SUR LA CRIQUE YAOU ET SES AFFLUENTS

ÉTUDE HYDRAULIQUE

Décembre 2014

RAPPORT R1403101

GéoPlusEnvironnement

SARL au capital de 120 000 € - RCS : Toulouse 435 114 129 - Code NAF: 7112B

Siège social et Agence Sud	GéoPlusEnvironnement	Le Château	31290 GARDOUCH	Tél : 05 34 66 43 42 / Fax : 05 61 81 62 80
Agence Centre et Nord	GéoPlusEnvironnement	2 rue Joseph Leber	45530 VITRY AUX LOGES	Tél : 02 38 59 37 19 / Fax : 02 38 59 38 14
Agence Ouest	GéoPlusEnvironnement	5 rue de la Rôme	49123 CHAMPTOCE SUR LOIRE	Tél : 02 41 34 35 82 / Fax : 02 41 34 37 95
Agence Sud-est	GEO+	Quartier Les Sables	26380 PEYRINS	Tél : 04 75 72 80 00 / Fax : 04 75 72 80 05
Agence Est	GéoPlusEnvironnement	7 rue du Breuil	88200 REMIREMONT	Tél : 03 29 22 12 68 / Fax : 09 70 06 74 23
Antenne PACA	GéoPlusEnvironnement	Sainte-Anne	84190 GIGONDAS	Tél : 06 88 16 76 78 / Fax : 05 61 81 62 80

Site Internet : www.geoplusenvironnement.com

GUYANE FRANCAISE (973)

IMPACT HYDRAULIQUE DES PARCS A RESIDUS SUR LA CRIQUE YAOU ET SES AFFLUENTS

ÉTUDE HYDRAULIQUE

SUIVI QUALITE

VERSION 1

Peyrins, le 15/12/2014	Peyrins, le 17/12/2014	Seichebrières, le 18/12/2014
Rédigé par : **Julien BOUTAGHANE** *Ingénieur hydraulicien* *Service Hydraulique et Environnement*	**Relu et vérifié par :** **Olivier RICHARD** *Docteur en Géologie spécialisé en sécurité des barrages* *Responsable de l'Agence Sud-Est*	**Approuvé par :** **Christian VALLIER** *Directeur de GéoPlus Environnement*

SOMMAIRE

1. PREAMBULE 6

2. IMPACT HYDRAULIQUE DES AMENAGEMENTS 7

2.1. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL 7

2.1.1. CONTEXTE HYDROLOGIQUE REGIONAL 7

2.1.2. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE LOCAL 9

2.1.3. CAMPAGNES DE MESURES DE DEBIT DES COURS D'EAU 11

2.1.4. DETERMINATION DES DEBITS MOYENS MENSUELS 22

2.1.5. DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE 24

2.1.6. HYDRAULIQUE ET INONDABILITE 29

2.2. IMPACTS POTENTIELS DES AMENAGEMENTS 39

2.2.1. LE PROJET DE MISE EN PLACE DE PARCS A RESIDUS POUR LE STOCKAGE DES RESIDUS ULTIMES 39

2.2.2. DIMENSIONNEMENT DES BASSINS 40

2.2.3. RESULTAT DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE 44

2.3. DIMENSIONNEMENT DES DERIVATIONS DES CRIQUES 46

2.3.1. PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT 46

2.3.2. DEBITS RETENUS POUR LES SOUS-BASSINS VERSANTS ETUDIES 46

2.3.3. DIMENSIONNEMENT REQUIS 47

3. MODELISATION DE RUPTURE 49

3.1. PRINCIPE DE LA MODELISATION ET METHODE EMPLOYEE 49

3.2. DETERMINATION DES ZONES DE DEFAILLANCE 50

3.2.1. LOCALISATION DES RUPTURES 50

3.2.2. SCENARIOS DE DEFAILLANCE 50

3.2.3. GEOMETRIES DES RUPTURES 51

3.3. RESULTATS DE MODELISATION DU DEBIT DE RUPTURE 52

3.3.1. DESCRIPTION DES PHENOMENES ENGENDRES PAR LA RUPTURE DE LA DIGUE D2 52

3.3.2. DETERMINATION DES DEBITS DE RUPTURE POUR LES DEUX SCENARII 53

3.3.3. RESULTATS DE LA MODELISATION POUR LE SCENARIO 1 56

3.3.4. DESCRIPTION DE LA VALLEE A L'AVAL DES DIGUES MODELISEES 59

3.3.5. RESULTATS DE LA MODELISATION POUR LE SCENARIO 2 60

3.4. PRINCIPE DE RUPTURES SIMULTANEES 63

3.5. RECOMMANDATIONS SUITE A LA MODELISATION ET MESURES IMMEDIATES 64

FIGURES

Figure 1 . Hydrologie de la Guyane 8

Figure 2 . Réseau hydrographique à l'aval du site de Yaou 9

Figure 3. Hydrographie du site 10

Figure 4. Stations de mesure de la qualité et du débit des eaux de 2010 14

Figure 5. Courbes de tarage 16

Figure 6. Localisation des stations de jaugeage – janvier 2014 - GéoPlusEnvironnement 18

Figure 7. Courbes de tarage avec les données de 2010 et 2014 21

Figure 8. Localisation des profils en travers et des zones inondables 31

Figure 9. Cartographie des hauteurs 35

Figure 10. Cartographie des vitesses 36

Figure 11. Cartographie des aléas 38

Figure 12. Localisation des bassins versants projets 41

Figure 13. Zones inondables à l'état projet 45

Figure 14. Localisation des canaux de dérivation 48

Figure 15. Localisation des cônes de déjection pour le scénario n°2 55

Figure 16. Cartographie des aléas pour le scénario n°1 de rupture 58

Figure 17. Cartographie des aléas pour le scénario n°2 de rupture 62

ANNEXES

ANNEXE 1 – ETUDE CETE (1999) 66

ANNEXE 2 - FICHES DE SUIVI HYDROLOGIQUE ET COURBES DE TARAGE 67

ANNEXE 3 – YAOU : NIVEAUX D'EAU P1-P11 68

1. PREAMBULE

La **Société Minière de Yaou et Dorlin** exploite, depuis plusieurs années, **une mine d'or au lieu-dit Yaou, sur le territoire de la commune de Maripasoula en Guyane Française (973)**. Cette exploitation fait aujourd'hui l'objet d'un permis d'exploitation (PEX) obtenu le 29 octobre 2009 et valide jusqu'en 2014. Une demande de renouvellement du permis d'exploitation est réalisée simultanément à ce dossier.

SMYD dispose depuis plusieurs années d'équipements et installations minières industrielles. Le **taux de récupération** du métal n'est actuellement que de 25 à 30 %. Ainsi, près de 75% de l'or contenu dans le minerai se retrouvent aujourd'hui stockés dans les parcs à résidus du site de Yaou.

AUPLATA a donc mené une réflexion sur la **mise en œuvre de procédés chimiques de lixiviation** utilisant du **cyanure** pour permettre un retraitement des résidus et, à terme, une mise en place directe d'un tel procédé en sortie de l'usine de séparation gravitaire.

Dans ce cadre, AUPLATA désire mettre en œuvre, sur son site de Yaou, une usine modulaire et mobile permettant de traiter, par le procédé de cyanuration, le minerai d'or primaire et les rejets d'exploitations aurifères antérieures et actuelles : il s'agit d'une **Usine Modulaire de Traitement de Minerai Aurifère (UMTMA)**.

Les résidus miniers ultimes décyanurés et centrifugés seront stockés dans deux PArcs à Résidus Ultimes (PARU1 et PARU2). Le PARU1 sera édifié hors sol sur une plateforme située à l'Ouest de l'usine gravimétrique actuelle. Le PARU2 sera édifié en fond de vallée, à l'Est de l'usine gravimétrique actuelle, en lieu et place des bassins de rejets de la gravimétrie qui seront ré-exploités.

Pour permettre la rétention des résidus ultimes décyanurés, le projet prévoit de réaliser un bassin de rétention hors sol (PARU1), et un bassin de retenue des résidus (PARU 2) avec rehausse du barrage Lauvernier (digue D2 dans le mémoire technique) jusqu'à une hauteur de 17 m. En aval de chacun de ces ouvrages, un barrage étanche de 4 à 5 m de haut, ces barrages seront destinés à assurer la retenue des eaux claires filtrant à travers les premiers ouvrages et récupérant les eaux de pluie de son propre bassin versant.

La présente étude hydraulique s'attache donc à :

- comprendre et analyser l'état initial des criques concernées par le projet de réalisation de barrages ;
- définir le risque inondation et les zones inondables de la crique Yaou ;
- décrire l'impact des aménagements prévus sur les zones inondables de la crique Yaou ;
- estimer le risque lié à la rupture des barrages mis en place lors des différentes phases d'exploitation.

NB: on note que dans cette étude, le terme de barrage est retenu afin de décrire ce que les miniers appellent communément des digues. Il s'agit d'ouvrages de rétention des résidus ultimes décyanurés.

2. IMPACT HYDRAULIQUE DES AMENAGEMENTS

2.1. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL

2.1.1. Contexte hydrologique régional

Comme dans toutes les régions de type équatorial, le réseau hydrographique de la Guyane est dense et chevelu (Cf. **Figure 1**). L'ensemble du territoire est drainé vers l'Atlantique.

Un « château d'eau » naturel principal peut être identifié au croisement d'une ligne Nord/Sud joignant les montagnes de la Trinité au massif Tabulaire et la ligne Est/Ouest de la chaîne Inini-Camopi.

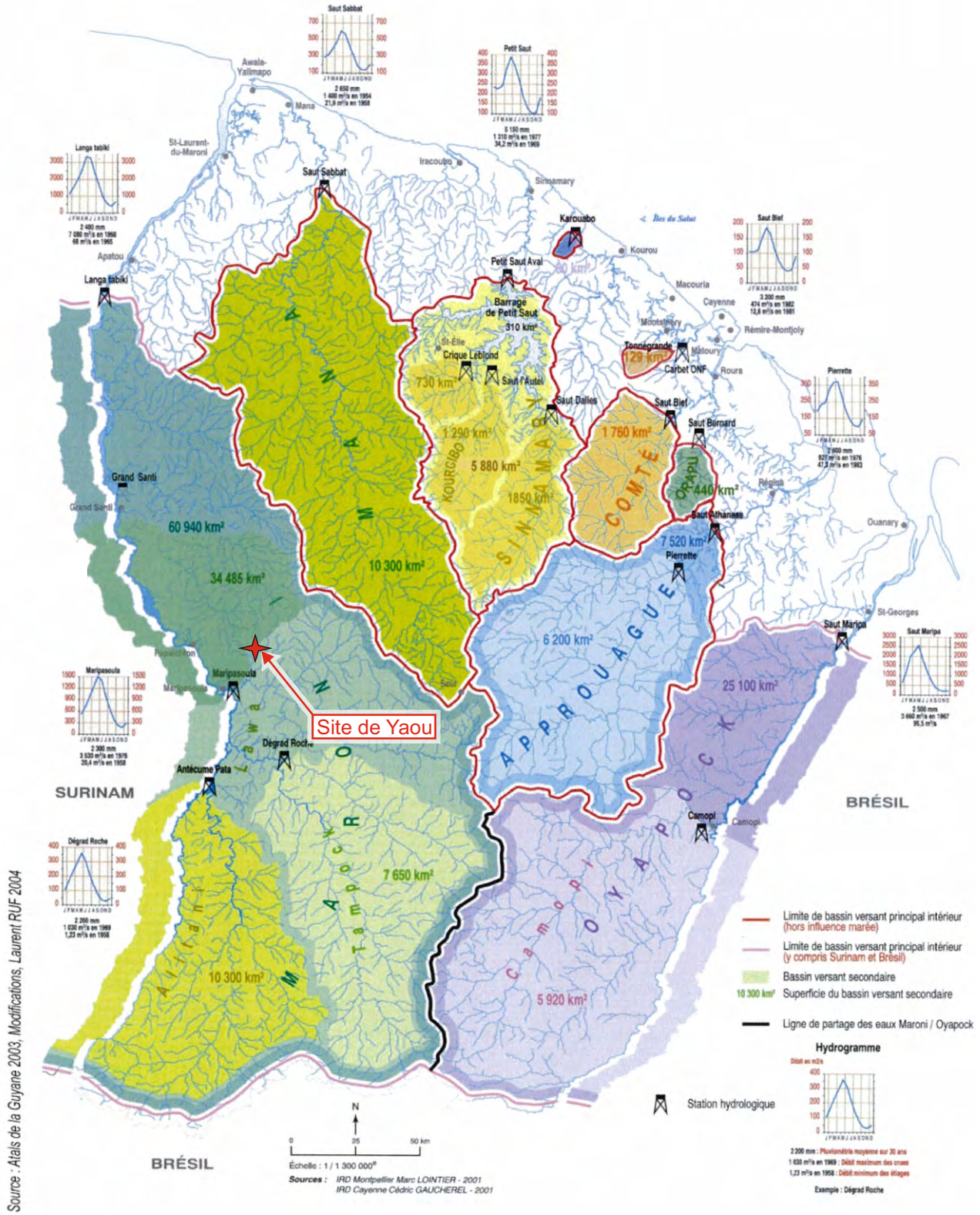
2 centres secondaires de dispersion des eaux apparaissent également :

- au Nord-Ouest : ensemble de la montagne Sparouine, Massifs Dékou-Dékou et Lucifer ;
- au Nord-Est : les montagnes Tortues, les plus vastes plateaux latéritiques de Guyane.

Enfin, de nombreuses rivières côtières prennent naissance au contact des « Terres Basses » et des « Terres Hautes ».

Le relief donne à toutes les rivières (criques) des caractéristiques identiques : toutes ont une couleur oscillant du beige au marron, justifiée par l'importance des débris organiques et matières en suspension (MES) qu'elles charrient.

Les stations limnimétriques du Réseau Hydrographique guyanais



GÉOPLUSENVIRONNEMENT	**SMYD** Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents	**Figure 1**
	Hydrologie de la Guyane *Source : IRD / DIREN 2005*	

2.1.2. *Le réseau hydrographique local*

Le secteur de l'exploitation de Yaou est situé dans le vaste bassin hydrologique de l'Inini, affluent de la Lawa, qui forme le Maroni avec le Tapanahoni, en aval du bourg de Grand-Santi.

Ce bassin comprend trois sous-bassins, orientés Est - Ouest, qui sont, dans l'ordre de taille décroissant : le bassin du Grand-Inini au Sud, le bassin du Petit-Inini au Nord et le bassin d'Eau Claire au centre.

La crique principale voisine du périmètre des installations classées et le périmètre Code Minier est la **crique Yaou**. Cette crique, de taille très réduite au droit du site, rejoint ensuite le Grand-Inini.

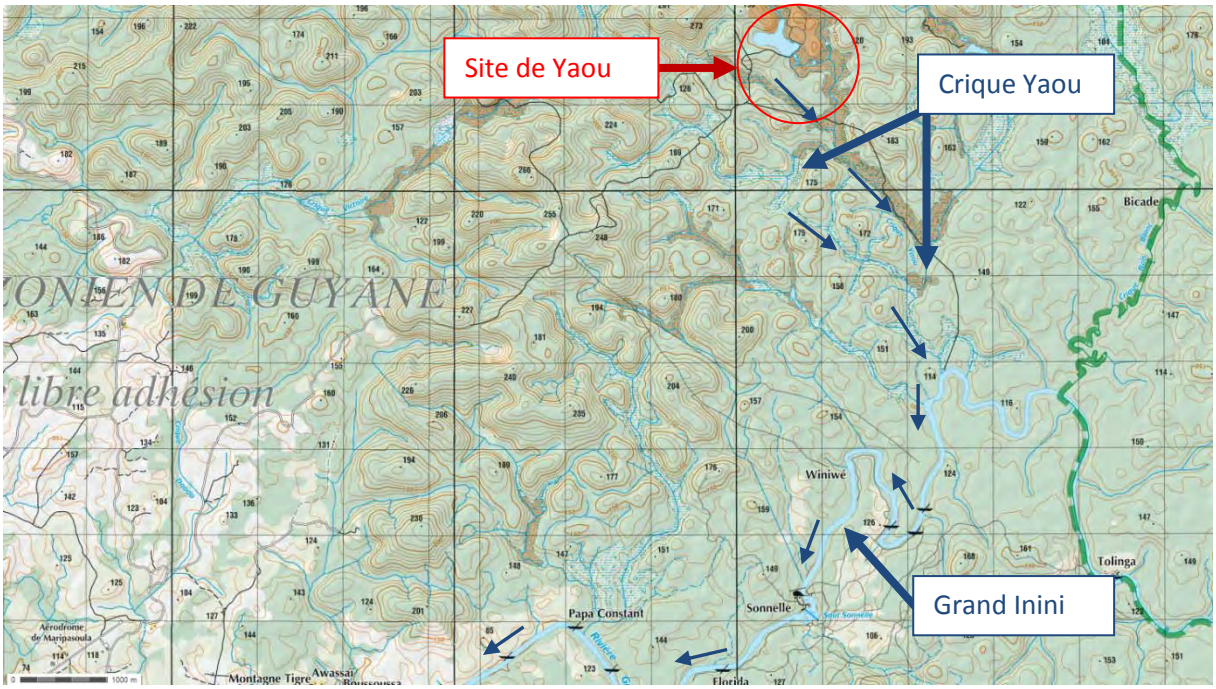


Figure 2 . Réseau hydrographique à l'aval du site de Yaou

Les autres criques qui traversent le périmètre du permis d'exploitation sont des cours d'eau de taille réduite qui se jettent soit directement dans la Lawa, soit dans le Grand-Inini ou encore dans les criques Bois-Blanc et Yaou, affluents du Grand-Inini.
Ces criques sont principalement perturbées par les activités d'orpaillage clandestin (anciennes comme actuelles). Elles ont été déviées par endroits, et alternent désormais entre un statut de cours d'eau de section modeste et des élargissements dus aux chantiers d'orpaillage clandestin.

L'hydrologie du secteur de Yaou a été caractérisée en 1997/99 par l'APAVE pour le compte de la société des Mines de Yaou et Dorlin (SMYD) dans le cadre d'une demande de concession, c'est-à-dire avant le démarrage de l'exploitation d'or primaire.

Puis dans le cadre de la présente étude, une campagne de caractérisation du réseau hydrologique à été menée à bien, sur un secteur plus ciblé. Cette seconde campagne réalisée après plusieurs années d'exploitation d'or primaire, constituera donc l'état initial de référence de la présente demande, et permettra aussi d'en déduire les premiers impacts de l'exploitation d'or primaire par rapport à l'état de 1999.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA (52 x 33 m)
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Ligne de séparation des eaux
- Zone inondable de la crique Yaou

Crique Tomantoni

Crique Yaou amont

Base de vie

Emplacement actuel de l ’usine gravimétrique

Crique BW

Crique Mattéo

Crique Victoire

Crique H

Zone d’implantation de l’UMTMA

Affluent rive gauche de Yaou

Crique 1 - affluent rive droite de Yaou - entrée du site

Crique Yaou

Crique Yaou

0 m 200 m 800 m

Echelle au 1 / 20 000

SMYD

Etude N°1403101		
Date	Dessiné	Vérifié
07/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Hydrographie du site

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 3

2.1.3. *Campagnes de mesures de débit des cours d'eau*

Une étude sur l'hydrologie du site, effectuée par CETE APAVE et SMYD en 1998, est présentée en Annexe 1 et en partie reprise dans ce paragraphe.

2.1.3.1. *Bassin versant du Maroni*

Yaou est situé dans le bassin hydrologique du Maroni. La station Maripasoula, mesurant le débit du Maroni en aval du site (Cf. Figure 1) enregistre les paramètres suivants (source : DIREN : 2005) :

Etiages :

Maripasoula	Q_{100}	Q_{50}	Q_{20}	Q_{10}	Q_5	Q_{moyen}
IC inférieur (10%) (m³/s)	6	8	12	17	26	53
Etiages (m³/s)	*10*	*12*	*17*	**23**	*33*	*66*
IC supérieur (10%) (m³/s)	14	17	22	29	41	78

- Minimum observé le 01/12/1987 : 19,14 m³/s
- Fréquence d'apparition : octobre (15%), **novembre (63%)**, décembre (22%).

Débits moyens mensuels pour la période d'observation (m^3/s) :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
539	734	964	1202	1466	1425	951	638	368	210	163	269

Crues :

Maripasoula	Q_{moyen}	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
IC inférieur (10%) (m³/s)	2208	2637	2848	3019	3208	3334
Crues (m³/s)	*2336*	*2786*	**3022**	*3216*	*3435*	*3581*
IC supérieur (10%) (m³/s)	2464	2936	3195	3413	3661	3828

- Maximum observé le 19/04/1976 : 3.549 m³/s
- Fréquence d'apparition : février (2%), mars (2%), avril (29%), mai (31%), **juin (36%)**.

2.1.3.2. *Bassins versants du site de Yaou*

2.1.3.2.1. *Campagne CETE APAVE et SMYD 1998*

2.1.3.2.1.1. *Présentation de la campagne de caractérisation*

Les différentes stations répondaient à des objectifs de représentativité de la demande de concession d'alors. Toutes les cibles aurifères potentielles ont été couvertes, avec une station d'échantillonnage présente en aval de chaque cible. Certaines stations étaient également situées à l'écart de toute cible identifiée.

Il y a au total 4 stations sur 9 qui sont situées sur le périmètre qui nous intéresse aujourd'hui pour la présente étude (YP5, YP7, YP8 et YP13). Au cours de cette étude, des mesures et prélèvements d'eau n'ont pu être réalisés que sur 2 stations (Cf. Figure 6).

Un contrôle aval a été effectué sur l'ensemble des cibles minières potentielles (zones IJK, E, H,…) avec en complément 3 stations (YP1, YP3, YP4) en amont ou à l'écart des cibles identifiées. Pour terminer, une station a été installée sur une crique orpaillée afin de mesurer l'impact de cette activité.

Parmi les stations étudiées, deux ont été équipées d'une échelle limnigraphique (YP3 et YP13).

2.1.3.2.1.2. Débit moyen des criques

En plus des mesures directes effectuées sur le terrain, des débits moyens ont été calculés sur les criques par la relation de Dubreuil et Reuillon.

Les résultats obtenus sont décrits dans le tableau suivant.

Station	Nom Crique	Localisation	Surface du bassin versant (km²)	débit moyen annuel (m^3/s)	Débit spécifique ($m^3/s/km^2$)
YP1	Crique Tomantoni	Point le plus au nord de la piste Tomantoni	1,99	0,1585	0,0796
YP3	Crique Tomantoni	Avant passage à gué de Pont de Tomantoni	14,67	1,0216	0,0696
YP4	Affluent de la Crique Tomantoni	Piste Tomantoni entre le camp de Yaou et la crique Tomantoni	4,38	0,3316	0,0757
YP5	Crique Yaou	Près de la piste "Poubelle"	1,22	0,1001	0,0821
YP7	Crique Yaou	Première crique rencontrée en quittant le camp	0,97	0,0804	0,0829
YP8	Crique Yaou	Deuxième crique en quittant le camp Yaou en direction de Maripasoula	2,34	0,1845	0,0788
YP10	Crique Chaina amont	Proche pont de la crique Chaina	19,55	1,3332	0,0681
YP13	-	En aval de Yaou Central	0,47	0,0372	0,0791

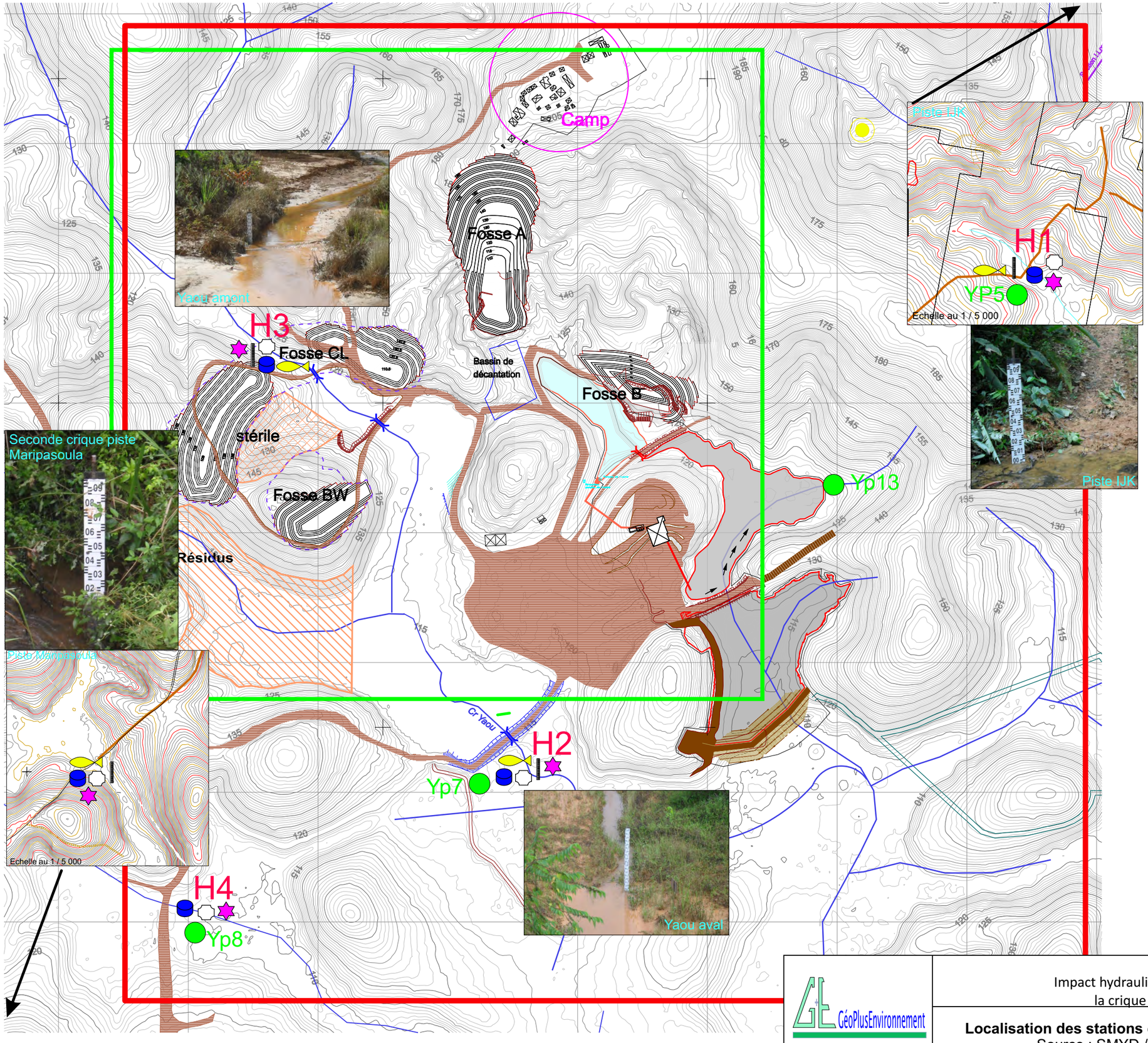
2.1.3.2.2. *Campagne de novembre 2010 (GéoPlusEnvironnement)*

Cette période de mesures est intermédiaire entre la saison des pluies et la saison sèche. Les débits mesurés doivent donc se rapprocher de la moyenne annuelle.

Le réseau hydrographique du secteur a fait l'objet de mesures de débit. Les stations de jaugeage sont localisées sur la Figure 4, et présentées dans le tableau ci-dessous :

Station	Emplacement
H1	Piste IJK
H2	Crique Yaou Aval
H3	Crique Yaou Amont
H4	Piste Maripasoula Crique Yaou Amont (crique intermédiaire)
H5	Piste Maripasoula Crique Yaou Amont (seconde crique)

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un **vélocimètre électromagnétique**. Ces mesures sont basées sur l'application de la loi d'induction de Faraday selon laquelle un conducteur électrique traversant perpendiculairement un champ magnétique induit une tension. En débitmétrie, cette tension est proportionnelle à la vitesse de passage du liquide considéré et est indépendante des caractéristiques du liquide à mesurer telles que densité, viscosité, conductivité électrique, mais non des caractéristiques de sa charge particulaire.



- AEX YAOU
- Périmètre des ICPE
- Pistes
- Criques

- Parcs à résidus (ICPE)
- Bassin d'eau claire
- Batiments (ICPE)
- Captage AEP
- Stations Cete APAVE 1999
- Stations de mesure du débit
- Stations de mesure in situ des paramètres physico-chimiques
- Stations de prélèvement
- Echelles limnimétriques
- Stations d'étude hydrobiologique (HYDRECO - 2010)

0 m 60 m 240 m

Echelle au 1 / 6 000

N

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisation des stations et des prélèvements d'eau (2010)

Source : SMYD / GéoPlusEnvironnement

Figure 4

Crique Yaou

Les mesures de débit ont été réalisées en mars 2010, suite, autant que possible, à des épisodes climatiques variés : après des pluies importantes, ou au contraire pendant des épisodes plus secs. Les stations correspondant à la crique Yaou implantées sur la mine sont : H2 et H3.
Deux échelles limnimétriques ont été installées sur cette crique, au niveau d'une station amont (H3), et d'une station aval (H2), dans le but de réaliser par SMYD un suivi du débit de ce cours d'eau (Cf. Figure 6).

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus sur les stations de la crique Yaou :

Station	Emplacement	Date	Heure	Relevé de l'échelle en cm	Débit (m^3/s)	Débit (m^3/h)	COMMENTAIRES
H2	Crique Yaou aval	16/03/2010	16h00	18	-	-	
		17/03/2010	11h30	20	0,0277	99,72	
		18/03/2010	9h30	19	0,0285	102,6	
		22/03/2010	14h45	20	0,0303	109,08	très sec
		23/03/2010	11h00	17	0,0146	52,56	très sec
H3	Crique Yaou Amont	16/03/2010	16h20	18	-	-	
		17/03/2010	11h00	20	0,0148	53,28	
		18/03/2010	13h00	21	0,0166	59,76	
		22/03/2010	14h15	25	0,0121	43,56	très sec
		23/03/2010	10h00	21	0,0089	32,04	très sec

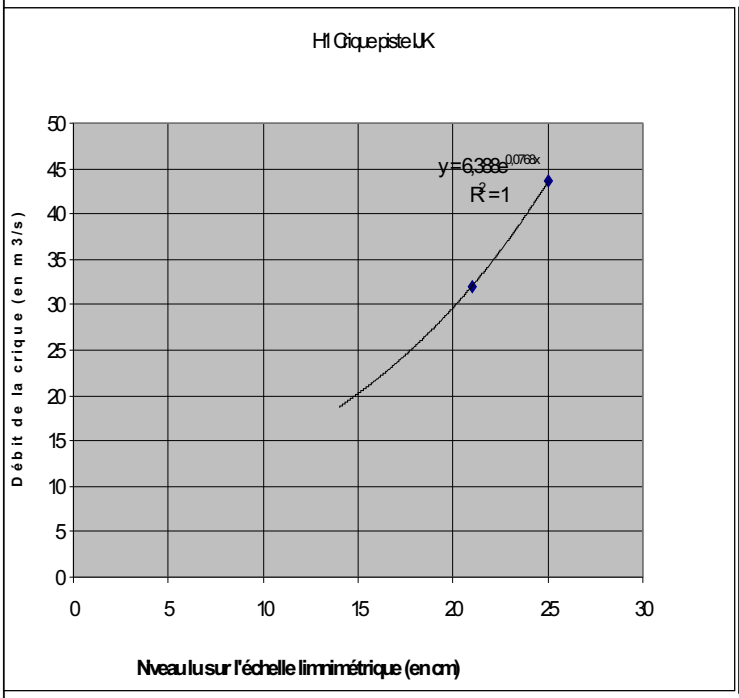
Les débits, observés sur une période de quelques jours, ont varié considérablement, en fonction de la pluviométrie.
On observe une nette augmentation du débit en aval du site (débit doublé).

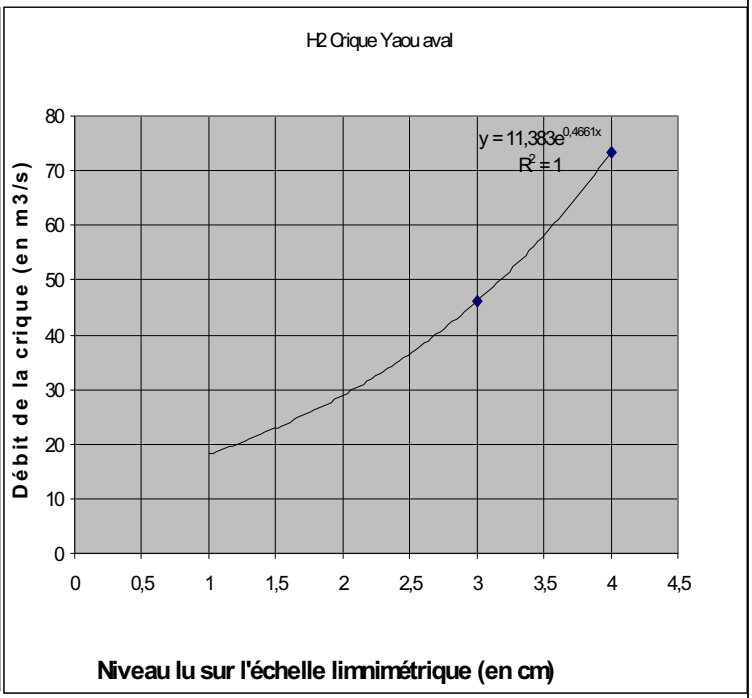
Autres mesures sur des affluents de la crique Yaou

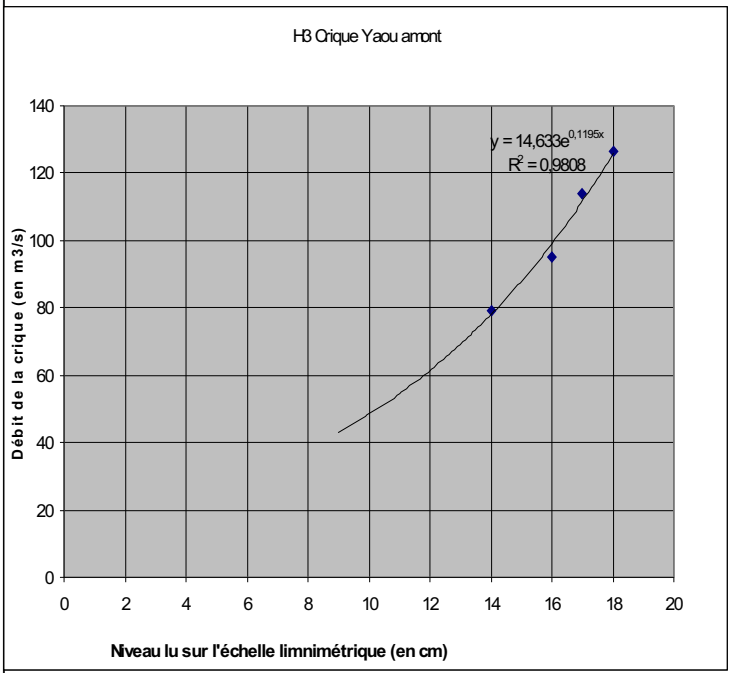
Ces mesures ont été réalisées pendant des périodes avec des conditions météorologiques différentes. Ces deux affluents se trouvent en dehors du périmètre des ICPE.

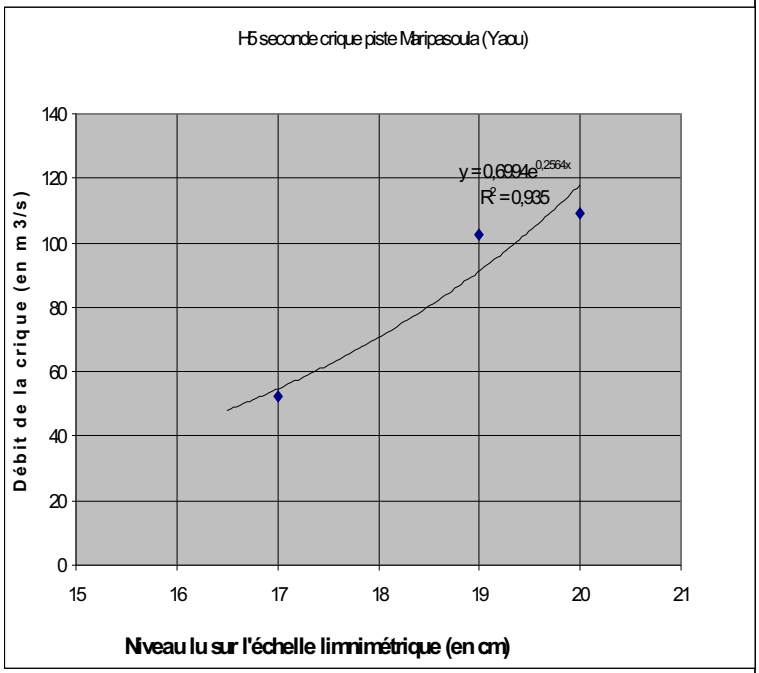
Station	Emplacement	date	heure	Relevé de l'échelle en cm	débit (m^3/s)	débit (m^3/h)	COMMENTAIRES
H4	Piste Maripasoula (affluent crique Yaou) première crique	17/03/2010	14h00	-	0,0383	137,88	
		18/03/2010	10h00	-	0,0276	99,36	après pluie faible
		19/03/2010	10h00	-	0,0182	65,52	très sec
		20/03/2010	8h40	-	0,0164	59,04	très sec
		23/03/2010	15h00	-	0,0093	33,48	après averse
H5	Piste Maripasoula (affluent crique Yaou) seconde crique	16/03/2010	09H00	18	0,0351	126,36	après pluie faible
		18/03/2010	13h40	17	0,0317	114,12	après averse
		19/03/2010	9h15	16	0,0264	95,04	très sec
		23/03/2010	8h45	14	0,022	79,2	très sec

Une échelle limnimétrique a aussi été installée au niveau de la station la plus éloignée du site (H5) (Cf. Figure 6). La courbe de tarage est présentée en Figure 5.









GéoPlusEnvironnement

SMYD
Impact hydraulique des parcs à résidus sur
la crique Yaou et ses affluents

Courbes de tarage (Juillet 2010)
Source : GéoPlusEnvironnement

Figure 5

2.1.3.2.3. *Campagne d'avril 2014 (GéoPlusEnvironnement)*

Cette période de mesures est intermédiaire entre la saison des pluies et la saison sèche. De même que pour la campagne de 2010, les débits mesurés doivent donc théoriquement se rapprocher de la moyenne annuelle.

La campagne de mesures de débits d'avril 2014 a été effectuée entre les 17 et 21 avril 2014, en complément des campagnes précédentes.

Les stations de jaugeage retenues lors de cette campagne sont globalement identiques de celles choisies lors des campagnes de 1999 et de novembre 2010. Cependant, il a été décidé de recentrer la connaissance des débits principalement sur la crique Yaou en rajoutant des points de mesures sur deux affluents (criques Matteo et BW) dans lesquels étaient envisagés la mise en place de parcs à résidus.

Les mesures de débit ont donc été réalisées lors de divers épisodes pluvieux au droit des 6 stations de jaugeage décrites dans le tableau ci-après et localisées sur la Figure 6 :

Station	Description
J1	Crique affluent de Yaou située à l'ouest de la mine à l'entrée du site
J2	Yaou aval de la mine
J3	Yaou amont de la mine
J4	Crique H affluent RD de Yaou confluent 1 km à l'aval de J2
J5	Crique BW affluent RD de Yaou confluent entre J2 et J3
J6	Crique Matteo affluent RG de Yaou confluent 100m à l'aval de J2

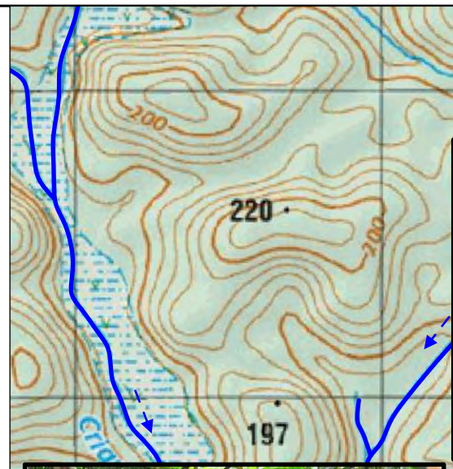
Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus sur les stations de la crique Yaou :

Station	Date et heure	Relevé échelle (m)	Surface (km²)	Débit (l/s)	Débit (m^3/h)	Débit spécifique (l/s/km²)	Commentaires
J1 (Affluent Yaou entrée site)	17/04/14 18:45	0.28	2.11	72.3	260	34	Suite crue éclair
	21/04/14 17:00	0.23		46.6	168	22	Temps sec
J2 (Yaou aval mine)	17/04/14 17:38	0.75	1.46	220.5	794	151	Suite crue éclair
	18/04/14 15:11	0.62		7.1	26	5	Mesure incorrecte
	21/04/14 15:45	0.61		27.9	100	19	Temps sec
J3 (Yaou amont mine)	17/04/14 17:11	0.10	1.06	43.8	158	41	Suite crue éclair. Douteux
	18/04/14 9:45	0.06		31.3	113	30	Temps sec
	20/04/14 16:00	0.05		12.9	46	12	Temps sec
J4 (Crique H)	18/04/14 14:35	0.08	0.89	23.5	85	26	Lendemain crue éclair
	21/04/14 16:30	0.07		15.8	57	18	Temps très sec
J5 (Crique BW)	21/04/14 10:30	-	0.07	0.2	1	3	Plusieurs bras. Pas ou peu d'écoulement.
J6 (Crique Mattéo)	19/04/14 15:30	0.18	0.11	1.0	4	9	Plusieurs bras. Pas ou peu d'écoulement.

L'Annexe 2 présente un récapitulatif des fiches stations ainsi que leur courbes de tarage.

Légende

- Barrage
- Parc à résidus à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA (52 x 33 m)
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Ligne de séparation des eaux
- Zone inondable de la crique Yaou
- J1 — Station de mesure de débit
- Bassin versant au niveau du point de mesure
- Pose d ’une échelle limnimétrique
- Jaugeages réalisés
- H4 — Station de mesures - campagne 2010
- Yp8 — Station de mesures - campagne 1999



Base de vie

0 m 200 m 800 m

Echelle au 1 / 20 000

SMYD

Etude N°		
Date	Dessiné	Vérifié
07/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisation des stations de mesure - avril 2014

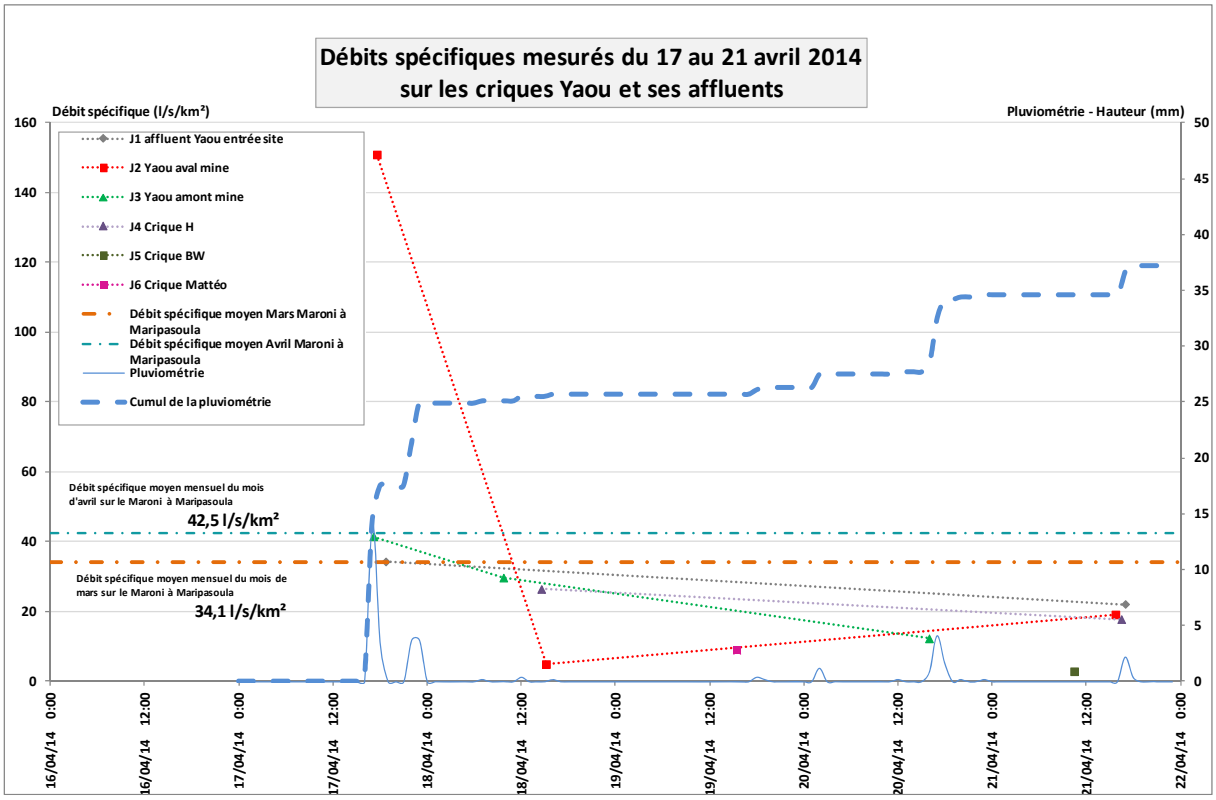
Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 6

Analyse et commentaires

Afin de faciliter l'utilisation des données, les commentaires ci-après font la comparaison des **débits spécifiques (en L/s/km²)** c'est-à-dire des débits ramenés au pro rata de la superficie des bassins versants.

Le graphique, ci-après, permet d'identifier dans le temps, les différentes mesures de débit spécifique réalisées au cours de cette campagne, valeurs brutes rapportées en fonction de la superficie du bassin versant. Ce graphique permet donc de comparer ces données avec la pluviométrie et la valeur de débit spécifique moyen du mois d'avril relevé à la station hydrométrique de Maripasoula.



Les débits spécifiques des différents cours d'eau étudiés sont compris entre 3 L/s/km² (J5 crique BW, période sèche) et 152 L/s/km² (J2, 30 min à 1h après une pluie de 17 mm en 1h environ).

Durant la période de mesures, les conditions climatiques se sont révélées particulièrement sèches.

De ce fait, les mesures ont été principalement réalisées à la suite d'un épisode sec. Les deux seules mesures réalisées après l'observation d'une crue l'ont été sur la crique Yaou sur les stations amont et aval (voir Figure 6).

Ainsi, hormis pour la mesure effectuée après un épisode pluvieux exceptionnel sur J2 (Yaou aval) et J3 (Yaou amont), toutes les valeurs de débit spécifique mesurées sont inférieures aux débits spécifiques moyens des mois de mars et avril sur le Maroni à Maripasoula.

Après la forte pluie de l'après-midi du 17 avril 2014, les débits spécifiques mesurés sur J2 et J3 sont plus élevés que sur les autres criques. **La réponse hydrologique** aux événements pluvieux est **quasi instantanée**.

D'une manière générale et outre les différences décrites ci-avant, on notera que les débits spécifiques mesurés varient autour de 30 L/s/km² ce qui est inférieur à la valeur moyenne d'un mois de mars calculée au niveau de la station hydrométrique du Maroni (source DIREN, 2003).

La période d'observation météorologique du 17 au 21 avril 2014 s'est révélée être particulièrement sèche. Sur cette année, la période habituellement **plus sèche du mois de mars s'est prolongée sur le mois d'avril.**

Ainsi, ces observations de terrain montrent que des valeurs de débits instantanés spécifiques inférieurs aux débits moyens mensuels spécifiques mesurés à la station du Maroni. Malgré ces observations, et en l'absence de données de débits moyens mensuels sur des criques aux superficies de bassin versant équivalentes, nous conserverons comme **référence** la station hydrométrique du Maroni à Maripasoula afin de déterminer les débits moyens mensuels des criques du site. La méthode utilisée est celle de **la similitude des bassins versants** (voir paragraphe suivant).

2.1.3.2.4. *Synthèse des résultats sur les trois campagnes*

Sur les trois campagnes de mesures réalisées (1999, 2010, 2014), deux stations de mesures sont identiques (J1 et J2 respectivement nommées Yp8 et Yp7 en 1998, H5 et H2 en 2010). Pour les stations J3 et J4, nous avons comparé les données relevées en 2010 (H3 et H4) puis en 2014.

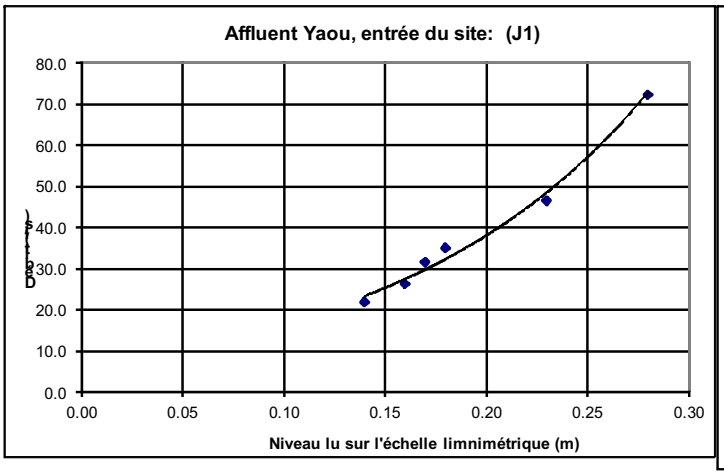
Les courbes de tarage présentées ci-après sont celles de 2010 actualisées avec les données de débits mesurés en 2014.

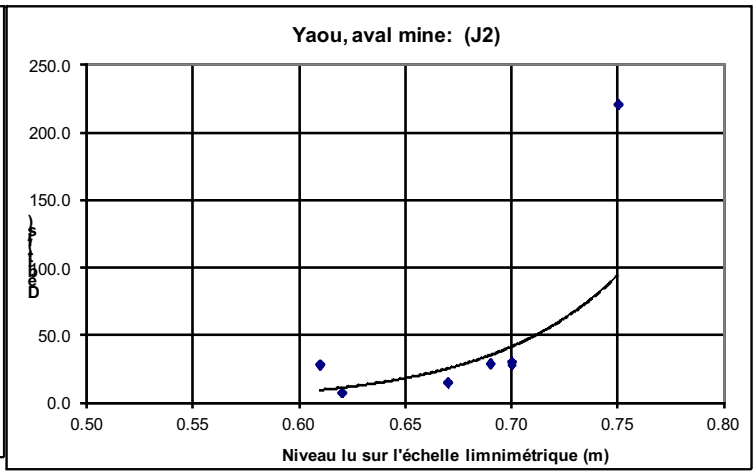
On note que pour les stations J1 et J2, les données de mesure réalisées en 2010 et 2014 sont fiables et donnent une courbe de tarage cohérente (voir Figure 7). En effectuant un relevé régulier des données de hauteurs d'eau sur ces deux stations, nous serions en mesure de caractériser les débits moyens mensuels de ces criques. En comparaison avec les données de débit moyen mensuel indiquées dans l'étude CETE et SMYD en 1998, ces données sont très inférieures. Nous émettons donc un doute quant aux résultats des mesures réalisées en 1998.

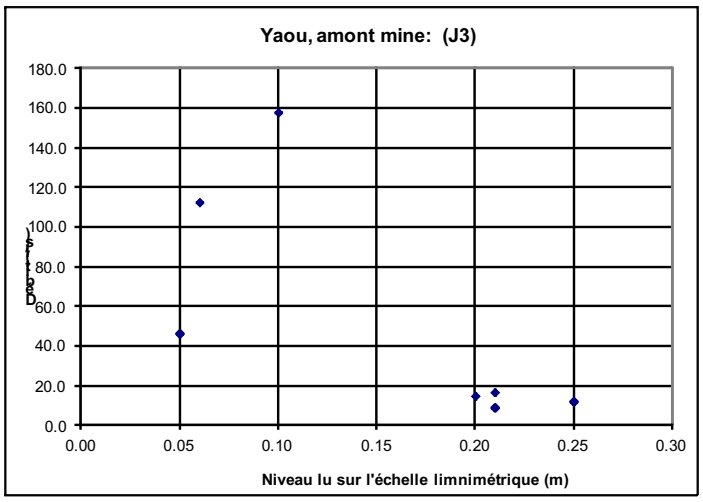
Sur la station J3, nous avons complété les courbes de tarage de 2010 avec les données de 2014. Comme la section dans laquelle était implantée l'échelle limnimétrique et située à l'amont d'un ouvrage de passe a été modifiée, nous avons choisi de réimplanter l'échelle à l'aval du pont. Ainsi la courbe de tarage montre une discontinuité entre les données mesurées en 2010 et en 2014. Cette courbe de tarage n'est exploitable en l'état.

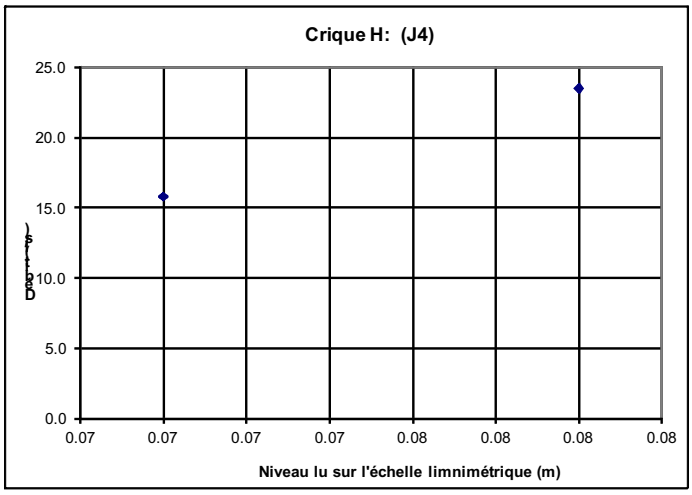
Sur la station J4, il n'existe que deux mesures de débit ce qui semble insuffisant pour définir de la cohérence de la courbe de tarage ainsi obtenue.

Sur les stations J5 et J6, particulièrement difficiles d'accès, il n'a pas été possible de réaliser plus de mesures qui auraient permis de construire des courbes de tarage.









GéoPlusEnvironnement

SMYD
Impact hydraulique des parcs à résidus sur
la crique Yaou et ses affluents

Courbes de tarage (2010-2014)
Source : GéoPlusEnvironnement

Figure 7

2.1.4. *Détermination des débits moyens mensuels*

En comparant les débits spécifiques issus des mesures effectuées, avec les données de la station hydrométrique du Maroni, il est difficile de conclure en la similitude du fonctionnement hydrologique des différentes criques étudiées sur le site et de celui du Maroni situé plus en aval et dont l'écoulement est de type fluvial.

Les mesures effectuées ponctuellement et présentées dans le paragraphe 2.1.3.2 ne couvrent pas un cycle hydrologique entier. C'est pourquoi, afin de reconstituer les débits moyens mensuels des cours d'eau observés sur un cycle complet, la méthode des similitudes à partir des données de débits moyens mensuels calculées sur le Maroni a été utilisée.

La formule utilisée est la suivante :

$$Q_{moyenmensuelA} = Q_{moyenmensuelB} \frac{Surperficie\ BVB^{\propto}}{Superficie\ BVA}$$

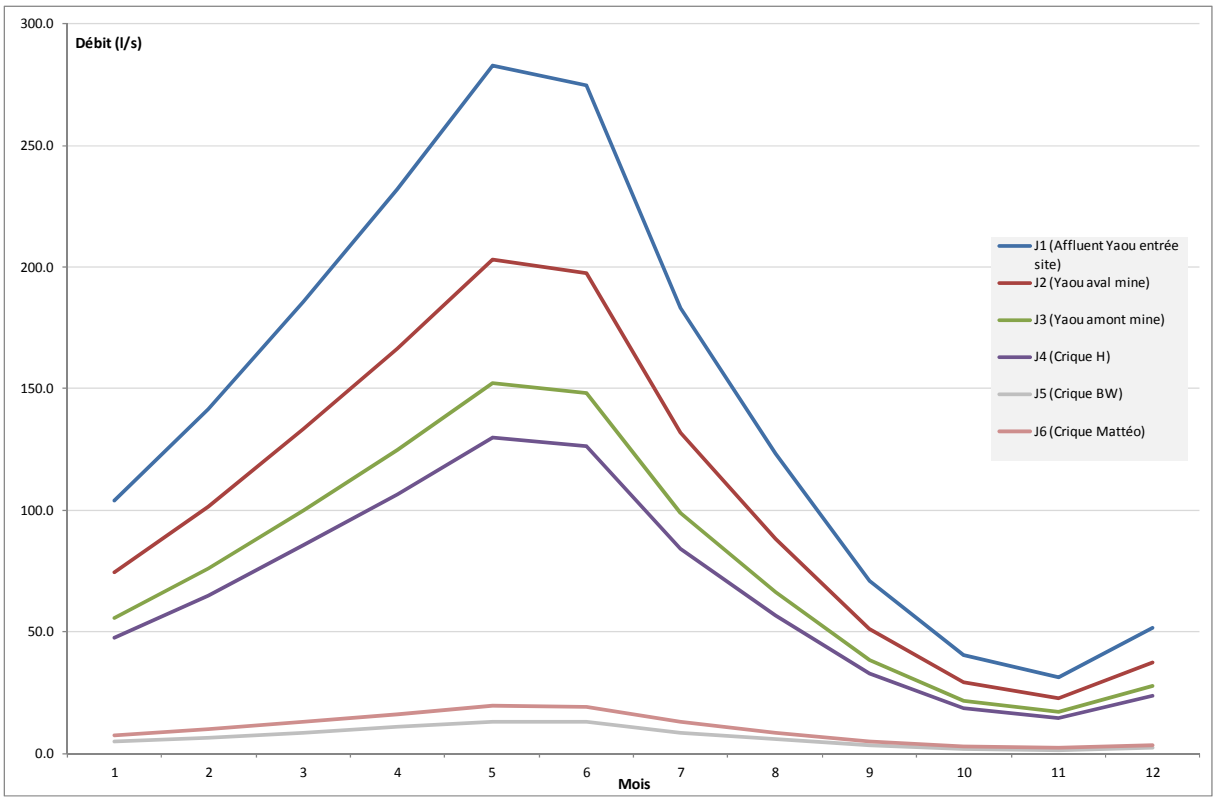
Avec BV A : Bassin versant du cours d'eau A

BV B Bassin versant du cours d'eau B

$\propto$ le coefficient d'ajustement régional (en région tropicale ce coefficient est souvent compris entre 0,9 et 1) par défaut, nous retiendrons la valeur de 0,9.

On obtient ainsi le tableau suivant des débits moyens mensuels reconstitués ainsi que les hydrogrammes calculés au niveau de chacun des points de jaugeage.

		Débits moyens mensuels (l/s)											
Station	**Surface (km²)**	**Janv**	**Fév**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juil**	**Août**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
J1 (Affluent Yaou entrée site)	2.11	104.0	141.6	186.0	231.9	282.9	275.0	183.5	123.1	71.0	40.5	31.5	51.9
J2 (Yaou aval mine)	1.46	74.7	101.7	133.5	166.5	203.1	197.4	131.7	88.4	51.0	29.1	22.6	37.3
J3 (Yaou amont mine)	1.06	56.0	76.2	100.1	124.8	152.2	148.0	98.8	66.3	38.2	21.8	16.9	27.9
J4 (Crique H)	0.89	47.8	65.1	85.5	106.6	130.1	126.4	84.4	56.6	32.7	18.6	14.5	23.9
J5 (Crique BW)	0.07	4.9	6.6	8.7	10.8	13.2	12.8	8.6	5.7	3.3	1.9	1.5	2.4
J6 (Crique Mattéo)	0.11	7.3	9.9	13.0	16.2	19.8	19.3	12.9	8.6	5.0	2.8	2.2	3.6



Conformément aux observations faites en 2010 puis en avril 2014, les débits moyens mensuels ainsi reconstitués marquent les différents cycles hydrologiques des cours d'eau.

En avril 2014, la période correspondait théoriquement à une période **semi-humide**, intermédiaire entre la saison des pluies et la saison sèche mais s'est révélée sur le terrain être plus proche d'une période sèche.

2.1.5. Détermination des débits de crue

La modélisation hydraulique réalisée dans cette étude propose des résultats pour les crues de temps de retour 10 ans et 100 ans.
Disposant de peu d'informations sur les débits de crue de ce cours d'eau, une analyse des méthodes utilisées a été effectuée. Une analyse hydrologique a donc été menée suivant différentes méthodes statistiques.

2.1.5.1. *Morphologie*

Afin de déterminer les débits de crue, nous avons, dans un premier temps, défini les caractéristiques topographiques et physiques des bassins versants étudiés.

Pour cela, nous les déterminons sur la crique Yaou au niveau de Yaou amont (J3) correspondant à l'entrée du modèle présenté dans le chapitre suivant :

- **Crique Yaou :** le fond de vallée est peu pentu (≈ 0,7 %) et s'écoule au droit de la mine dans des flats. Les versants sont caractérisés par une forte densité d'arbres tropicaux.

Vue de la crique Yaou aval

Précisions sur les paramètres retenus et calculés

Surface	superficie topographique du bassin versant drainé
Longueur	longueur du plus long thalweg du bassin versant drainé (ou plus long cheminement hydraulique)
Pente	pente moyenne du plus long thalweg (la pente pondérée a aussi été calculée et est utilisée dans les calculs de temps de concentration)
Temps de concentration	durée critique d'une averse pour le bassin versant considéré (ou temps mis par une goutte d'eau à l'extrémité du bassin pour parvenir à son exutoire = temps de montée de la crue du bassin). En l'absence de données mesurées, ce paramètre a été déterminé par application et comparaison de formules empiriques classiques : Giandotti, Ventura, Turazza-Passini. Formule de Giandotti : $T_c = \frac{0.4 \times \sqrt{100 \times S} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{i \times L \times 1000}}$ Formule de Turraza : $T_c = 0.108 \times \frac{(S \times L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$ Formule de Passini : $T_c = 0.14 \times \frac{(S \times L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$ Formule de Ventura : $T_c = 0.1272 \times \sqrt{\frac{S}{i}}$
Coefficient de ruissellement	fraction de la pluie tombée qui ruisselle et participe à la crue du bassin. Déterminé ici pour la fréquence décennale en tenant compte de la couverture végétale, de la pente et de la nature des terrains.

Le tableau suivant présente les principaux paramètres retenus pour l'analyse topographique :

Localisation	Surface (km²)	Longueur (km)	Pente (%)	Coefficient de ruissellement	Temps de concentration
Yaou	1.05	1.6	0.5%	0.60	1h 49 min
BW	0.07	0.3	0.5%	0.50	37 min
Matteo	0.18	0.6	1.8%	0.50	42 min
B2+B3	0.19	0.4	0.2 %	0.70	39 min
B4	0.09	0.3	0.2 %	0.70	26 min

2.1.5.1. *Climatologie- données de pluie*

La station automatique météo France la plus proche de la zone d'étude se situe au Sud-Est de Yaou à Maripasoula.

Les coefficients de Montana, qui permettent de calculer les intensités pluvieuses (en mm/h) pour une durée de précipitation T inférieure à 2h à partir de la formule suivante, ont donc été reconstitués à partir de ces données :

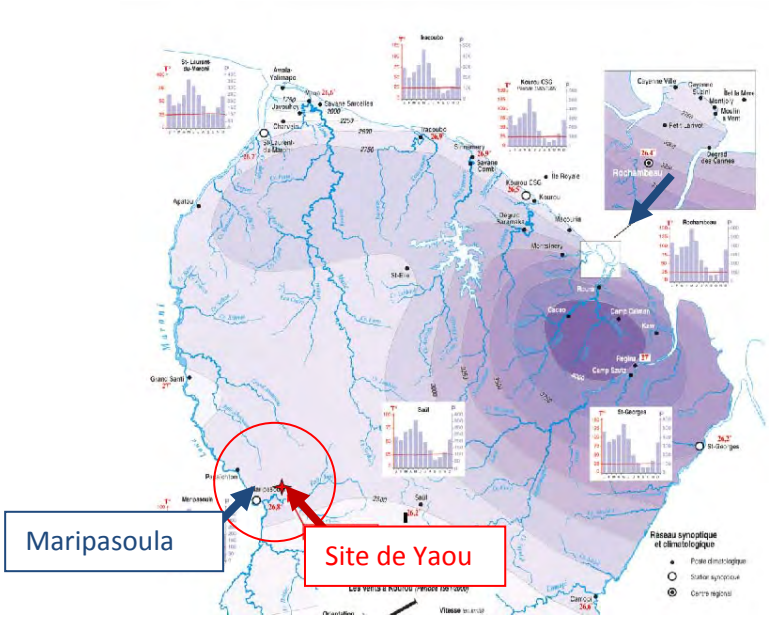
$$I\ (mm/h) = a * T^{-b}$$

Le tableau suivant présente les coefficients de Montana pour les pluies de retour 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans calculés à la station de Maripasoula :

Durée de retour	a	b
5	**446,64**	**0,547**
10	489,5	0,553
20	**540,9**	**0,561**
30	572,2	0,567
50	**615,6**	**0,576**
100	674,3	0,587

Coefficients de Montana (15min-2h) pour la station de Maripasoula (2011)

La station de Maripasoula se situe au cœur de la forêt amazonienne au Sud-Est du site de Yaou, où les pluies sont moins intenses que sur la côte.



Répartition de la pluviométrie en Guyane

2.1.5.2. *Hydrologie - détermination des débits de crue*

Le calcul du débit décennal peut s'effectuer, en théorie, à partir de plusieurs méthodes, dont :

- **Méthode Crupédix** qui a été obtenue par une analyse statistique de 630 bassins versants de moins de 2000 km² ;
- **Méthode Socose** qui est le résultat d'une synthèse menée à partir de l'observation de 5000 crues sur 194 bassins versants de 2 à 200 km² ;
- **Méthode rationnelle,** généralement utilisée pour des bassins versants d'une superficie inférieure à 2 km².

NB : On notera que le choix de retenir la méthode des similitudes par débit jaugé n'a pas été jugé pertinent au vu de la comparaison effectuée entre les mesures de terrain et les débits moyens mensuels.

Parmi ces trois méthodes généralement utilisées, nous avons choisi de retenir la **méthode rationnelle** qui est la méthode la plus adaptée aux bassins versants de petite superficie (< 2 km²).
La méthode rationnelle est basée sur l'hypothèse qu'une pluie constante et uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant produit un débit de pointe lorsque toutes les sections du bassin versant contribuent à l'écoulement, soit après un temps égal au temps de concentration.

En simplifiant, la méthode rationnelle suppose que le débit maximal est obtenu lorsque la durée de la pluie est égale au temps de concentration. Elle ne tient pas compte de l'hétérogénéité de la pluviométrie et a tendance à surévaluer le débit de pointe.

$$\mathbf{Qp = C \times I_p \times A/360}$$

où

Qp : Débit de pointe du bassin versant (en m^3/s).
A : Superficie du bassin versant (en ha).
C : Coefficient de ruissellement (pas d'unités). Ce facteur représente la proportion de l'eau totale précipitée qui ruisselle. Afin d'assurer un dimensionnement suffisant des structures, il est préférable de choisir une valeur du coefficient C qui représente les pires conditions de ruissellement du bassin versant.
I_p : Intensité de la précipitation pour une durée de précipitation égale au temps de concentration (en mm/h).

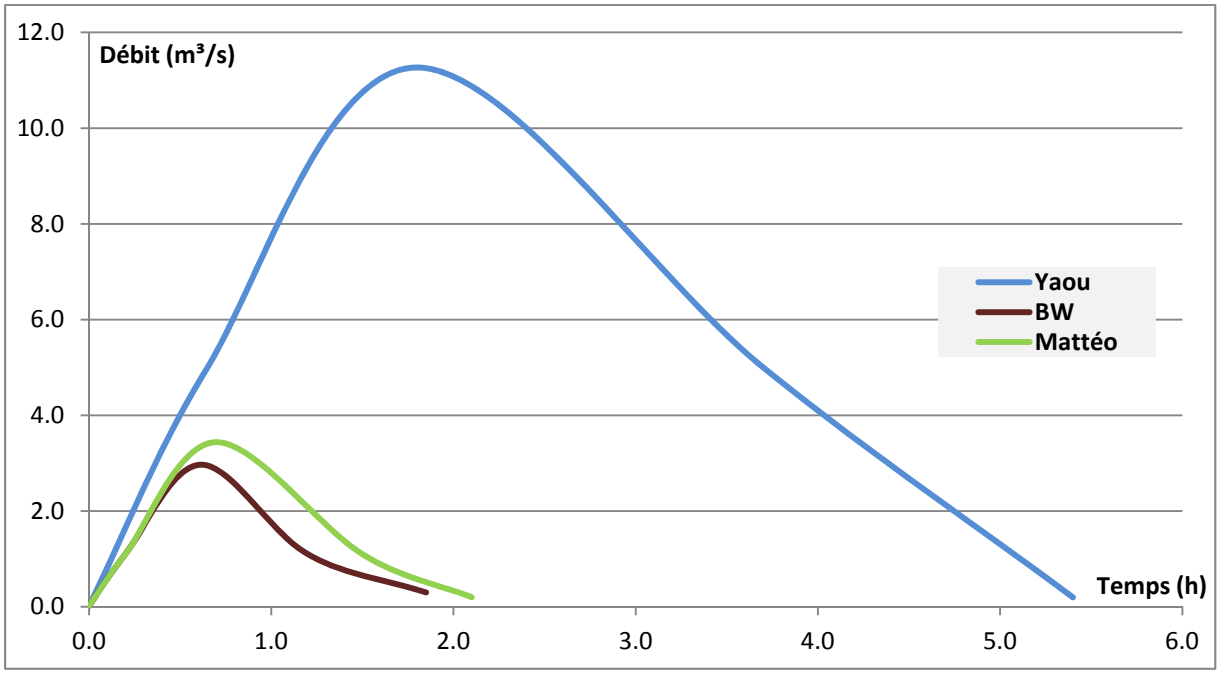
Cette méthode peut s'appliquer aux débits de crue pour des temps de retour 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans.

Le tableau suivant répertorie donc les débits de crue pour les temps de retour cités ci-avant sur les criques Yaou, BW et Matteo ainsi que sur les bassins de rejets B2-B3 et B4 :

Localisation	Q5 (m^3/s)	Q10 ($m^3//s$)	Q20 (m^3/s)	Q30 (m^3/s)	Q50 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)
Yaou	6.8	7.6	8.7	9.7	10.8	11.3
BW	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	3.0
Matteo	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.4
B2 + B3	2.5	2.8	3.2	3.4	3.7	4.2
B4	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	2.2

2.1.5.1. *Hydrologie – hydrogrammes de crue*

Afin de mener une modélisation hydraulique de ces trois criques, nous réutilisons les débits de crue pour définir les hydrogrammes d'entrée des modèles. On obtient alors pour une crue centennale les hydrogrammes suivants, avec une durée de crue égale à trois fois le temps de concentration :



Hydrogrammes d'entrée des criques Yaou, BW et Matteo pour une crue centennale

Etant donné les configurations des bassins versants des criques BW et Matteo, tous deux affluents de la crique Yaou, leur apport en termes de débits ne peut-être négligé dans le modèle.

Ces deux criques ayant gardé un caractère naturel, nous avons considéré que l'infiltration était plus probable que sur le bassin versant de Yaou dans lequel la création de pistes a favorisé le très fort ruissellement.

D'une manière générale, sur les trois criques, le régime est quasi-torrentiel avec l'apparition de crues brutales et rapides.

En ce qui concerne les eaux s'écoulant sur les bassins B2-B3 et B4, nous retiendrons dans les calculs que les débits de pointe afin de déterminer les hauteurs d'eau et vitesses.

2.1.6. Hydraulique et inondabilité

2.1.6.1. *Généralités*

La commune de Maripasoula ne dispose pas de Plan de Prévention du Risque Inondation, ni d'une cartographie des zones inondables qui concernerait la crique Yaou.

Au niveau du site du camp de base, les habitations sont situées sur un plateau surplombant la mine de Yaou et donc en dehors de la zone inondable. Il en est de même pour l'usine gravimétrique actuelle et à venir et les stockages de gazole et de produits dangereux.
L'UMTMA, située en position haute et hors de tout lit de crique ou criquot, reste située bien en dehors de toute zone potentiellement inondable.

Le premier parc à résidus ultimes prévu au Sud-Ouest de l'usine gravimétrique actuelle (PARU 1), n'est pas situé dans le lit mineur de la crique Yaou. En revanche, les parcs à résidus qui sont réexploités puis réutilisés dans un second temps comme parcs à résidus pour les résidus ultimes décyanurés sont situés sur le lit mineur d'une crique qui ne s'écoule que très peu aujourd'hui. De ce fait, ils sont placés **en zone inondable**.

Ces zones sont malgré tout contrôlées par la dérivation et la canalisation de ces criques et criquots en dehors de ces zones de stockage.

Une attention particulière a été portée quant au dimensionnement et à l'éventuel rehaussement du barrage aval afin de garantir la situation des parcs à résidus hors zone inondable (Cf modélisation hydraulique).

2.1.6.2. *Construction du modèle numérique*

Les profils utilisés pour les modélisations à l'état initial, issus de la topographie réalisée sur le site, sont localisées sur la Figure **8**.

Dans la crique Yaou, il existe deux ouvrages anthropiques susceptibles de créer un obstacle à l'écoulement. Le fond de vallée conserve tout de même un caractère naturel malgré la présence de dépôts sédimentaires issus du ruissellement routier provenant des pistes.
Sur la crique où sont situés les bassins de rejets actuels 2, 3 et 4, l'écoulement s'effectue sur les rejets de la gravimétrie qui ont petit à petit submergé les barrages de retenue. Les eaux sont retenues à l'aval au niveau du barrage Lauvernier (ou digue D2 dans le MT). Cette crique est recoupée par trois barrages de retenue des résidus, équipés de surverse en surface pour les eaux de ruissellement pluvial.

Le modèle numérique a été mis en œuvre en **régime permanent** à l'aide du logiciel **ISIS-FLOW** (UK, Wallingford). Celui-ci permet de calculer, sur une section de cours d'eau, la hauteur de la ligne d'eau et le débit correspondant. Il permet également de modéliser les débordements et d'estimer les débits, vitesses et hauteurs dans les plaines d'expansion en bordure du cours d'eau.
Pour certaines sections, des calculs selon la formule de Manning-Strickler ont été utilisés.

2.1.6.3. *Conditions aux limites du modèle*

Les conditions aux limites du modèle numérique sont les suivantes :

- **conditions amont** : hydrogrammes de crue issus de l'analyse hydrologique (amont) en entrée des profils N°1 pour la crique Yaou, en entrée du profil N°15 pour BW et en entrée du profil N°22 pour la crique Matteo ;
- **condition aval pour Yaou** : relation hauteur d'eau/débit, estimée à l'extrémité aval par calcul de la hauteur normale ;
- **condition aval pour BW** : connexion avec le modèle de Yaou entre les profils N°5 et 6 ;
- **condition aval pour Matteo** : connexion avec le modèle de Yaou entre les profils N°9 et 12.

Les lits majeurs sont légèrement végétalisés quand ils ne sont pas remplis de résidus et les lits mineurs constitués d'un fond sédimentaire; nous avons donc retenu les coefficients de Manning-Strickler suivants :

K lit mineur	K forêt	K lit majeur
20	10	15

Coefficients de Manning-Strickler choisis

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Zone inondable de la crique Yaou
- Profils en travers

Base de vie
Usine de gravimétrie
Crique Tomantoni
Bassin 1
Bassin 2
Bassin 3
Bassin 4
Futur PARU 1
UMTMA
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
Crique BW
Crique H
Crique Yaou
Crique Mattéo
Affluent rive gauche de Yaou

N

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101		
Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie de la zone inondable sur Yaou et localisation des profils en travers

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 8

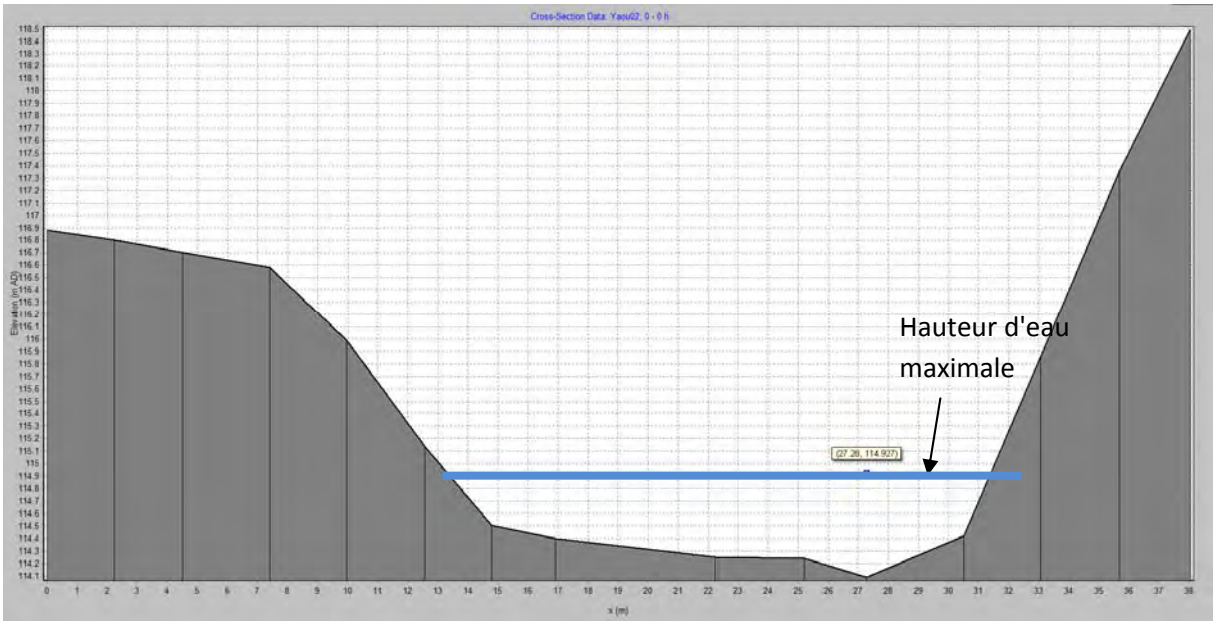
2.1.6.1. *Résultats de la modélisation hydraulique*

2.1.6.1.1. *Crique de Yaou*

Dans la crique Yaou, en crue centennale, le gonflement du cours d'eau s'effectue très rapidement. Etant donné l'étroitesse de la vallée en amont (vers P3), on observe des hauteurs d'eau comprises entre 85 cm et 1,2 m entre P1 et P5. La limite de la zone inondable est définie par la piste en rive gauche et par les contre-forts du talus en rive droite. Les vitesses sont supérieures à 0,5 m/s dans ce secteur (jusqu'à 2,3m/s en P4).

Ensuite, lorsque la vallée s'évase et que les eaux de la crique Yaou s'écoulent dans le flat, les eaux s'étalent et la ligne d'eau s'abaisse à 60 cm environ. Malgré les apports de la crique BW située en rive droite, la vitesse diminue et est de l'ordre de 0,55 m/s.

En fond de vallée, à l'aval, la hauteur d'eau est toujours estimée à environ 60 cm. Les eaux traversent la piste et s'étalent ensuite pour remplir le flat sur une hauteur moyenne de 0,55 m. En certains endroits, les eaux remplissent des zones de dépression et les hauteurs dépassent souvent 1 m. Etant donné la largeur de la vallée à l'aval, les vitesses calculées sont toutes inférieures à 0,5 m/s (de P10 à P14).



Exemple du niveau de crue au niveau du profil P2

Les lignes de niveau et vitesses résultant de la modélisation sont illustrés en Annexe 3.

Les résultats de la modélisation pour le débit de crue centennale sont les suivantes :

Crue	Cote (m NGF)	Hauteur d'eau / fond du lit	Vitesse en fond de vallée	Vitesse maximale en lit majeur	
				RG	RD
Q100	entre 115.43 (P1) et 101.22 (P14)	0,55 (aval) à >1m (amont)	0,44 (aval) à 2,3 m/s (amont)	0,2 à 1,5 m/s	0,3 à 1,5 m/s

2.1.6.1.2. *Bassins de rejet*

Les bassins de rejets actuels B2, B3 et B4 se situent actuellement dans un fond de vallée dans lequel s'écoulait une crique. En l'état actuel, les bassins sont remplis de résidus. Les eaux qui s'écoulent à surface libre sur les rejets s'infiltrent en partie. Le reste est contenu dans les bassins de rejets et forme un lac dont la hauteur des eaux est supérieure à 1m. Au niveau du barrage Lauvernier (digue D2), les eaux retenues dans ce bassin puis sont vidangées via un canal de surverse mis en place en rive gauche au niveau du barrage.

Nous avons réalisé sur ce secteur un calcul sur les sections à l'aide de la méthode de Manning-Strickler afin d'évaluer le niveau moyen des eaux et leur vitesse d'écoulement. Etant donné que la largeur des bassins de rejets est importante et qu'il n'existe pas de lit mineur marqué, il n'a pas été possible de réaliser de modélisation.

En considérant les apports des bassins versants latéraux, la surélévation au dessus du niveau des rejets est supérieure à 1 m. D'une manière générale les vitesses sont toutes supérieures à 0,5 m/s.

Les résultats des calculs dits de Manning-Strickler pour le débit de crue centennale sont les suivants :

Crue	Cote (mNGF)	Hauteur d'eau / fond du lit	Vitesse en fond de vallée
Q100	Entre 120 (B2, B3) et 117 m (B4)	>1 m	> 0,5 m/s

2.1.6.2. *Cartographie des aléas à l'état initial*

En vue de préciser les niveaux d'inondation atteints, le résultat des modélisations a été traduit en terme d'aléa sur l'ensemble du secteur d'étude, et ce pour la crue de référence retenue, qui est la crue centennale en l'absence de crue historique plus importante connue.

2.1.6.2.1. *Définitions*

L'aléa se définit comme "*un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données*".

Le phénomène naturel d'inondation est défini comme suit : "*submersion de terrains avoisinant le lit d'un cours d'eau, suite à une crue généralement annonçable : la hauteur d'eau peut être importante et la vitesse du courant significative*".

Notion d'intensité et de fréquence

L'élaboration de la carte des aléas d'inondation impose donc de connaître, sur l'ensemble de la zone étudiée, l'intensité et la probabilité d'apparition des phénomènes d'inondation.

↳ L'intensité d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de sa nature même, de ses conséquences ou des parades à mettre en œuvre pour s'en préserver.
Des paramètres simples et à valeur générale comme la hauteur d'eau et la vitesse du courant peuvent être déterminés plus ou moins facilement pour les phénomènes d'inondation.

↳ L'estimation de l'occurrence d'un phénomène de nature et d'intensité données passe par l'analyse statistique de longues séries de mesure. Elle s'exprime généralement par une période de retour qui correspond à la durée moyenne qui sépare deux occurrences du phénomène.

Pour les inondations, la probabilité d'occurrence des phénomènes est généralement appréciée à partir d'informations historiques (débits, pluies).

Cartographie des phénomènes et des aléas

C'est la représentation graphique de l'étude prospective et interprétative des différents phénomènes possibles.

Le niveau d'aléa en un site donné résulte d'une combinaison du facteur occurrence temporelle et du facteur intensité. On distingue généralement 3 degrés en fonction des paramètres de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement pour la crue de référence modélisée (voir ci-dessous).

2.1.6.2.2. *Cartographie des aléas inondation*

Pour un cours d'eau donné, l'aléa inondation est défini comme le croisement entre les paramètres caractéristiques d'écoulement d'une crue de référence de ce cours d'eau. En ce qui concerne les trois criques étudiées, les paramètres retenus sont :

1) la **hauteur** d'écoulement par rapport au terrain naturel,
2) la **vitesse** de l'écoulement.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- H < 0,5 m
- 0,5 m < H < 1 m
- H > 1 m
- Profils en travers

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
B1
B2
B3
B4
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
UMTMA
Crique BW
Crique Mattéo
Crique H
Crique Yaou
Affluent rive gauche de Yaou
N
0 m 75 m 300 m
Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD
Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie des hauteurs à l ’état initial

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 9

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- V < 0,2 m/s
- 0,2 m/s < V < 0,5 m/s
- V > 0,5 m/s
- Profils en travers

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
B1
B2
B3
B4
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
UMTMA
Crique BW
Crique H
Crique Mattéo
Crique Yaou
Affluent rive gauche de Yaou

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101		
Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie des vitesses à l ’état initial

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 10

A partir des résultats de la modélisation déterminés ci-avant, nous utilisons la grille suivante croisant les hauteurs et les vitesses afin de réaliser la cartographie des aléas sur le secteur :

		Vitesse d'écoulement v en m/s		
		v < 0,2	0,2 ≤ v < 0,5	v ≥ 0,5
Hauteur d'eau h en m	h ≥ 1	aléa fort	aléa fort	aléa fort
	0,5 ≤ h < 1	aléa moyen	aléa fort	aléa fort
	h < 0,5	aléa faible	aléa moyen	aléa fort

La Figure 11 présente la cartographie des aléas retenue dans le cadre de cette étude.

2.1.6.3. *Inondabilité du site*

Les terrains concernés par l'implantation de l'UMTMA se situent en dehors de toute zone inondable et sont surélevés.

D'une manière générale, les zones inondables ne concernent aucune zone à enjeu humain. Les fonds de vallée et les bassins de rejets sont caractérisés par des aléas forts.

Aucune des zones d'activités liées au fonctionnement de SMYD se situent en zone inondable.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Profils en travers

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
B1
B2
B3
B4
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
UMTMA
Crique BW
Crique H
Crique Mattéo
Crique Yaou
Affluent rive gauche de Yaou

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101		
Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie des aléas à l ’état initial

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 11

2.2. IMPACTS POTENTIELS DES AMENAGEMENTS

2.2.1. Le projet de mise en place de parcs à résidus pour le stockage des résidus ultimes

2.2.1.1. *Sur la plate forme Sud-Ouest des parcs à résidus actuels (PARU 1)*

La réalisation d'ouvrages de retenue ou « parcs à résidus » s'établit en deux phases. Les deux ensembles d'ouvrages seront les suivants :

- sur la plateforme au Sud-Ouest de l'usine de gravimétrie actuelle, mise en place d'un casier de stockage des résidus ultimes en deux étapes :
    1) les sables seront retenus dans un casier en sous-sol sur un fond constitué de matériaux étanches,
    2) les sables seront ensuite stockés hors-sol en remblai avec mise en place au préalable d'une couche argileuse saprolitique et conçu sur les bords avec un épais masque graveleux (enrochements latéritiques) ;
- en aval, d'un barrage étanche de rétention des eaux drainées à travers le premier ouvrage et des eaux de l'impluvium propre à ce deuxième bassin.

Voici les dimensions envisagées pour ces ouvrages :

	Profondeur ou Hauteur	Volume de rétention des eaux	Volume des résidus
Casier	7 m	-	269 200 m³
Remblai	12 m	-	198 000 m³
Barrage aval SO PARU 1	5,5 m	6 000 m³	-

L'ensemble casier-remblai de stockage amont assure la rétention-décantation-filtration des sables, le barrage aval sert de clarificateur.

2.2.1.2. *Réutilisation des parcs à résidus actuels (PARU 2)*

Dans le cas où l'ensemble casier-remblai de stockage de la zone Sud-Ouest ne semble pas suffisant pour contenir les résidus ultimes, il est prévu de réutiliser les parcs à résidus actuels dont le contenant sera traité par l'UMTMA.

Selon le principe de phasage envisagé, il est prévu d'exploiter le bassin situé le plus à l'aval (n°4) puis le bassin du milieu (n°3) et enfin le plus à l'amont (n°2). Les barrages intermédiaires seront également démantelées afin de conserver un seul parc de stockage des résidus ultimes. Ainsi, deux ensembles de barrages seront positionnés dans la crique :

- le premier au niveau du premier barrage situé le plus à l'aval (barrage Lauvernier),
- le deuxième plus à l'aval, étanche et servant pour la rétention des eaux drainées.

Le tableau suivant présente les dimensions attendues pour ces deux ouvrages :

	Nom	Hauteur	Largeur de crête	Volume rétention du bassin
Ensemble de barrages PARU 2	Barrage Lauvernier (digue D2)	17 m	6 m	1 460 000 m³
	Barrage aval PARU 2 (digue D3)	6 m	6 m	11 000 m³

2.2.2. Dimensionnement des bassins

2.2.2.1. *Redéfinition des bassins versants*

Etant donné la nouvelle configuration des zones de stockages de résidus ultimes projetés, les eaux pluviales seront dérivées afin de ne pas s'écouler au travers des ouvrages créés et provoquer un risque de contamination à l'aval.

Ainsi, nous avons défini les bassins versants relatifs aux nouveaux projets, dont les délimitations sont localisées sur la Figure 12.

Dans le tableau ci-après, sont données les caractéristiques morphologiques de ces bassins versants:

Crique de rejet	BV	Superficie (km²)	Longueur (m)	Pente (%)
Yaou	SBV A	0,07	630	35
	SBV bassin eaux claires PARU 1	0,008	200	55
	SBV B	0,22	1550	35
	SBV 1	0,052	250	2
	SBV 2+ 3 + SBV4 (PARU 2)	0,162	570	0,2
	SBV bassin eaux claires PARU 2	0,01	300	35

Remarque : le sous-bassin versant du projet du parc à résidus ultimes 2 (PARU 2) comprend les SBV 2+3 et SBV 4 correspondant aux bassins 2, 3 et 4 actuels.

Les bassins versants interceptés par les canaux de dérivation présentent des pentes particulièrement fortes (>30%) : SBV A et SB B.

Les caractéristiques des bassins versants correspondant aux parcs à résidus ont été considérées comme si les bassins étaient remplis de matériaux fins sur lesquels les écoulements s'effectuent.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Délimitation du sous-bassin versant

SBV B

SBV 1

SBV A

SBV 2+3

SBV 4

SBV bassin eaux claires PARU 1

SBV bassin eaux claires PARU 2

N

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisations des sous-bassins versants projet

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 12

2.2.2.2. *Méthode des pluies : vérification du volume minimal des bassins*

Nous appliquons la méthode des pluies afin de vérifier le niveau de protection de ces ouvrages, à savoir comparer leur volume théorique à celui généré par une crue centennale de durée égale au temps de concentration.

Il s'agit de la méthode réglementaire développée dans l'Instruction Technique 1977, qui fait référence dans la gestion des eaux pluviales.

Elle tient compte :

- du fonctionnement d'un débit de fuite;
- de la durée de pluie la plus pénalisante;
- des pluies locales;
- du coefficient de ruissellement adapté à la période de retour considérée.

Il s'agit de déterminer le volume maximal entre le volume ruisselé sur la superficie à traiter et le volume évacué par le débit de fuite.

Calcul du volume ruisselé :

$$Vr = 10 * S * C * I(t) * t = 10 * S * C * a * t^{1-b}$$

avec :

Vr le volume ruisselé en m³

S : superficie totale du projet en ha

C : coefficient de ruissellement global

I(t) : intensité moyenne de la pluie à t (mm/min) calculée par la formule de Montana

$$I = (60*a) \times t^{-b}$$

t : durée de la pluie en min

Calcul du volume évacué par le débit de fuite :

$$Ve = Qf * t * \left(\frac{60}{100}\right)$$

Avec :

Ve le volume évacué par le débit de fuite en m³.

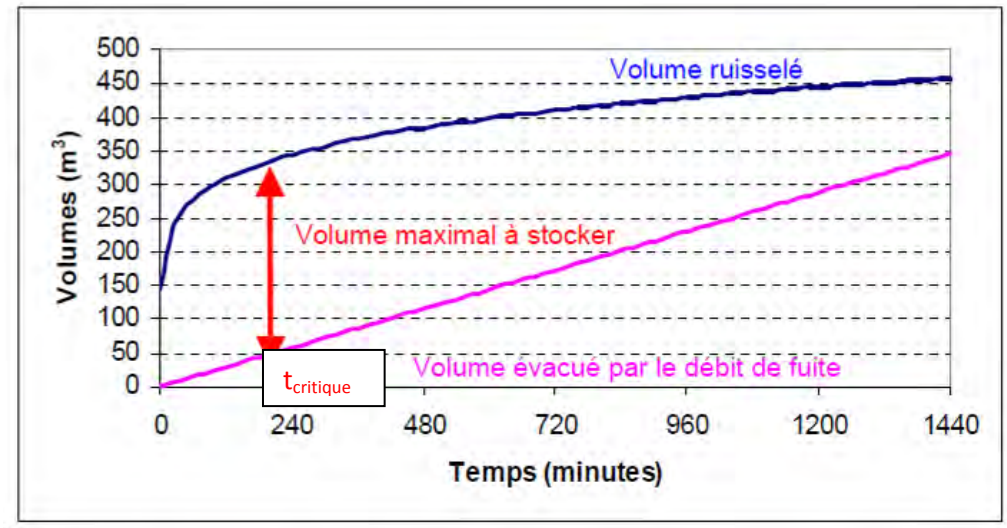
Qf : débit de fuite en L/s. Dans cette méthode, celui-ci est supposé constant.

t : durée de la pluie en min

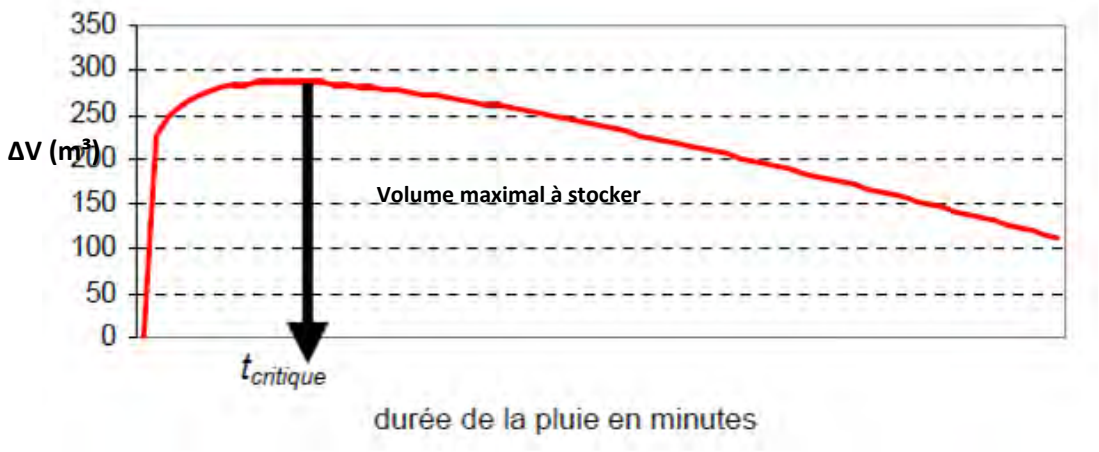
Dans notre cas, le débit de fuite est considéré comme une estimation du débit s'écoulant dans les buses de surverse. Dans la plupart des cas, il s'agit de buses de diamètre 300 à 500 mm utilisés pour la surverse des eaux de trop plein des bassins.

Le débit de fuite est pris égal à 300 l/s.

Le principe de la "méthode des pluies" est explicité avec le graphique suivant :



Le graphique précédent peut aussi être interprété de la manière suivante :



Où ΔV = Vr-Ve.

D'après le graphique précédent, le volume maximal à stocker se trouve au point d'inflexion de la courbe ΔV=f(t), situé au temps tc.

En ce point, on a $\left(\frac{d(\Delta V)}{dt}\right)_{t=tc} = 0$

On a alors :

$$tc = \left(\frac{60 * Qf}{1000 * 10 * C * a * (1-b) * S}\right)^{\frac{-1}{b}} \text{ en min}$$

Le volume à stocker (Vs=ΔV(tc)) est alors obtenu par la formule suivante :

$$Vs = \left[\frac{60}{1000 * 10 * a * (1-b)}\right]^{\frac{-1}{b}} * \left(\frac{60}{1000}\right) * \left(\frac{b}{1-b}\right) * S^{\frac{1}{b}} * Qf^{1-\frac{1}{b}} * C^{\frac{1}{b}}$$

Le tableau ci-après présente ainsi les volumes d'eau ruisselant sur chacun des bassins et le temps de retour associé.

Crique	Bassin	Volume total théorique (m^3)	Volume réel de rétention des eaux de ruissellement (m^3)	Volume à retenir Q_{100} (m^3)	Dimensionnement associé
Yaou	Bassin PARU 2	970 000	63 000 (revanche 0,5 m)	8 000	>>100 ans
	Bassin des eaux claires PARU 1	6 000	6 000	100	>>100 ans
	Bassin des eaux claires PARU 2	11 000	11 000	200	>>100 ans

Remarque : le cas du casier de stockage en remblai n'est pas traité dans ce paragraphe puisque cet ouvrage ne permet pas de retenir les eaux de ruissellement. En revanche, les eaux ruisselant sur la partie hors sol ont bien été prises en compte dans le dimensionnement des canaux de dérivation.

Les volumes à retenir ont été déterminés dans le cas le plus pénalisant, c'est-à-dire en fonction d'une pluie de temps de retour 100 ans.

Les volumes réels de rétention des eaux de ruissellement ont été déterminés en considérant une revanche de 0,5 m au dessus du plus haut niveau de sables présents actuellement dans les parcs à résidus.

Ainsi, au vu des résultats présentés ci-avant, les bassins permettent la rétention de crues supérieures à la crue centennale.

2.2.3. Résultat de la modélisation hydraulique

Le projet ne prévoit pas de dérivation des criques par rapport à l'état initial. En revanche, des canaux de dérivation sont prévus afin de limiter le volume des eaux de ruissellement s'écoulant au travers des ouvrages. Ainsi, les eaux ruisselant du bassin versant amont et des bassins versants latéraux s'écouleront dans des canaux de dérivation dont les dimensions sont indiquées dans le chapitre suivant.

Nous avons choisi, par principe de précaution, de les dimensionner pour une **crue centennale**.

En conséquence, les zones inondables calculées correspondent uniquement, dans les secteurs de bassins, aux bassins eux-mêmes dans lesquels les hauteurs d'eau associées sont toutes supérieures à 1 m. Les bassins sont donc tous classés en aléa fort.

Hormis les débordements observés à l'état initial et contenus dans le flat et que l'on retrouve également en situation aménagée, les barrages n'ont quasiment aucune incidence sur les zones inondables de la crique Yaou hormis en pied du barrage des eaux claires à l'aval de PARU 2.

Aucune zone à enjeu humaine (habitations, zone de baignade…) n'est concernée par les zones inondables.

La Figure 13 permet de visualiser les différentes zones inondables modifiées par le projet d'aménagement des nouveaux bassins et de dérivation des criques.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Délimitation du sous-bassin versant

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
Bassin 1
B2
B3
B4
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
Canal de dérivation A
Canal de dérivation B
PARU 1
PARU 2
UMTMA
Crique BW
Crique H
Crique Mattéo
Affluent rive gauche de Yaou

N

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisations des sous-bassins versants projet

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 13

2.3. DIMENSIONNEMENT DES DERIVATIONS DES CRIQUES

2.3.1. Principe de dimensionnement

Sur la partie Ouest, le canal de dérivation prévu autour du casier de stockage de résidus ultimes intercepte les bassins versants principaux sur la zone « hors-sol » ainsi que les eaux s'écoulant depuis le Nord.

Sur la partie Est, un canal de dérivation est prévu sur la partie Est des parcs à résidus actuels afin d'intercepter les eaux provenant du BV naturel.

Le dimensionnement de ces canaux est décrit dans ce chapitre.

Le dimensionnement est effectué à partir des données de débits provenant des sous-bassins versants SBV canal de dérivation A et B, en retenant une section de l'ouvrage**. Le débit de dimensionnement retenu correspond à un débit de période de retour 100 ans.**

La formule utilisée dans ce contexte est la formule de Manning – Strickler, caractéristique des écoulements à surface libre :

$$Q = K_S \times R_H^{\frac{2}{3}} \times S_H \times I^{\frac{1}{2}}$$

avec :

Q : débit (m^3/s)
Ks : Coefficient de Strickler
Rh : Rayon hydraulique (m)
Sh : Section hydraulique (m^2)
I : Pente (m/m)

2.3.2. Débits retenus pour les sous-bassins versants étudiés

En utilisant la méthode rationnelle, nous avons obtenu les débits centennaux qui servent au dimensionnement des canaux de dérivation :

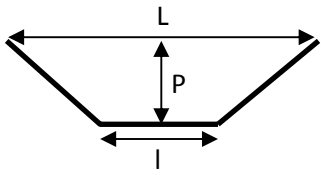
Crique	Sous-bassin versant	Q_{100} (m^3/s)
Yaou	SBV canal de dérivation A	3,1
	SBV canal de dérivation B	6,6

Les sous bassins versants sont localisés sur la Figure 12.

2.3.3. Dimensionnement requis

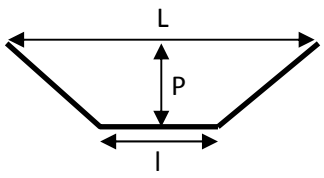
Pour le **canal de dérivation A** localisé sur la Figure 14, les dimensions requises sont les suivantes.

Le canal retenu et situé le long des pistes aura la dimension suivante:

	Temps de retour 100 ans
	Profondeur P = 1 m Largeur en fond l = 1 m Pente = 1/1 Largeur en gueule L = 3 m

Les eaux s'écoulant dans le canal A se rejettent dans la crique Yaou.

Sur le **canal de dérivation B**, les dimensions du canal situé en rive gauche des parcs à résidus actuels sont plus importantes que pour le **canal de dérivation A**.

	Temps de retour 100 ans
	Profondeur P = 2 m Largeur en fond l = 1,50 m Pente = 1/1 Largeur en gueule L = 5,50 m

Les eaux s'écoulant dans le canal B devront traverser la piste pour s'engouffrer dans la forêt. Il est donc à prévoir de mettre en place un ouvrage de passage (rondins de bois, etc) pour permettre le passage du canal sous la voirie et ne pas perturber la bonne circulation des engins empruntant la voie.

NB: Afin d'éviter un risque d'érosion trop important, les pentes retenues sont particulièrement raides (1H/1V).

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques

Crique Yaou
Base de vie
Crique Tomantoni
Usine gravimétrique
Bassin 1
Ouvrage de passage à mettre en place
Canal de dérivation A
PARU 2
PARU 1
Canal de dérivation B
UMTMA
Crique BW
Crique Mattéo
Crique H
Crique Yaou
Affluent rive gauche de Yaou

N

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisation des canaux de dérivation

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 14

3. MODELISATION DE RUPTURE

Plusieurs ruptures de barrage ont été modélisées sur les ouvrages étudiés.

3.1. PRINCIPE DE LA MODELISATION ET METHODE EMPLOYEE

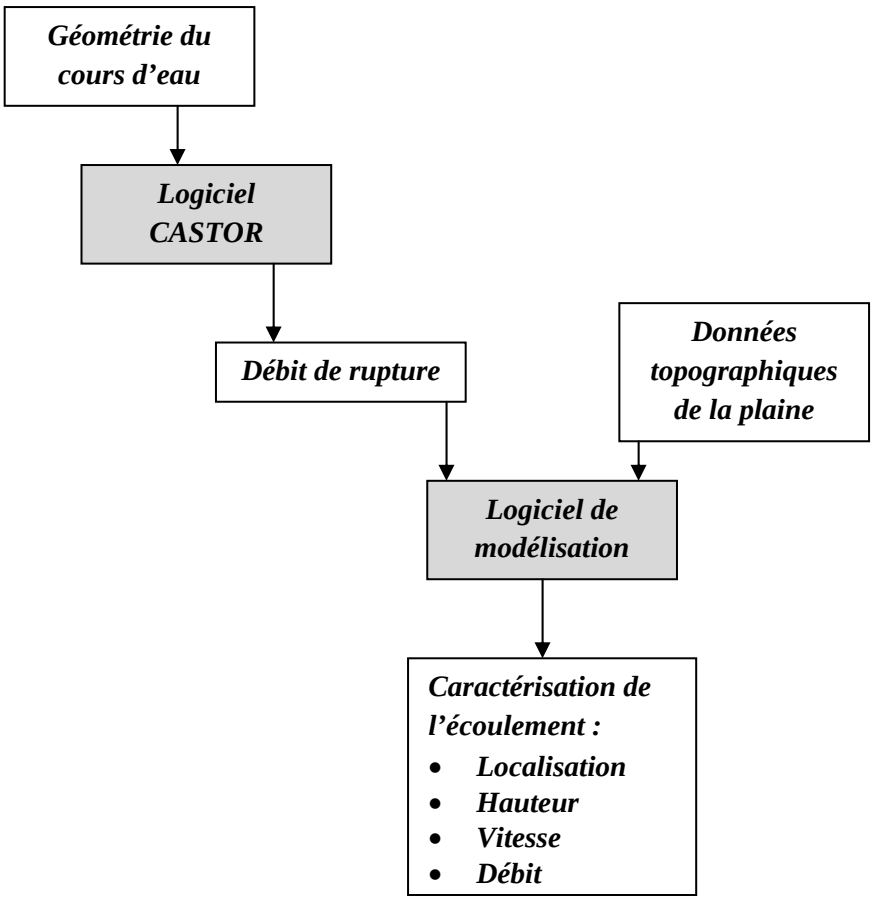
Dans le chapitre précédent, une modélisation hydraulique a été présentée afin de connaître le fonctionnement hydraulique des criques en état actuel puis en état aménagé, avec les parcs à résidus.

Dans ce chapitre, nous allons envisager la rupture des barrages afin de :

- connaître les débits en jeu lors de la rupture,
- identifier les zones pouvant être touchées, les écoulements préférentiels dans la plaine, et l'aléa induit.

Pour l'aspect hydrologique, le modèle CASTOR de l'IRSTEA (ex-CEMAGREF) a été utilisé. Ce logiciel permet de calculer le débit maximum de rupture en fonction de la géométrie de l'ouvrage et de visualiser l'évolution de l'écoulement suivant plusieurs profils en travers caractéristiques de la zone d'écoulement.

Ce modèle a été couplé au modèle hydraulique ISIS-Flow qui permet de calculer l'évolution de l'écoulement suivant plusieurs profils en travers.

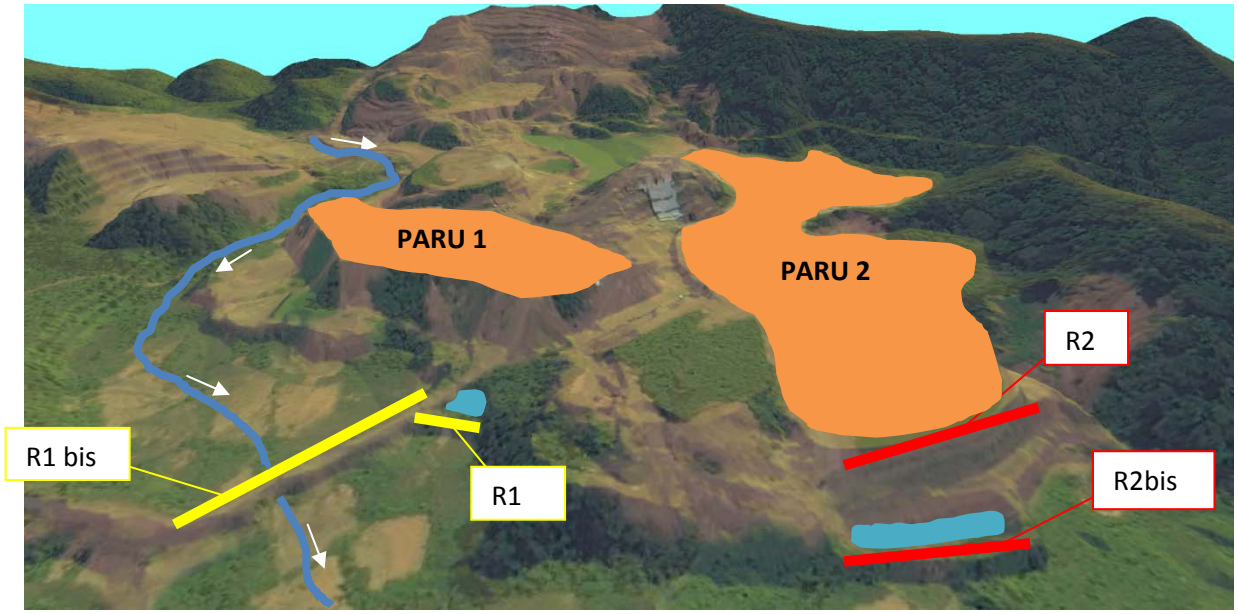


3.2. DETERMINATION DES ZONES DE DEFAILLANCE

3.2.1. Localisation des ruptures

Le schéma suivant présente les secteurs des ouvrages positionnés à l'aval du PARU 1 et du PARU 2 sur lesquels une rupture a été envisagée :

- **R 1 :** au niveau de la digue D3, en aval de PARU 1 des eaux claires (11 000 m³ de retenue) ;
- **R 1 bis :** au niveau de la piste dans laquelle vient s'ancrer la digue D3, en aval de PARU 1, et qui est susceptible de retenir les eaux de crue de la crique Yaou (250 000 m³ de retenue);
- **R 2 :** au niveau de la digue D2 retenant les résidus du PARU 2 (63 000 m³ de volume de rétention réel des eaux) ;
- **R 2 bis**: au niveau de la digue D4, en aval de PARU2, retenant les eaux claires (11 000 m³ de retenue).



3.2.2. Scénarios de défaillance

Les défaillances conduisant à une rupture dans les différents barrages peuvent être due aux phénomènes suivants :

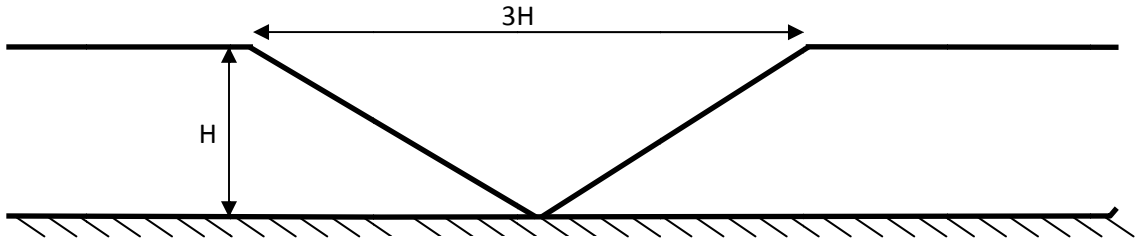
- érosion par surverse,
- glissement de parement,
- érosion interne (renard en particulier).

La rupture de la digue D2 avec son onde de rupture peut également être considérée comme une des causes de la rupture de la digue D4 en aval servant de retenue des eaux claires.

Dans tous les cas, la rupture modélisée est la même.

3.2.3. Géométries des ruptures

Pour les ruptures modélisées sur chaque digue, la géométrie des brèches est triangulaire, d'ouverture égale à 3 hauteurs. La pointe du triangle est située au niveau du terrain naturel.



Soit :

	Brèche dans le barrage Lauvernier (aval PARU 2) - digue D2	Brèche dans le barrage des eaux claires (aval PARU 1) - digue D4	Brèche dans le barrage de la piste (aval PARU 1)	Brèche dans le barrage des eaux claires (aval PARU 2) - digue D3
Hauteur (H)	4 m	4 m	4,5 m	5 m
Largeur (3H)	12 m	12 m	13,5 m	15 m

Dimension des brèches modélisées dans les barrages

NB : pour la digue D2, nous avons considéré une hauteur de 4 m qui représente le cas de défaillance le plus réaliste, sachant qu'à cette hauteur, la retenue est remplie aux 3/4 **de résidus consolidés** et non d'eau.

3.3. RESULTATS DE MODELISATION DU DEBIT DE RUPTURE

Pour les ruptures envisagées, deux scénarii sont étudiés:

- **scénario 1:** rupture de l'ensemble des digues au niveau du bassin des eaux claires à l'aval du PARU 1 simultanément avec la piste ;
- **scénario 2:** rupture de l'ensemble des digues situées à l'aval du PARU 2, amont et aval.

Pour le PARU 1, le cas de la rupture simultanée de la digue de retenue des eaux claires et de la piste positionnée comme un barrage en travers de la crique Yaou présente le risque d'accumulation d'événement le plus grave.

Dans ce cas, on considère que la rupture de la digue de retenue des eaux claires ancrée dans la piste entraîne la rupture simultanée de celui-ci et de la piste qui retient les eaux de l'amont.

Pour le PARU 2, le cas de la rupture de l'ensemble des barrages présente le risque d'accumulation d'événement le plus grave.
En effet, dans le cas où la digue D2 retenant une masse de résidus relativement secs rompt, l'onde amont est en mesure d'emporter la deuxième digue, créant une seconde vague s'étalant dans la vallée à l'aval.

3.3.1. Description des phénomènes engendrés par la rupture de la digue D2

Dans le cas d'une rupture brutale de la digue de retenue des résidus ultimes (D2), une grande partie des résidus dont la teneur en eau est faible s'étale dans la vallée et modifie significativement la topographie. Contrairement aux différents cas de rupture observés sur des bassins de stériles (Baïa Mare en Roumanie en 2000 ou le Val di Stava en 1985), il n'y a que très peu de probabilité d'observer la propagation d'une onde de type lave torrentielle exprimant un mélange entre matériaux résiduels fins et eau de ruissellement pluvial.

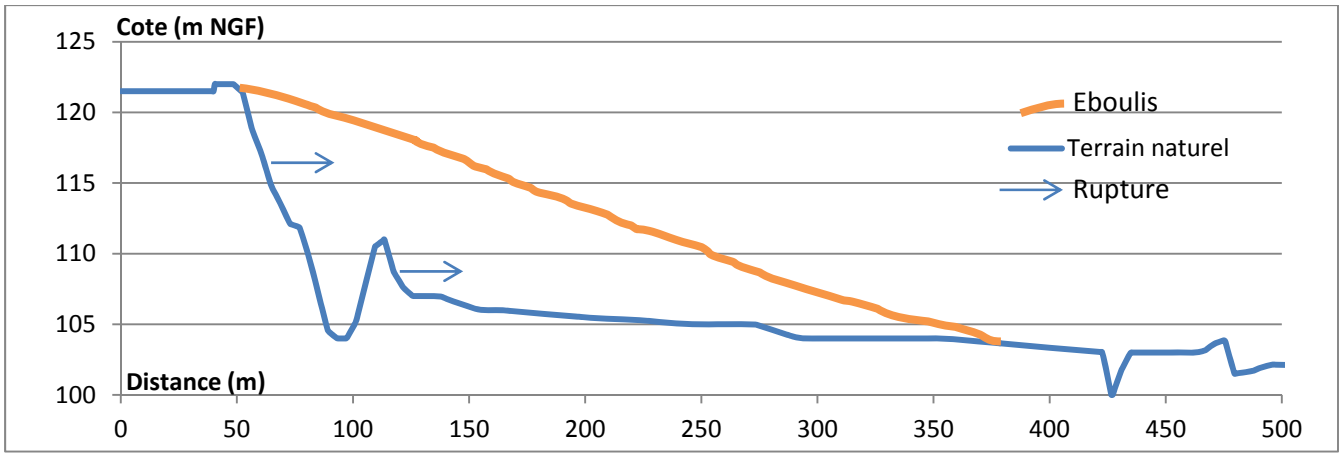
Par conséquent, grâce aux dérivations des criques qui empêchent d'augmenter la teneur en eau des matériaux retenus et de par leur constitution très sèche, nous envisageons au moment de la rupture un étalement d'une partie des matériaux dans la vallée plus à l'aval.

Afin d'estimer la distance de ce cône de déjection, nous nous sommes appuyés sur une méthode empirique qui consiste en une observation des hauteurs et distances relevées dans des cas de rupture similaires.

Les résultats obtenus et décrivant le cône de déjection sont présentés dans le tableau suivant:

	Distance du cône de déjection	Dénivelé
Barrage Lauvernier	350 m	17 m

Le graphique ci-dessous représente schématiquement un profil en long de cet étalement de résidus secs consécutif à une rupture de barrage.



La Figure 15 permet de visualiser la localisation approximative de ce cône de déjection dans la vallée dans le cas du scénario n°2.

3.3.2. Détermination des débits de rupture pour les deux scénarii

Le modèle utilisé pour calculer les débits de rupture au niveau de la brèche envisagée est le logiciel CASTOR.

A partir de la géométrie de la brèche définie ci-avant et de la topographie du site, celui-ci calcule, à l'endroit de la rupture le débit correspondant à l'écoulement de la colonne d'eau présente derrière le barrage, s'échappant au niveau de la brèche envisagée.

Le profil en long des vallées et les profils en travers ont été retenus à partir de la modélisation qui a été réalisée à l'état initial soit:

K lit mineur	K forêt	K lit majeur
20	10	15

Coefficients de Manning-Strickler choisis

Le coefficient de rugosité du lit du cours d'eau a été retenu équivalent à celui de l'état initial.
Le niveau d'eau retenu est celui des plus hautes eaux (PHE) qui correspondent au niveau dans les bassins à la crue centennale ici. Or dans ce cas là, nous avons vu que la charge retenue dans les bassins des eaux claires est très inférieure à la hauteur du barrage.

Pour le calcul, nous retiendrons donc comme niveau d'eau initial, le cas le plus pénalisant soit un bassin à pleine charge (respectivement 4 et 5 m de hauteur).

Pour les secteurs de rupture identifiés, les débits de rupture calculés à l'aide du logiciel CASTOR sont les suivants :

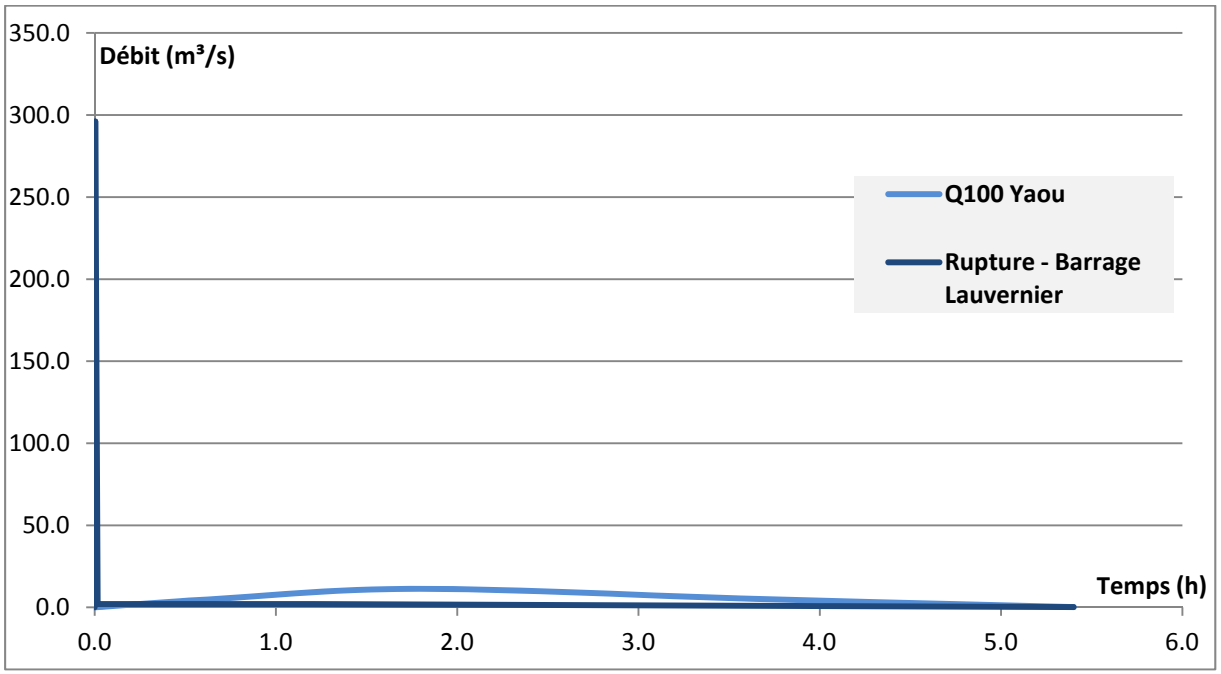
	Débit de rupture pour le scénario 1	Débit de rupture pour le scénario 2
Débit	52 m³/s	295 m³/s

Débits de rupture pour les scénarii 1 et 2

Remarque : Le débit de rupture est différent du débit d'écoulement de l'eau. Il correspond à un débit instantané au niveau de la brèche lorsque la colonne d'eau s'écroule suite à la rupture. Il peut être très largement supérieur au débit réel transporté par le cours d'eau.

L'hydrogramme suivant illustre le caractère intense et extrêmement rapide de ce type de rupture. Il est observable sur une durée de temps très court, généralement inférieure à dix secondes.

Il est également à noter que, dans tous les cas de rupture étudiés, nous avons considéré la concomitance avec une crue centennale de la crique Yaou.



Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Cône de déjection consécutif à la rupture du barrage

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
Bassin 1
Canal de dérivation A
PARU 2
PARU 1
Canal de dérivation B
UMTMA
Crique BW
Crique Mattéo
Crique H
Crique Yaou
Affluent rive gauche de Yaou

N

0 m 75 m 300 m

Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
12/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD

Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Localisation du cône de déjection consécutif à la rupture du barrage Lauvernier et du barrage aval

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 15

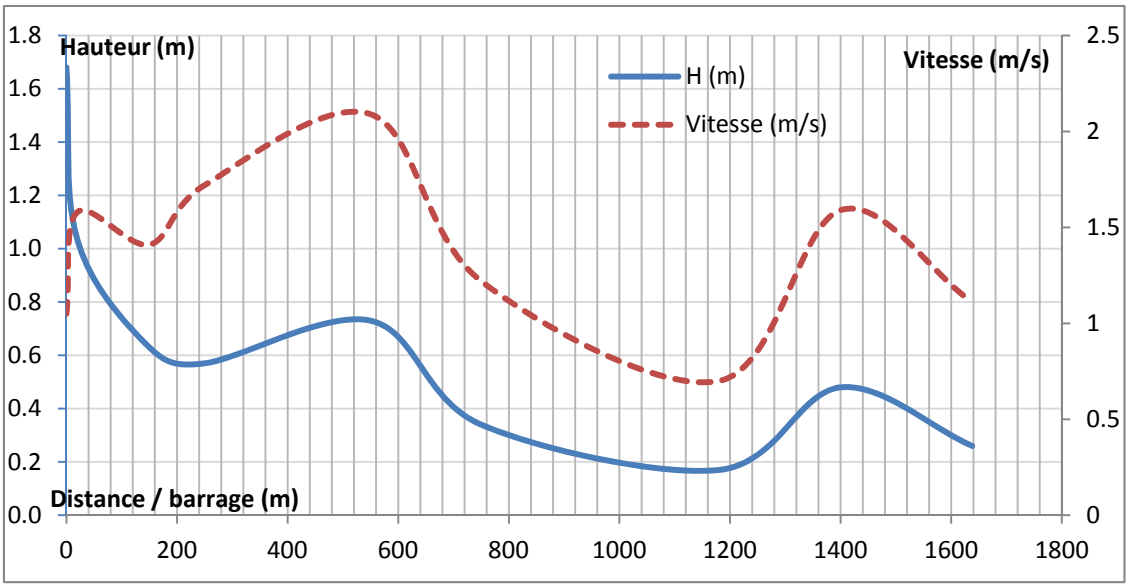
3.3.3. *Résultats de la modélisation pour le scénario 1*

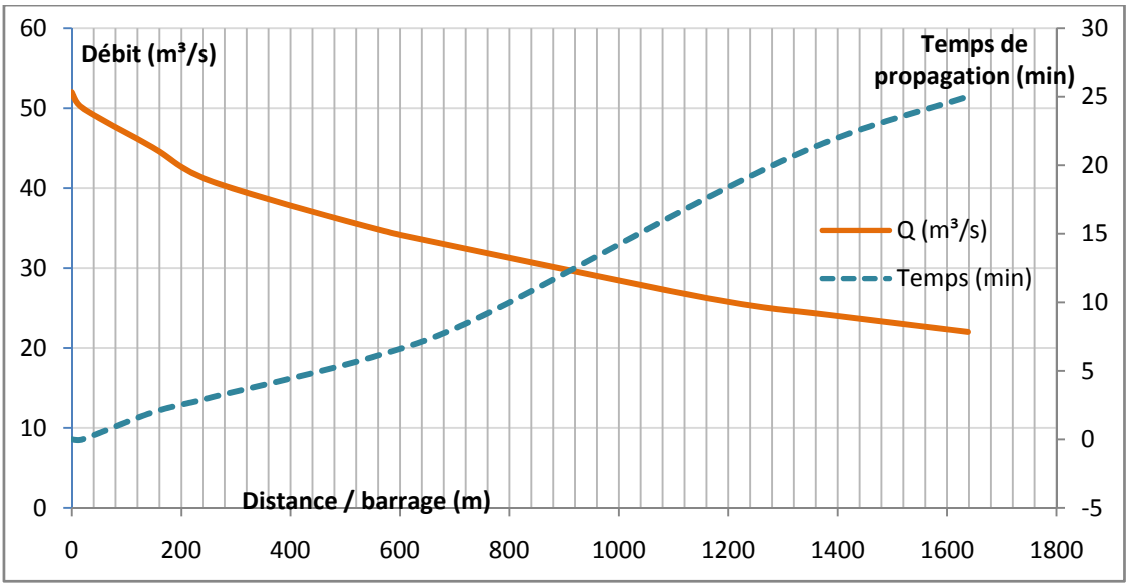
Toutes les valeurs de vitesses et hauteurs d'eau correspondent au maximum du passage de l'onde de crue. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

PK (m)	PK (km)	H (m)	Q (m³/s)	Vitesse (m/s)	Temps (min)
0	0	1.7	52	1.05	0
20	0.02	1.0	50	1.58	0
150	0.15	0.6	45	1.41	2
250	0.25	0.6	41	1.72	3
550	0.55	0.7	35	2.09	6
750	0.75	0.3	32	1.22	9
1180	1.18	0.2	26	0.7	18
1400	1.4	0.5	24	1.59	22
1638	1.638	0.3	22	1.11	25

Hauteur (m), vitesses (m/s), débit (m³/s) et temps de propagation de l'onde rupture (min)

Les graphiques ci-dessous représentent l'onde de propagation de rupture en fonction des différentes caractéristiques présentées ci-avant :





Au moment de la rupture, la colonne d'eau de 4 à 4,5 m de hauteur s'étale dans la vallée sur une centaine de mètres environ où les eaux dépassent rapidement 1,5 m de haut. Le front de l'onde de crue parcourt environ 150 m de distance en moins de 1 min.

Avec un débit estimé à 40 m³/s dans le début de la vallée à l'aval des digues, la vague s'étale rapidement dans le flat emportant tout sur son passage.

Progressivement, en s'étalant dans les dépressions existantes du flat, le débit ralentit pour atteindre le fond de la vallée et du flat, 1 200 m plus à l'aval en 18 min environ.

A ce point, la hauteur d'eau est estimée à environ 0,2 m dans un secteur évasé et les vitesses sont descendues à 0,7 m/s environ.

Plus à l'aval, la vallée est plus étriquée ce qui explique l'observation de hauteurs d'eau proche de 0,5 m.

Etant donné la puissance du front d'onde, la limite de l'enveloppe de zone inondable est légèrement plus large que celle déterminée à l'état initial. Tout le lit se situe en zone d'aléa fort.

La Figure 16 cartographie les aléas et le temps de propagation de l'onde liée à la rupture de la digue.

En mesure immédiate à réaliser, nous préconisons de positionner un ou plusieurs ouvrages de décharge suffisamment dimensionnés sous la piste afin d'éviter un risque d'embâcles qui boucheraient l'ouvrage existant (une buse) et mettraient en charge l'ouvrage.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Profils en travers
- Rupture de l’ensemble des digues
- 1 min — Temps de propagation de l’onde de rupture

Crique Yaou
Base de vie
Crique Tomantoni
Usine gravimétrique
Bassin 1
PARU 2
PARU 1
UMTMA
Crique BW
Crique Mattéo
6 min
Crique H
2 min
Crique Yaou
9 min
Affluent rive gauche de Yaou
18 min

N

0 m 75 m 300 m
Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
09/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD
Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie des aléas pour le scénario n°1 de rupture

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 16

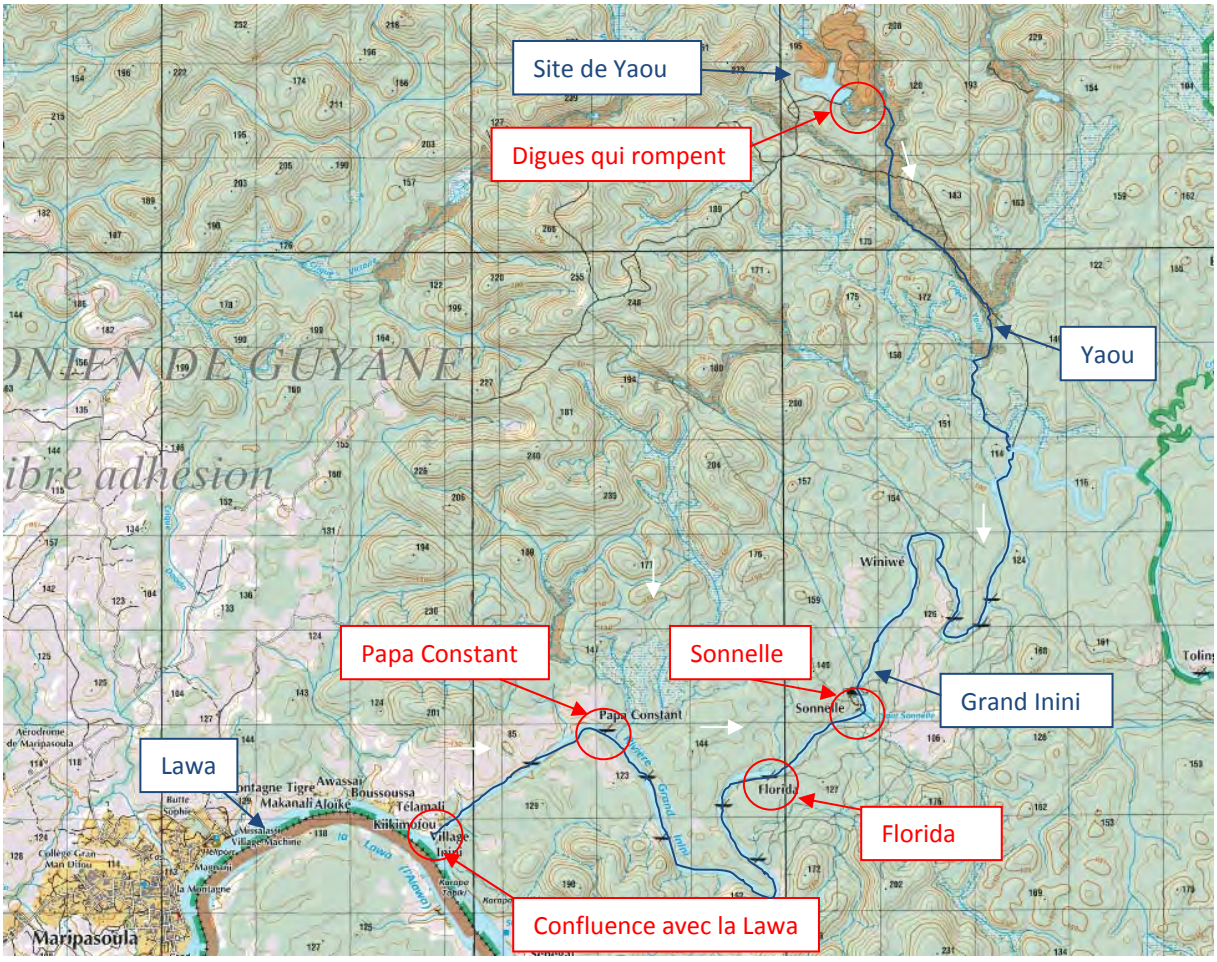
3.3.4. *Description de la vallée à l'aval des digues modélisées*

A l'aval des digues se situe immédiatement le flat dans lequel s'écoule la crique Yaou. Les eaux se rejettent environ 4,1 km plus à l'aval dans le cours d'eau le Grand Inini qui s'écoule dans une vallée relativement étriquée où la pente d'écoulement est faible (≈ 1%).

Immédiatement à l'aval, la crique Grand Inini présente une pente équivalente (≈ 1%). Plus à l'aval, la vallée est plus étroite et la pente plus importante dans laquelle les eaux forment des rapides au niveau de Saut Sonnelle.

Entre Saut Sonnelle et la confluence avec la Lawa à Maripasoula, on note la présence de trois points potentiels d'embarcation pour la navigation (Sonnelle, Florida et Papa Constant).

Au niveau de la confluence entre le Grand Inini et la Lawa, les berges sont habitées. On note la présence de trois lieux-dits (Kiikimofou, Télamali, Village Inini).



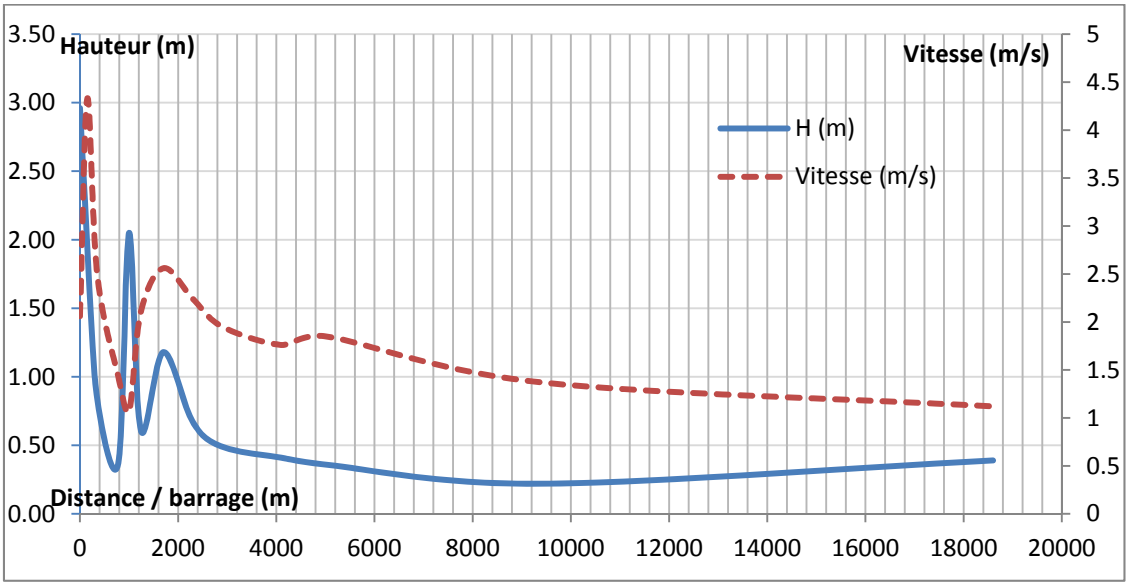
3.3.5. *Résultats de la modélisation pour le scénario 2*

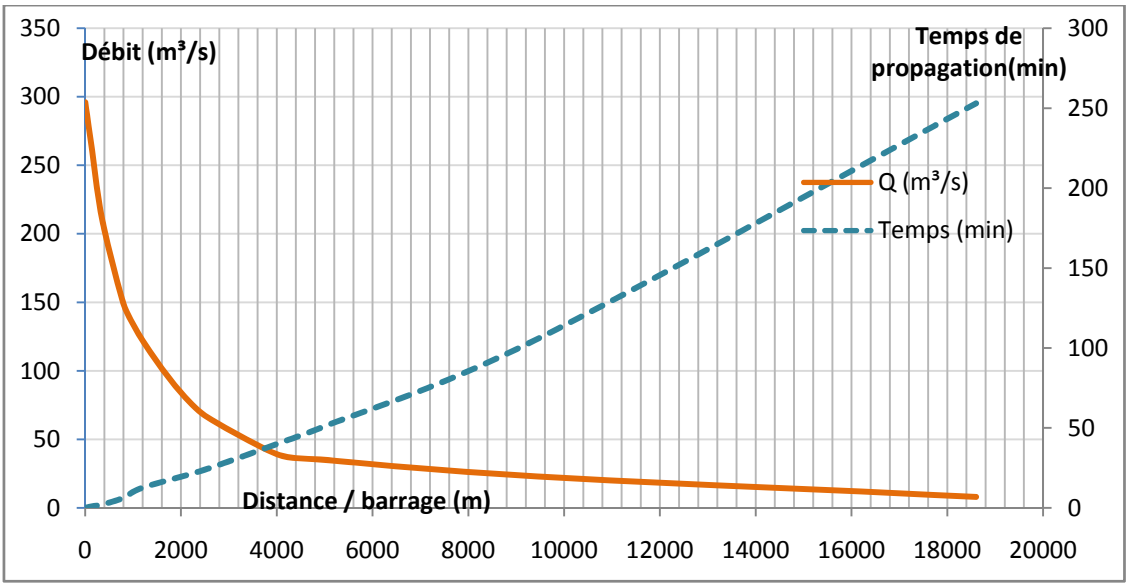
Toutes les valeurs de vitesses et hauteurs d'eau correspondent au maximum du passage de l'onde de crue. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

PK (m)	PK (km)	H (m)	Q (m³/s)	Vitesse (m/s)	Temps (min)
0	0	2.96	296	2.06	0
150	0.15	1.95	259	4.33	1
350	0.35	0.84	211	2.5	2
780	0.78	0.37	151	1.43	6
1000	1	2.05	134	1.07	10
1238	1.24	0.61	120	2.1	13
1700	1.7	1.18	97	2.56	17
2300	2.3	0.67	73	2.24	22
2900	2.9	0.49	59	1.95	28
4100	4.1	0.41	38	1.76	41
5000	5	0.36	35	1.85	51
9400	9.4	0.22	23	1.37	105
18600	18.6	0.39	8	1.12	253

Hauteur (m), vitesses (m/s), débit (m³/s) et temps de propagation de l'onde rupture (min)

Les graphiques ci-dessous représentent l'onde de propagation de rupture en fonction des différentes caractéristiques présentées ci-avant :





En comparaison avec les observations faites dans le cas d'une rupture de l'ensemble des digues pour le scénario 1, le comportement hydraulique est légèrement différent dans le cadre de ce scénario (voir paragraphe 3.3.1.).

Les sédiments les plus lourds charriés par cette onde, dont une partie de la digue en remblai lui-même, vont s'étaler dans le flat situé immédiatement à l'aval avec une hauteur de 3 m environ.

La hauteur de la vague varie dans le flat entre 0,5 m et 2 m au gré de la topographie plus ou moins étriquée du vallon.

Les eaux sont alors chargées en sédiments et embâcles, mélange de la constitution de la digue qui s'est rompue et des arbres que la crue a emportés.

On retrouve des conditions similaires de l'écoulement du front d'onde car les eaux comblent rapidement tous les points de dépression du flat.

A la fin du Lidar (PK 1,238), les hauteurs étant d'environ 0,6 m, nous avons choisi de modéliser la vallée à l'aval dans laquelle s'écoule Yaou puis le Grand Inini jusqu'à sa confluence avec la Lawa à Maripasoula.
Les données de topographie utilisées (IGN + ASTER GDEM) étant beaucoup moins précises que sur la partie amont, les résultats sont à prendre avec précaution.

La fin de la vallée de Yaou semble plus étroite et les hauteurs d'eau au passage du front de l'onde sont beaucoup plus élevées avant de rejoindre le Grand Inini plus large.

A la confluence avec la Lawa, la vague modélisée présente une hauteur légèrement inférieure à 0,5 m.

Suite à cette rupture de digue, il existe une incidence potentielle sur les embarcadères présents sur le Grand Inini (Sonnelle, Florida et Papa Constant) ainsi qu'au niveau de la confluence entre le Grand Inini et la Lawa à Maripasoula. Cette montée brusque des eaux est susceptible de surprendre les personnes travaillant ou vivant aux abords de ces cours d'eau.

La Figure 17 cartographie les aléas et le temps de propagation de l'onde liée à la rupture de digue.

Légende

- Barrage
- Bassins de rejet à réexploiter
- Parc à résidus à utiliser pour le stockage des résidus “ultimes”
- Zone d’implantation de l’UMTMA
- Bâtiment
- Courbes topographiques (intervalles de 10 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 5 m)
- Courbes topographiques (intervalles de 1 m)
- Crique
- Bassin d’eau claire
- Ecoulement des criques
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Profils en travers
- Rupture de l’ensemble des digues
- 1 min — Temps de propagation de l’onde de rupture

Crique Yaou
Base de vie
Usine gravimétrique
Crique Tomantoni
Bassin 1
PARU 2
PARU 1
UMTMA
Crique BW
Crique Mattéo
1 min
Crique H
Crique Yaou
2 min
6 min
13 min
41 min
105 min
263 min
AZONE EN DE GUYANE
oire libre adhésion
Maripasoula

N

0 m 75 m 300 m
Echelle au 1 / 7 500

SMYD

Etude N°1403101

Date	Dessiné	Vérifié
12/2014	Jbg	OR
Modifié	Dessiné	Vérifié

GéoPlusEnvironnement

SMYD
Impact hydraulique des parcs à résidus sur la crique Yaou et ses affluents

Cartographie des aléas pour le scénario n°2 de rupture

Source: GéoPlusEnvironnement

Figure 17

3.4. PRINCIPE DE RUPTURES SIMULTANEES

Les résultats des modélisations de rupture ont montré un risque de propagation d'onde de crue très fort en cas de rupture des différents ensembles de digues prévues dans le projet.

Dans ce chapitre, nous évoquons simplement le cas d'une rupture simultanée ou quasi simultanée des ensembles de digues situées à l'aval des PARU 1 et 2.

Les causes de défaillance retenues sont identiques que pour les ensembles de digues projet étudiés ci-avant. Il s'agit de :

- érosion par surverse ;
- glissement de parement ;
- érosion interne (renard en particulier).

On note qu'il s'agit dans cette étude de deux digues positionnées en parallèle.

Une rupture quasi instantanée équivaudrait à une succession de rupture avec la propagation des deux vagues décrites dans les scénarii n°1 et 2.

Une vague simultanée équivaudrait à une rupture légèrement anticipée des digues en aval de PARU 1 par rapport à ceux situés en aval de PARU 2 afin que leurs débits de pointes respectifs soient concomitants.

Le risque de probabilité de ruptures simultanées ou quasi simultanées est nul. Nous choisissons donc de ne pas réaliser de modélisation représentative de ce phénomène irréaliste.

3.5. RECOMMANDATIONS SUITE A LA MODELISATION ET MESURES IMMEDIATES

La modélisation a montré qu'avec l'implantation de digues pour le stockage de résidus ultimes, la zone inondable de la crique de Yaou n'est quasiment pas impactée et que l'incidence sur des secteurs habitées est nulle.

La modélisation de rupture des digues a montré en revanche qu'il existait un risque de vague pouvant atteindre Maripasoula avec des hauteurs proche de 0,4 m et avec des vitesses importantes supérieures à 1 m/s. La vague est susceptible de toucher des embarcadères présents sur le Grand Inini et d'augmenter le niveau d'eau dans la Lawa à Maripasoula de façon non négligeable.

Il est donc conseillé de :

- surveiller régulièrement l'ouvrage sous la piste à l'aval de PARU 1 afin d'éviter qu'il se bouche et que les eaux de la crique Yaou ne la mettent en charge ;
- de renforcer le pied de la digue retenant les eaux claires à l'aval de PARU 2 pour éviter que les eaux de débordement de la crique Yaou ne perturbent la stabilité de l'ouvrage (enrochements). En assurer un suivi régulier ;
- prévoir un dispositif d'alerte en cas de rupture en chaîne des ouvrages afin de prévenir la population située sur le Grand Inini et à Maripasoula du passage d'une vague sur les cours d'eau.

Peyrins, le 15 décembre 2014
Pour **GéoPlusEnvironnement**,
Julien BOUTAGHANE,
Service Hydraulique et Environnement

Contrôlé et validé, le 17 décembre 2014
par **Olivier RICHARD**,
Responsable de l'Agence Sud-est

ANNEXES

ANNEXE 1 – ETUDE CETE (1999)

ANNEXE-19 : Résultat des mesures de qualité des eaux superficielles (Yaou)

Yaou - Suivi mensuel de la qualité des eaux superficielles

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP1	22/10/97	11h15	7,6	90	6,99	24,1	6,5	Débit très faible
	16/12/97	9h20	6,15	73,9	6,89	23,5	6,4	
	03/02/98	19h	6,9	85	6,9	25,9	10,5	
	03/04/98	8h35	5,7	70	7,17	24,5	5,8	
	29/04/98	16h30	5,23	65	6,53	25,5	4,9	2h30 après forte pluie
	23/06/98	14h50	4,54	55	6,39	24,5	10,8	Période de fortes pluies
	04/08/98	9h10	ME	ME	6,35	23,5	1,9	Eau claire, 24h après la dernière pluie
	25/08/98	8h10	6,9	82	6,74	23,6	3,6	
	15/09/98	8h15	ME	ME	6,38	23,9	< 0,4	Eau quasi stagnante
	15/10/98	7h10	3,53	42,3	5,82	23,7	4,6	Niveau bas mais circulation
	18/11/98	17h45	ME	ME	6,75	2,9	4	Niveau très bas mais circulation, nbx débris végétaux
	09/12/98	8h55	ME	ME	6,05	23	4,3	Niveau très bas mais circulation, nbx débris végétaux

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP3	22/10/97	14h30	6	72	7,17	24,9	3,5	
	16/12/97	10h30	6,26	74,6	7,15	23,5	4,2	
	03/02/98	18h	7,6	94	7,28	25,1	15,6	Episode pluvieux
	03/04/98	8h10	6,3	76	7,35	24,8	3,3	
	29/04/98	17h	6,3	77,8	7,06	25,1	13	3h après forte pluie
	23/06/98	15h35	ME	ME	7,05	24,4	22,6	Période de fortes pluies
	04/08/98	9h40	ME	ME	6,3	23,8	27,9	Baisse du niveau de l'eau
	25/08/98	8h45	7,28	87,3	6,73	23,9	3	Eau claire et courante
	15/09/98	**9h	ME	ME	6,44	24,3	< 0,4	Eau claire et courante
	15/10/98	7h40	5,24	63,1	5,8	24,9	1,5	Eau claire et courante
	18/11/98	16h45	ME	ME	6,98	25	5,3	Eau claire et courante, niveau très bas
	09/12/98	8h30	ME	ME	6,06	23,4	1,7	

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP4	22/10/97	14h30	5	60	6,89	24,2	15,1	
	16/12/97	10h30	6,25	74,3	6,99	24,2	3,9	Pluie
	03/02/98	18h	6,2	76	6,86	25,1	4	
	03/04/98	8h	6,2	76	6,78	24,5	5,3	
	29/04/98	17h25	6,15	74,7	6,6	25,2	11,8	3h30 après forte pluie
	23/06/98	15h55	ME	ME	6,32	24,5	13,4	
	04/08/98	10h10	ME	ME	6,18	23,9	4,4	Baisse du niveau de l'eau
	25/08/98	9h	7,33	87,8	6,52	23,7	4	Au niveau du pont l'eau est presque stagnante
	15/09/98	9h30	ME	ME	6,32	24,1	< 0,4	Eau quasi stagnante
	15/10/98	8h45	3,23	38,6	5,76	23,7	3,8	Débit faible
	18/11/98	16h30	ME	ME	6,67	25	22,5	Débit très faible, très nbx débris végétaux
	09/12/98	8h10	ME	ME	5,96	23	9,8	Eau stagnante, débris végétaux

ME : Mesure erronée

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

Yaou - Suivi mensuel de la qualité des eaux superficielles (suite)

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP5	22/10/97	15h30	7	88	7,12	26,3	5,4	
	16/12/97	11h20	7,07	85,7	7,27	24,5	4,9	
	03/02/98	16h55	7,3	90	6,99	26,2	15,6	
	03/04/98	16h25	6,9	86	7,22	25,9	5,2	
	29/04/92	8h20	6,82	83,3	7,15	24,6	4,4	
	23/06/98	9h25	5,4	64,8	6,95	24	7,2	
	04/08/98	11h	ME	ME	6,36	24,3	11	Eau claire
	25/08/98	10h10	ME	ME	6,61	24,3	4,6	Eau claire et courante
	15/09/98	10h	ME	ME	6,52	26	< 0,4	Eau claire et courante
	15/10/98	10h30	3,54	42,8	5,86	24,2	4	Eau claire et courante
	18/11/98	15h30	ME	ME	6,85	25,5	3	Eau claire et courante
	08/12/98	18h20	ME	ME	6,63	22,9	3,8	Eau claire et courante

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP7	23/10/97	12h15	3	37	6,77	24,4	5,2	Très faible débit, présence de poissons
	17/12/97	8h30	4,45	52	6,9	23,2	6,4	
	03/02/98	15h10	4,7	60	6,96	25,2	2,7	Très faible débit, présence de poissons
	03/04/98	12h55	4,2	50	7,13	25,4	2,4	
	29/04/98	10h	4,3	52	6,7	24,8	3,7	
	23/06/98	11h45	4,21	51	6,37	24,3	6,3	
	04/08/98	16h43	ME	ME	6,1	24,6	4,3	Eau claire
	25/08/98	15h25	5,06	67,4	6,74	25,3	29,2	Eau stagnante, présence de poissons
	15/09/98	15h55	ME	ME	6,6	25,6	< 0,4	Eau stagnante
	14/10/98	18h15	2,2	27	6,27	24,8	5,3	Eau stagnante mais claire
	18/11/98	13h35	ME	ME	6,62	24,8	6,1	Eau stagnante, lit encombré par débris végétaux
	09/12/98	6h30	ME	ME	6,16	23,4	21,2	Eau stagnante, lit encombré par débris végétaux

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP8	23/10/97	11h45	4,7	57	6,99	23,9	5,7	
	16/12/97	9h	5,54	67,7	6,84	24,4	2,5	
	03/02/98	13h10	6,1	75	6,99	24,8	3,7	
	03/04/98	12h45	5,9	73	7,8	25,2	3,7	
	29/04/98	10h20	5,6	68,1	6,86	24,9	4	
	23/06/98	11h30	4,76	57	6,37	24,2	6	
	04/08/98	16h30	ME	ME	6,56	24,6	4	Eau claire
	25/08/98	15h05	6,23	75	6,83	25,2	5,3	Eau claire et courante
	15/09/98	15h45	ME	ME	6,65	25,7	< 0,4	Eau claire et courante
	14/10/98	18h10	3,15	40	6,23	24,9	9,9	Eau claire et courante
	18/11/98	13h25	ME	ME	6,65	25,1	4,5	Eau claire et courante, débit très faible
	08/12/98	16h10	ME	ME	6,65	25,4	16,9	Eau claire et courante, débit très faible

ME : Mesure éronée

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

Yaou - Suivi mensuel de la qualité des eaux superficielles (suite)

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP10	23/10/97	11h	2,1	25	6,79	24,7	7,4	
	16/12/97	16h20	5,37	67	6,46	24,6	4,9	
	03/02/98	12h15	5,9	72	6,81	24,9	3	
	03/04/98	12h25	5,7	70	6,9	25,4	32,1	
	29/04/98	10h45	5,85	71,2	6,86	25	8,6	Orpaillage à proximité
	23/06/98	10h50	4,63	56	6,58	24,4	13,1	Abandon du chantier d'orpaillage à proximité
	04/08/98	16h	ME	ME	6,56	24,6	39,3	
	25/08/98	14h45	5,08	71,3	6,95	25,1	16,6	Retour des orpailleurs rejets domestiques juste en amont du point de prélèvement
	15/09/98	13h40	ME	ME	6,66	26,2	< 0,4	Eau stagnante envasée sur les bords
	14/10/98	16h30	2,37	29,5	6,23	25,4	23,5	Forte turbidité, chantier Poité Yaka en amont et aval (orpaillage)
	18/11/98	12h50	ME	ME	6,65	31,5	117,4	Crique asséchée par orpaillage
	08/12/98	15h20	ME	ME	6,66	ME	248	Eau stagnante - orpaillage

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP12	23/10/97	10h	3,5	42	6,7	24,2	4,5	
	16/12/97	14h20	5,98	72,7	6,6	24,2	4,7	
	03/02/98	10h50	6,1	75	6,87	24,9	7,2	
	03/04/98	11h05	6	74	6,99	25,3	6,5	
	29/04/98	13h30	5,75	71,4	6,81	25,33	17,8	Forte pluie
	23/06/98	18h30	ME	ME	6,27	24,7	40,4	
	04/08/98	15h	ME	ME	6,51	24,6	16,4	
	25/08/98	13h55	ME	ME	6,92	25,3	30,8	Turbidité plus élevée que d'habitude bien que l'eau soit courante
	15/09/98	14h55	ME	ME	6,6	25,8	< 0,4	Forte turbidité
	14/10/98	12h00	3,9	48	6,3	24,6	33,9	Turbidité élevée, sédimentation argilosilteuse importante (orpaillage)
	18/11/98	11h45	ME	ME	6,44	25,1	58,4	Eau stagnante, pas de circulation
	08/12/98	14h15	ME	ME	6,41	25,3	529	Eau stagnante, pas de circulation

St.	Date	Heure	Oxy dis (mg/l)	Sat en oxy(%)	pH	T°c	MES (mg/l)	Commentaire
YP13	04/02/98	/	7	88	6,61	26,3	10,8	
	03/04/98	16h	5,1	63	6,84	25,9	2,9	
	29/04/92	8h55	5,74	70,4	6,92	24,8	3,8	
	23/06/98	8h35	6,4	78	6,48	24,2	9,2	
	04/08/98	11h25	ME	ME	6,37	24,9	1,8	baisse du niveau de l'eau
	25/08/98	9h40	6,31	81	8,5	24,7	8,3	Niveau de l'eau très bas
	15/09/98	11h10	ME	ME	6,39	24,9	< 0,4	
	15/10/98	9h40	2,2	26,6	5,66	24,3	1,5	Niveau très bas
	18/11/98	15h05	ME	ME	6,5	24,9	1,5	Eau stagnante (hauteur limnigraphique : 0,075 m)
	08/12/98	17h20	ME	ME	6,26	ME	30	Eau claire et courante, niveau très bas

ME : Mesure éronée

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

Yaou - Suivi trimestriel de la qualité des eaux superficielles (Février 1998)

Paramètre	YP1	YP3	YP4	YP5	YP7	YP8	YP10	YP12	YP13
Date	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	5 et 3/02/98	05/02/98
Heure	9h et19h	9h25 et 18h	9h45 et 17h40	10h10 et16h55	11h20et15h10	11h05et13h15	10h35et12h15	9h30et10h50	12h10
DCO (mgO2/l)	11,22	10,71	19,39	3,57	13,27	13,78	23,47	22,45	3,57
DBO5 (mgO2/l)	0,30	0,70	0,80	0,40	1,60	0,10	1,10	1,20	0,30
COT (mgC/l)	5,10	3,96	4,79	2,64	2,88	2,89	5,69	5,79	2,14
HCT (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	/	< 0,1	< 0,1	/	/	< 0,1
AOX (µg/l)	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Azote Kjeldahl (mgN/l)	0,26	0,39	0,37	1,49	0,36	0,33	0,55	0,25	0,50
Phosphore Total (mgP/l)	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02
Chlorure Total (mg/l)	3,00	3,30	2,90	3,00	3,60	2,80	3,30	2,90	3,40
Hg (µg/l)	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Cu (µg/l)	1,90	1,39	1,48	1,02	0,91	1,18	1,66	1,92	0,55
Pb (µg/l)	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,13	0,06	0,06	< 0,01
Zn (µg/l)	4,62	1,08	1,36	0,44	1,07	1,35	1,16	4,03	0,98

Yaou - Suivi trimestriel de la qualité des eaux superficielles (Juin 1998)

Paramètre	YP1	YP3	YP4	YP5	YP7	YP8	YP10	YP12	YP13
Date	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98	23/06/98
Heure	14h50	15h35	15h55	9h25	11h45	11h30	10h50	18h30	8h35
DCO (mgO2/l)	10,55	8,26	7,34	6,88	3,67	4,13	11,47	15,14	5,05
DBO5 (mgO2/l)	0,9	0,8	1,2	0,6	0,6	0,4	/	1,1	/
COT (mgC/l)	4,89	2,93	5,62	1,37	3,24	3,48	4,31	6,39	1,54
HCT (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
AOX (µg/l)	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Azote Kjeldahl (mgN/l)	0,2	0,17	0,29	0,14	0,24	0,14	0,31	0,29	0,28
Phosphore Total (mgP/l)	0,03	0,07	0,08	0,09	0,05	0,03	0,03	0,05	0,01
Chlorure Total (mg/l)	2,6	2,6	2,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,2	2,7
Hg (µg/l)	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Cu (µg/l)	0,9	3,3	2,8	2,5	5,4	2,6	3,8	2,7	2,7
Pb (µg/l)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	< 0,1
Zn (µg/l)	4,9	4,1	2,9	2,9	4,8	3,9	4,3	8,7	3,2

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

Analytr1.xls

Yaou - Suivi trimestriel de la qualité des eaux superficielles (Septembre 1998)

Parametre	YP1	YP3	YP4	YP5	YP7	YP8	YP10	YP12	YP13
Date	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98	15/09/98
Heure	8h15	9h00	9h30	10h00	15h55	15h45	13h40	14h55	11h10
DCO (mgO2/l)	4,59	6,12	8,16	4,08	3,57	6,12	12,76	11,22	8,16
DBO5 (mgO2/l)	2,20	0,70	0,20	0,20	0,20	0,30	1,30	1,50	0,00
COT (mgC/l)	2,89	3,54	3,46	1,30	2,12	2,19	3,71	4,23	1,28
HCT (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
AOX (µg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Azote Kjeldahl (mgN/l)	0,47	0,25	0,29	0,13	0,23	0,28	0,47	0,25	0,29
Phosphore Total (mgP/l)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01
Chlorure Total (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Hg (µg/l)	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Cu (µg/l)	0,90	1,30	1,30	0,90	1,60	0,30	5,20	4,20	0,70
Pb (µg/l)	0,10	0,80	0,30	0,10	0,60	< 0,01	0,80	0,80	< 0,01
Zn (µg/l)	10,60	6,40	6,90	2,70	3,70	0,90	8,60	10,10	1,90

Yaou - Suivi trimestriel de la qualité des eaux superficielles (Décembre 1998)

Parametre	YP1	YP3	YP4	YP5	YP7	YP8	YP10	YP12	YP13
Date	09/12/98	09/12/98	09/12/98	08/12/98	09/12/98	08/12/98	08/12/98	08/12/98	08/12/98
Heure	8h55	8h30	8h10	18h10	06h30	16h10	15h20	14h15	17h20
DCO (mgO2/l)	5,69	12,32	16,59	1,90	8,53	7,58	16,59	26,54	2,84
DBO5 (mgO2/l)	0,00	0,40	1,70	0,00	1,20	0,60	3,70	1,60	1,20
COT (mgC/l)	3,35	4,54	5,16	1,57	3,58	3,17	5,77	10,68	1,65
HCT (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
AOX (µg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Azote Kjeldahl (mgN/l)	0,24	0,37	0,36	0,32	0,24	0,38	0,42	0,37	0,27
Phosphore Total (mgP/l)	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,02
Chlorure Total (mg/l)									
Hg (µg/l)	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Cu (µg/l)	1,00	1,20	3,30	2,20	5,60	1,30	12,10	52,10	9,30
Pb (µg/l)	0,30	0,60	0,20	0,10	0,10	0,20	0,70	3,00	0,10
Zn (µg/l)	2,00	2,70	24,90	20,00	19,70	23,10	27,40	196,80	21,10

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

Yaou - Suivi bactériologique semestriel de la qualité des eaux superficielles
Année 1998

Station	Date	Bactéries aérobie à 37°-24h (n/ml)	Bactéries aérobie à 22°-72h (n/ml)	Coliformes totaux (n/100ml)	Coliformes thermotolérant (n/100ml)	Streptocoques fécaux (n/100ml)	Spores Bact. anaé. sulfitoR. (n/20ml)	Titre Hydrométrique (°F)
YP1	févr-98	4 600	24 000	3 000	3 000	500	40	1,6
	sept-98	9 000	3 900	1 800	1 800	688	100	/
YP3	févr-98	6 200	6 200	1 800	1 800	1 000	80	3,7
	sept-98	201	1 300	1 800	1 800	652	190	/
YP4	févr-98	6 400	6 400	2 800	2 800	2 100	180	2,1
	sept-98	1 700	3 400	1 900	1 900	604	130	/
YP5	févr-98	1 200	1 700	600	600	360	80	3,9
	sept-98	2 200	5 000	2 100	2 100	395	260	/
YP7	févr-98	8 000	26 000	4 000	4 000	2 800	140	3,1
	sept-98	2 700	7 400	2 800	2 800	634	56	/
YP8	févr-98	2 400	14 000	1 800	1 800	1 100	90	3,1
	sept-98	19 000	10 000	600	600	599	88	/
YP10	févr-98	5 000	5 000	3 000	3 000	1 700	90	2,6
	sept-98	4 000	4 500	4 800	4 800	1 177	176	/
YP12	févr-98	2 000	2 000	1 400	1 400	1 000	180	2,7
	sept-98	4 400	4 900	1 800	1 800	724	200	/
YP13	févr-98	2 000	6 300	1 000	1 000	340	20	3,5
	sept-98	700	3 900	150	150	119	32	/

/ : Absence d'analyse

< : Inférieur à la limite de détection

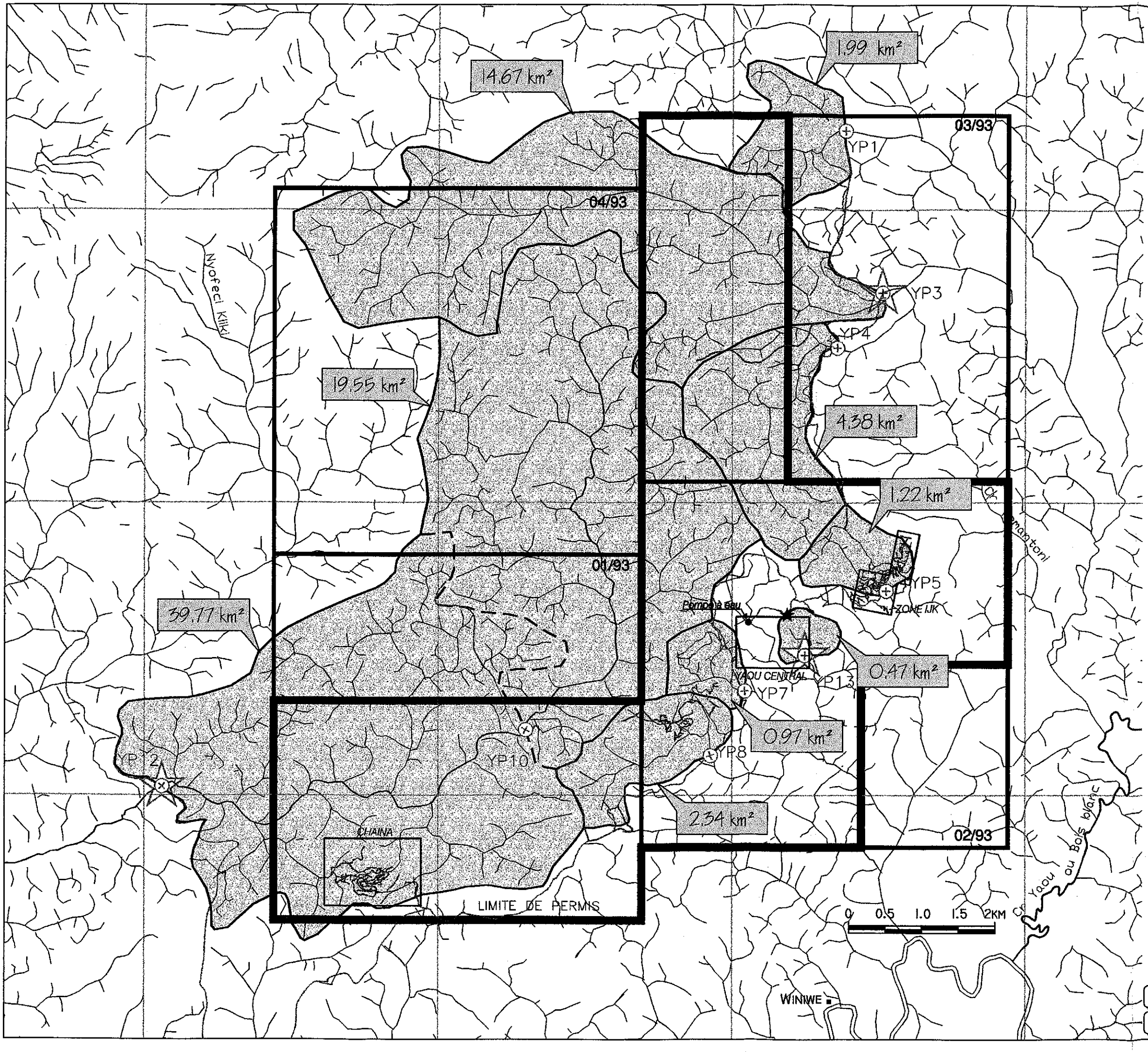
Analsem2.xls

Yaou - Suivi bactériologique semestriel de la qualité des eaux superficielles (suite)
Année 1998

Station	Date	Hydrogéno-carbonates (mgHCO/l)	Chlorure total (mg/l)	Ammonium en NH4 (mg/l)	Oxy KMnO4 milieu acide chaud (mgO2/l)	Conductivité à 20° (µS/cm)
YP1	févr-98	29,28	3,0	< 0,05	6,1	50,8
	sept-98	/	2,5	/	/	/
YP3	févr-98	54,17	3,3	< 0,05	4,9	83
	sept-98	/	3,0	/	/	/
YP4	févr-98	36,6	2,9	< 0,05	7	58,3
	sept-98	/	2,5	/	/	/
YP5	févr-98	58,56	3,0	< 0,05	3,5	88,6
	sept-98	/	2,7	/		
YP7	févr-98	31,23	3,6	< 0,05	3,7	72,5
	sept-98	/	3,2	/	/	/
YP8	févr-98	44,41	2,8	< 0,05	3,5	70,5
	sept-98	/	2,5	/		
YP10	févr-98	37,09	3,3	< 0,05	7,1	62,8
	sept-98	/	2,6	/	/	/
YP12	févr-98	34,16	2,9	< 0,05	2,1	57,6
	sept-98	/	3,0	/		
YP13	févr-98	48,8	3,4	0,3	2	81,1
	sept-98	/	2,7	/	/	/

/ : Absence d'analyse
< : Inférieur à la limite de détection

Analsem2.xls



N

LEGENDE :

- ★ BASE VIE GUYANOR/CAMBIOR
- HYDROGRAPHIE
- PISTE D'ACCÈS
- 01/93 PERMIS B GUYANOR
- GISEMENT D'OR
- Pompe à eau POMPE À EAU
- YP5 POINT DE PRÉLÈVEMENT
- YP3 POINT DE PRÉLÈVEMENT + ÉCHELLE LIMINIGRAPHIQUE
- YP5 BASSIN VERSANT DU POINT DE PRÉLÈVEMENT Nº 5
- LIMITE D'UN "SOUS-BASSIN" VERSANT INCLUS DANS UN DES BASSINS PRÉCÉDENTS
- PÉRIMÈTRE DE LA DEMANDE DE CONCESSION

Carte N° 2

CETE apave sud

SOCIETE MINIERE YAOU DORLIN S.A.S.

YAOU

Réseau de surveillance des eaux superficielles

Ecoulements-qualité

Date : Octobre1997	Responsable : Renaud AVOCAT	Echelle : 1/50 000
Dessin : K.CHAND, N. GOMES	Modification : 12/05/98	Fichier : YA-APAVE.DWG

ANNEXE 2 - FICHES DE SUIVI HYDROLOGIQUE ET COURBES DE TARAGE

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J1		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Affluent Yaou entrée site		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	836 257.470	Y :	410 671.463	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Echelle	Repère de mesure 2 :	

PHOTOS DE LA STATION

1

2

MESURES

N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	17/04/2014	18:45	0.28			72.3 l/s	Mesure reconstituée par méthode du miroir
2	21/04/2014	17:00	0.23			46.6 l/s	RAS
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J2		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Yaou		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	837240,756	Y :	411588,975	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Echelle	Repère de mesure 2 :	-

PHOTOS DE LA STATION

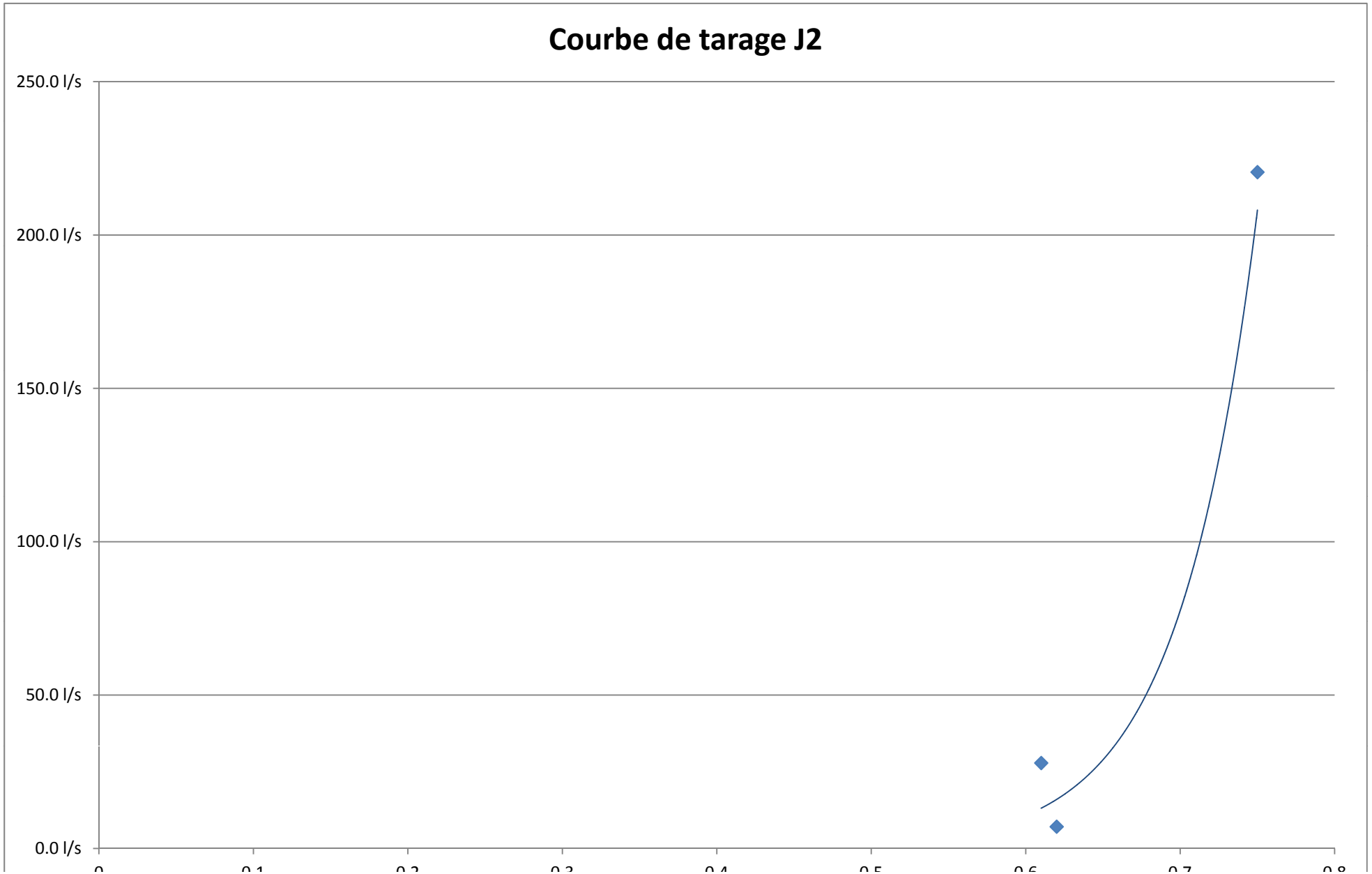
1

2

3

MESURES

N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	17/04/2014	17:38	0.75			220.5 l/s	Orage de 15 min pour 5 mm
2	18/04/2014	15:11	0.62			7.1 l/s	Temps humide sans pluie. Eaux stagnantes. Débit très faible observé en surface. Mesure incorrecte
3	21/04/2014	15:45	0.61			27.9 l/s	Mesure correcte. Changement de section
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							


Courbe de tarage J2
250.0 l/s
200.0 l/s
150.0 l/s
100.0 l/s
50.0 l/s
0.0 l/s
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J3		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Yaou		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	836 965.74	Y :	412 176.75	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Echelle	Repère de mesure 2 :	

PHOTOS DE LA STATION

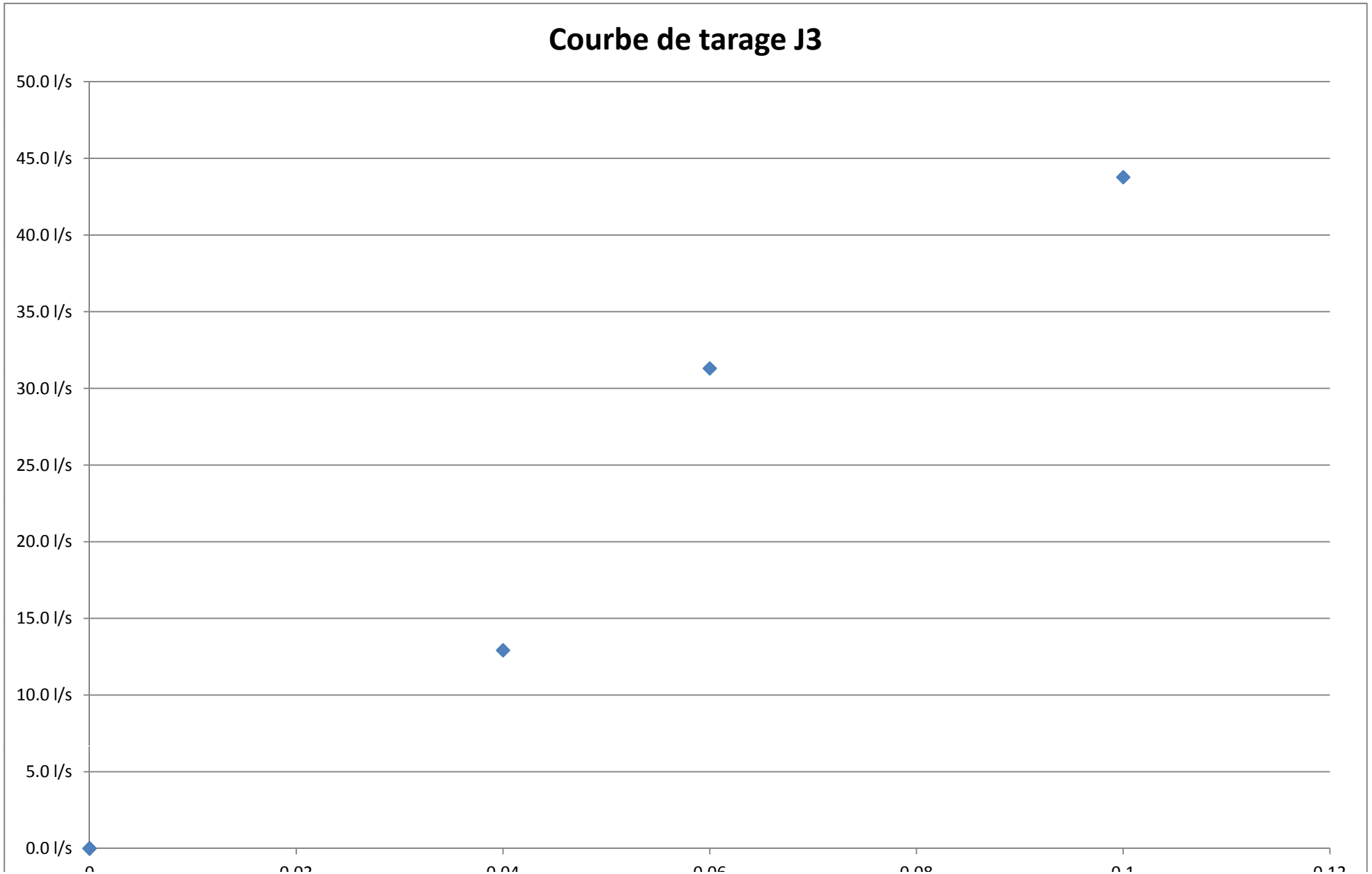
1

2

3

MESURES

N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	17/04/2014	17:11	0.1			43.8 l/s	Observation d'une crue éclaire suite à pluie de 5 mm sur 15 min. Moulinet non graissé. Mesure douteuse
2	18/04/2014	09:45	0.06			31.3 l/s	Temps sec
3	20/04/2014	16:00	0.04			12.9 l/s	Temps très sec.
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							


Courbe de tarage J3
50.0 l/s
45.0 l/s
40.0 l/s
35.0 l/s
30.0 l/s
25.0 l/s
20.0 l/s
15.0 l/s
10.0 l/s
5.0 l/s
0.0 l/s
0
0.04
0.06
0.08
0.1

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J4		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Crique H		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	837 502.29	Y :	411 219.59	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Echelle	Repère de mesure 2 :	

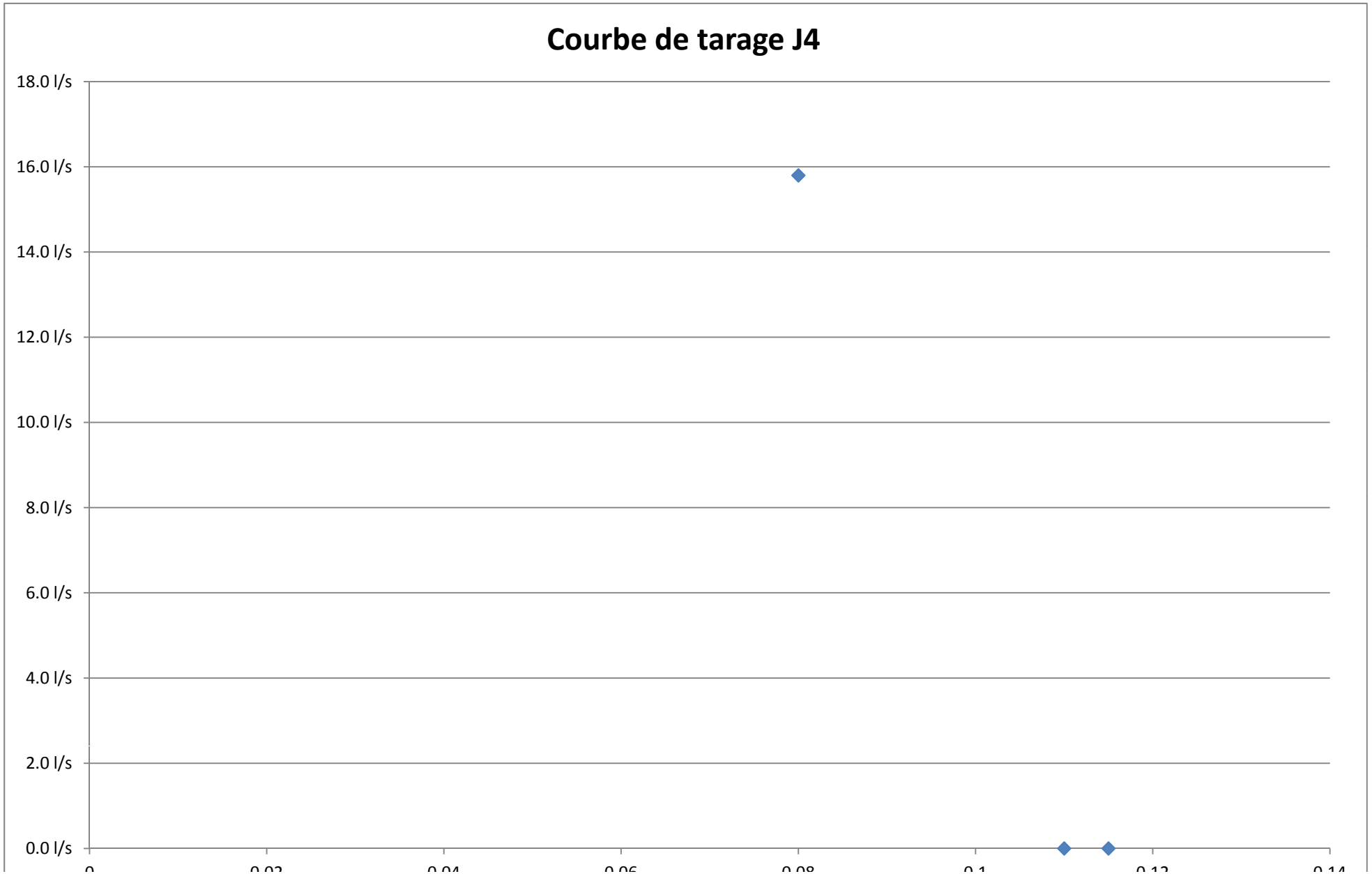
PHOTOS DE LA STATION

1

2

MESURES

N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	18/04/2014	14:35	0.08			23.5 l/s	Bonnes conditions d'écoulement
2	21/04/2014	16:30	0.07			15.8 l/s	Temps sec. Le niveau d'eau semble légèrement plus bas
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							


Courbe de tarage J4
18.0 l/s
16.0 l/s
14.0 l/s
12.0 l/s
10.0 l/s
8.0 l/s
6.0 l/s
4.0 l/s
2.0 l/s
0.0 l/s

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J5		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Crique BW		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	836 793.98	Y :	411 847.06	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Néant	Repère de mesure 2 :	

PHOTOS DE LA STATION

1

1

MESURES

N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	21/04/2014	10:30		1 1 1 1	5 7 6 6.5	0.2 l/s	Fond de vallée. Un seul canal s'écoule les autres bras non.
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

NOM STATION :	FICHE DE SUIVI HYDROLOGIQUE	SITE DE :
J6		Yaou
RIVIERE :		MESURE PAR :
Crique Mattéo		JBg-ML

CARACTERISTIQUES GENERALES

X :	838 016.03	Y :	411 692.87	Z :		Référentiel géodésique :		Repère de mesure 1 :	Echelle	Repère de mesure 2 :	

PHOTOS DE LA STATION

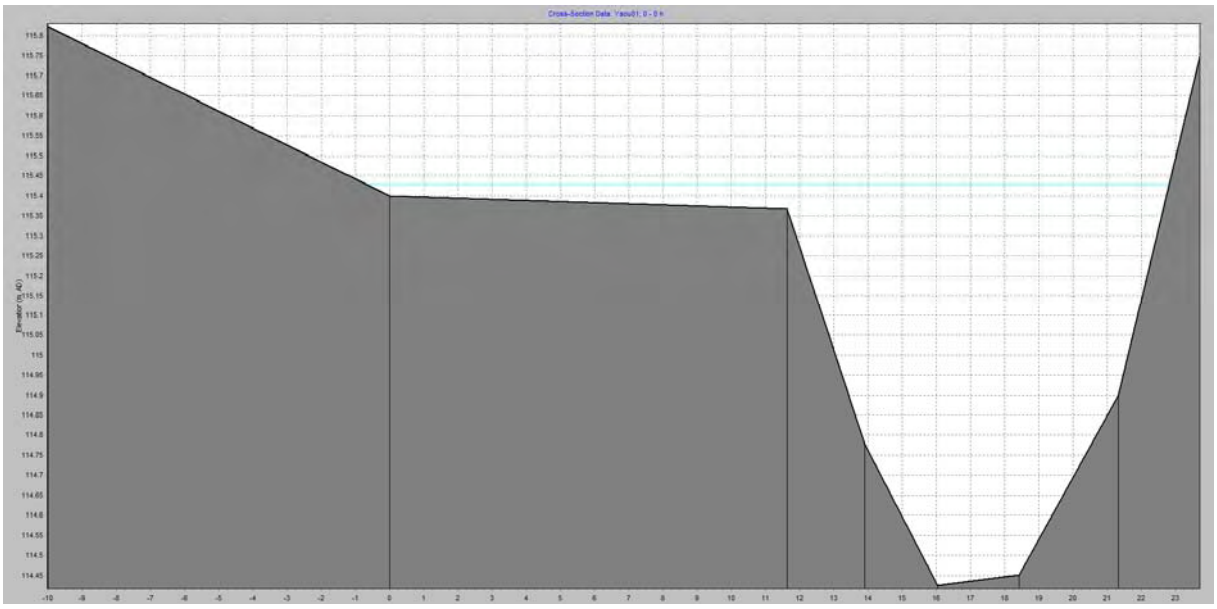
1

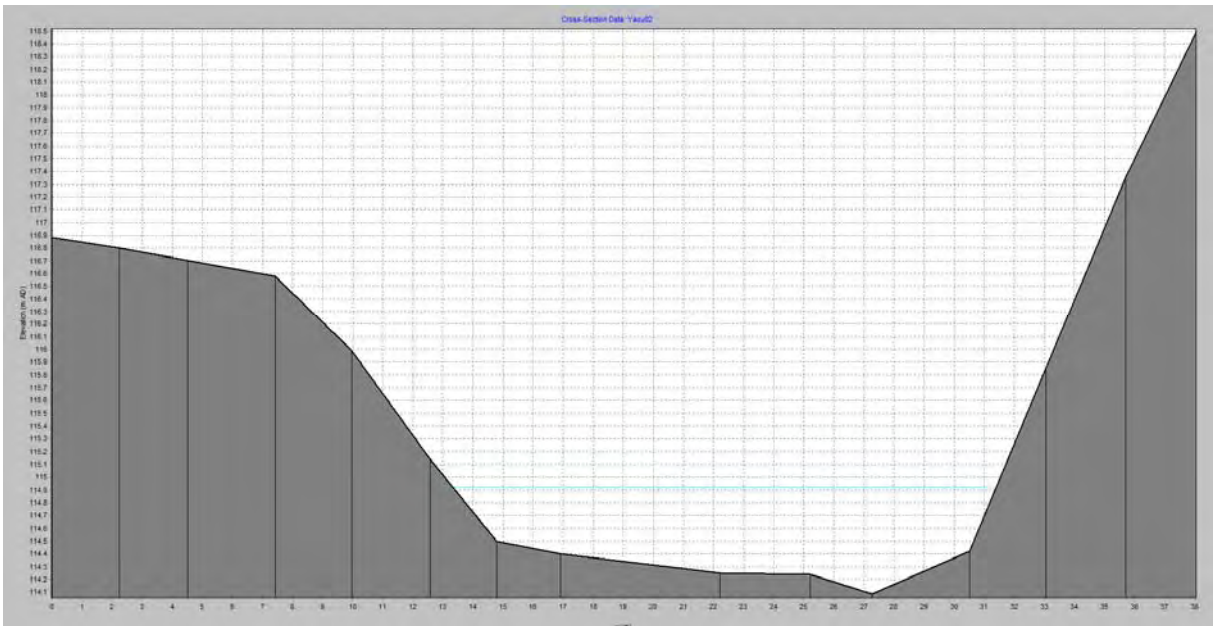
1

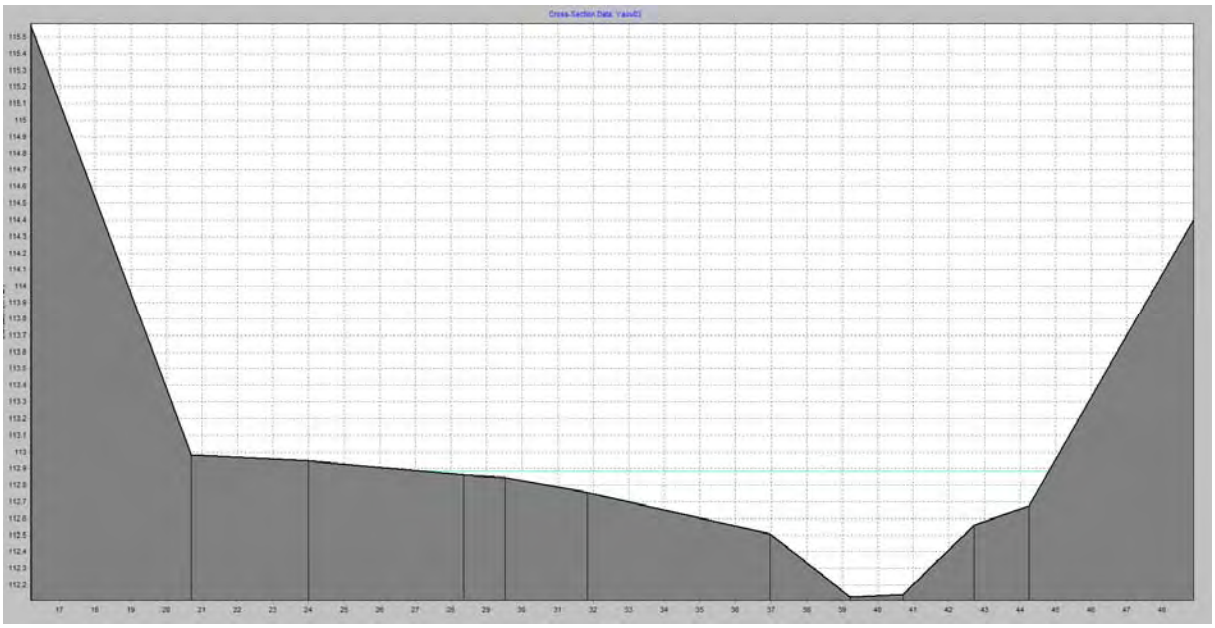
MESURES

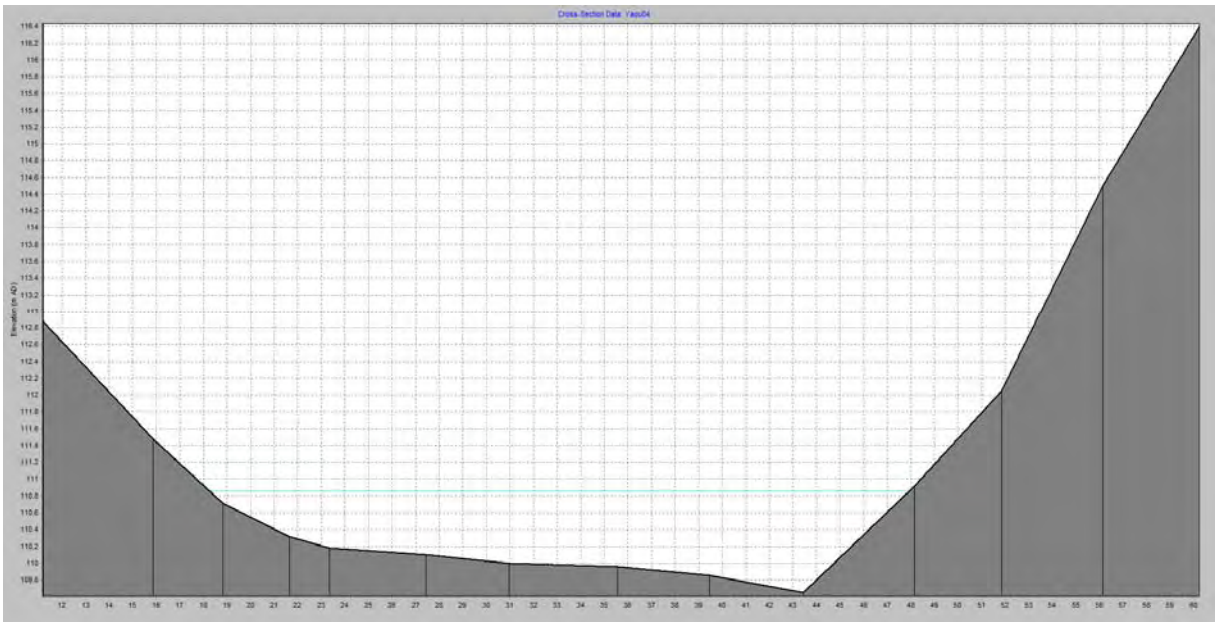
N°	Date	Heure	Niveau d'eau 1 (m) / Niveau d'eau 2 (m)	Volume (L)	Temps (s)	Débit (L/s)	Observations
1	19/04/2014	15:30	0.18			1.0 l/s	Présence de plusieurs bras. Débit très faible non mesurable au moulinet
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

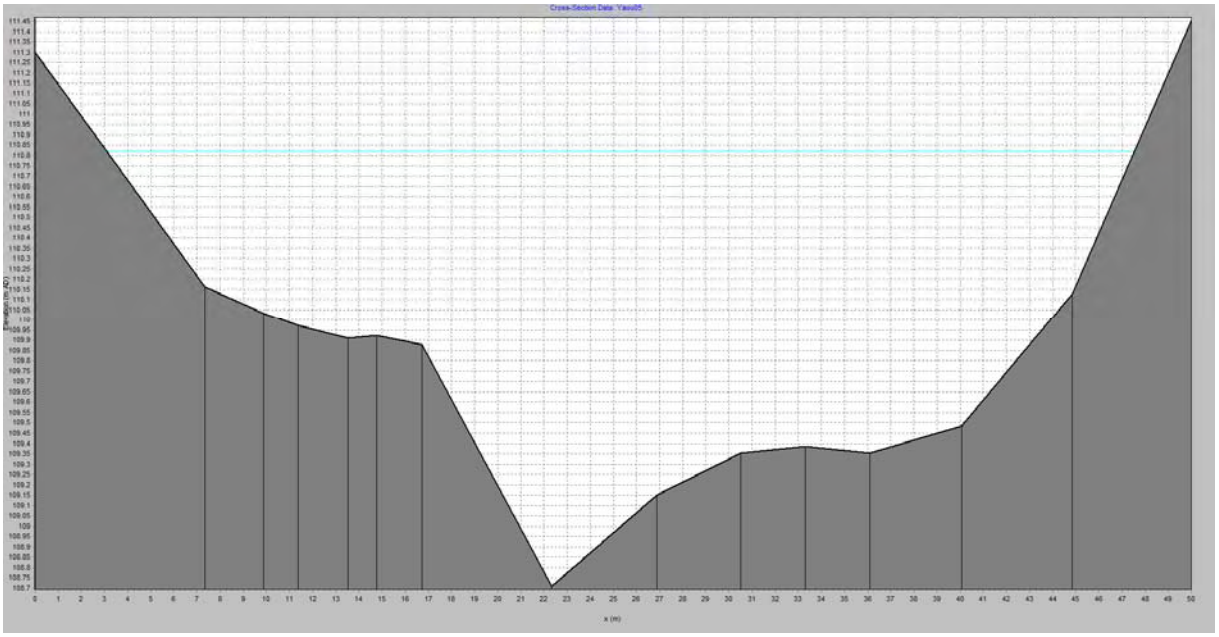
ANNEXE 3 – YAOU : NIVEAUX D'EAU P1-P11

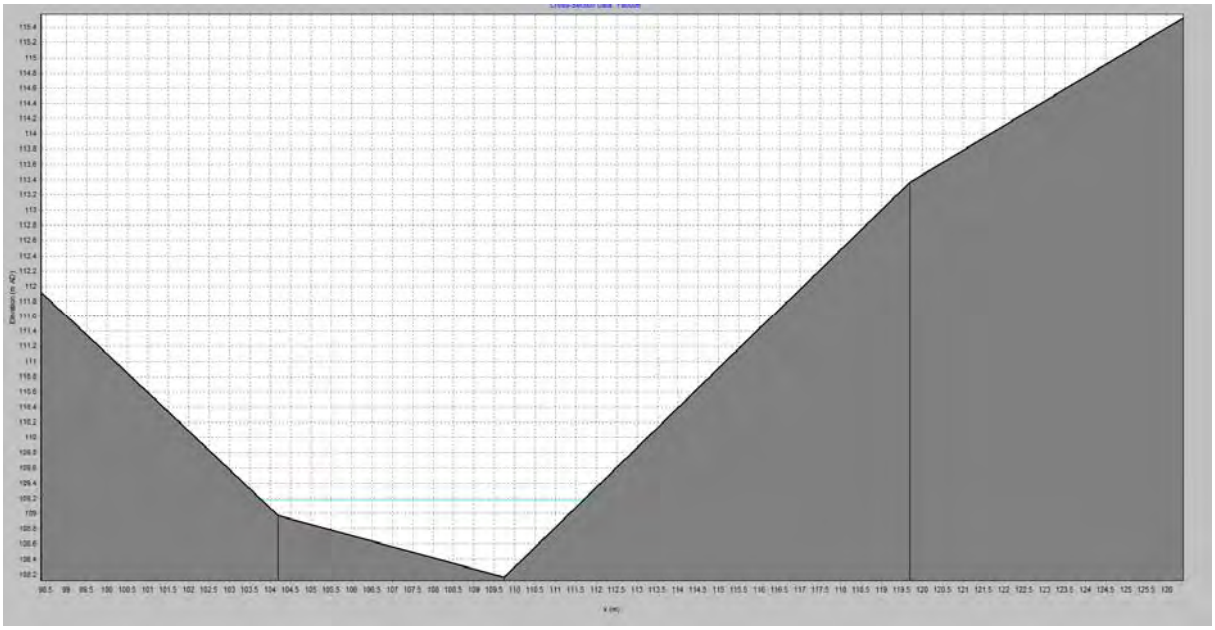

Cross-Section Data: Yasu01: 0 - 0 +
Elevation (ft, AD)

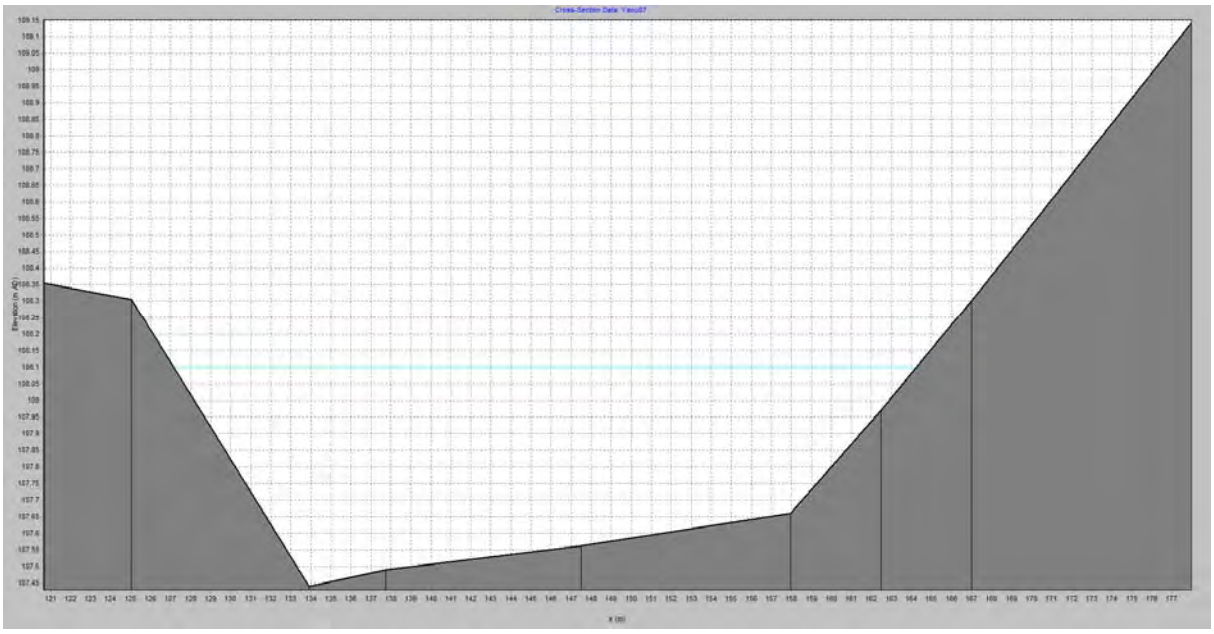

Cross-Section Data: Yasu02
Elevation (ft, AD)

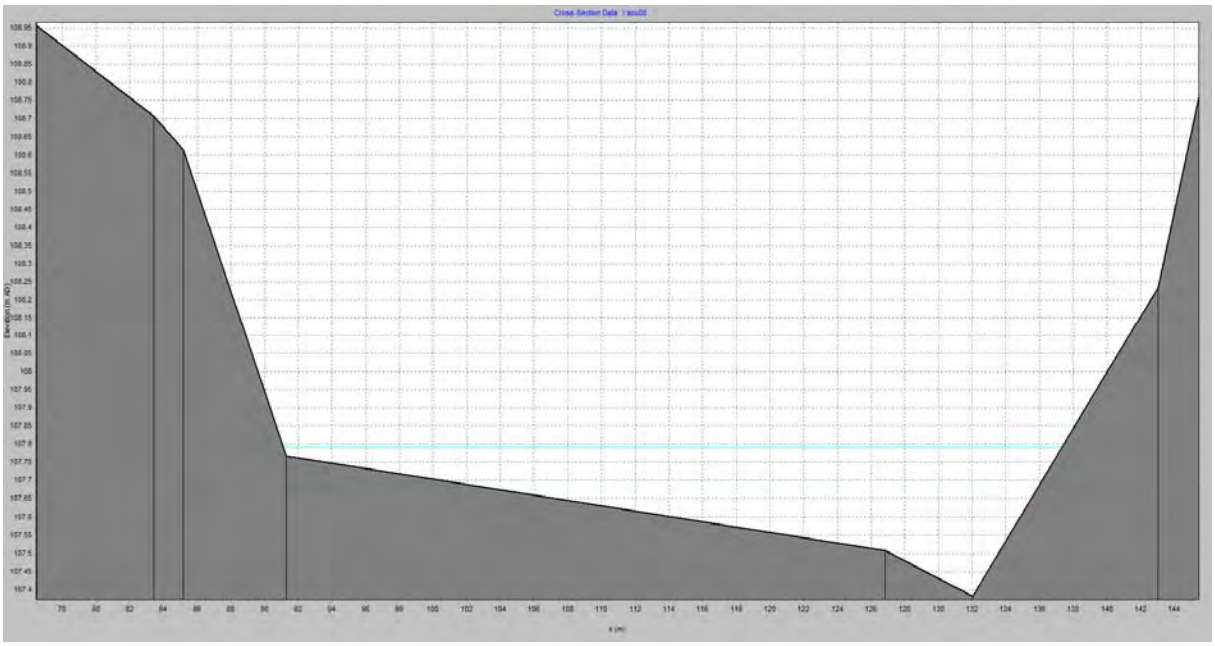

Cross Section Data: Yazu03

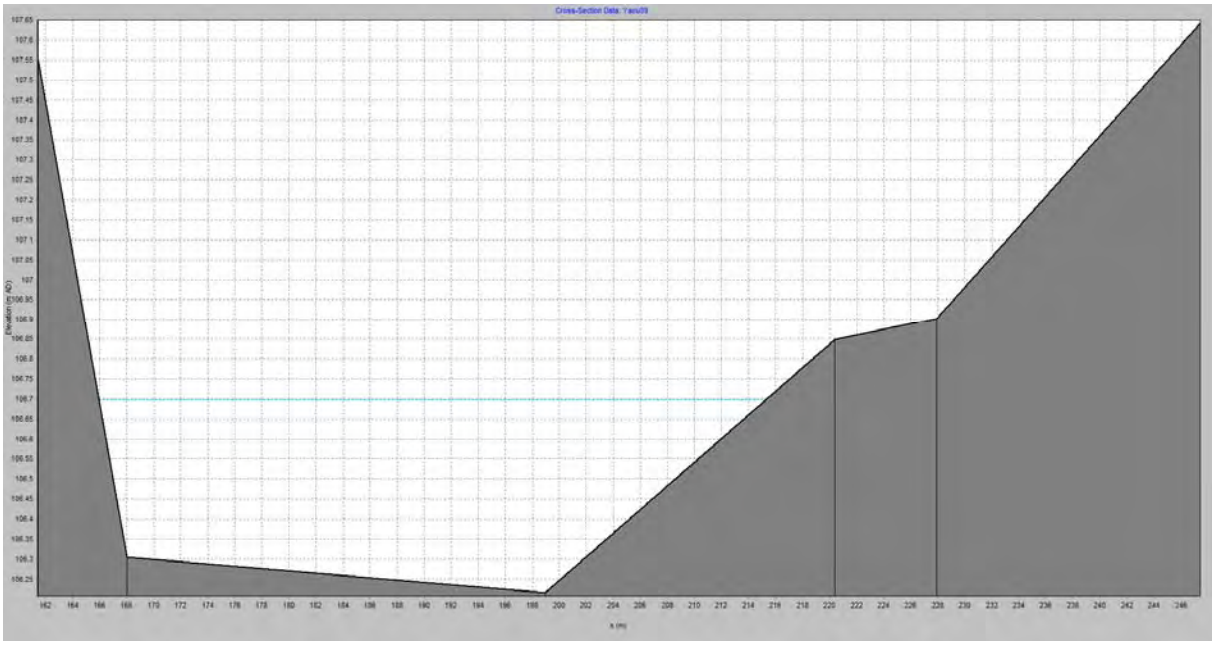

Cross Section Data: Yazu04
Elevation (m AD)

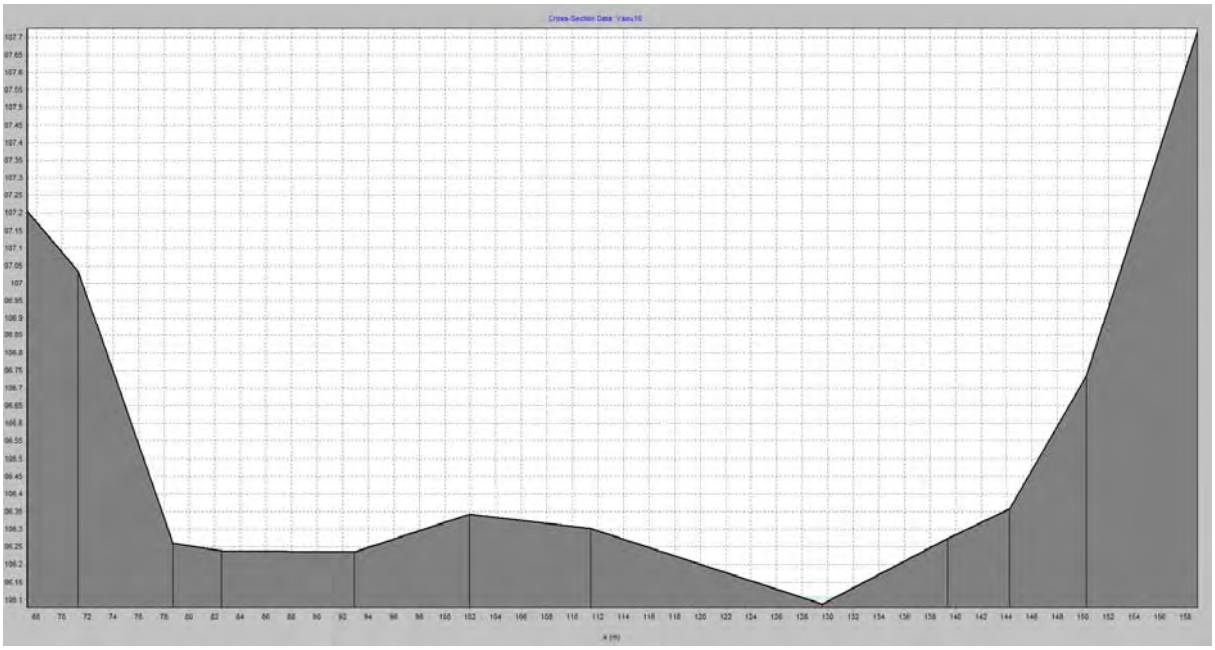

Cross-Section Data: Yasu05
Elevation (m, AD)
x (m)

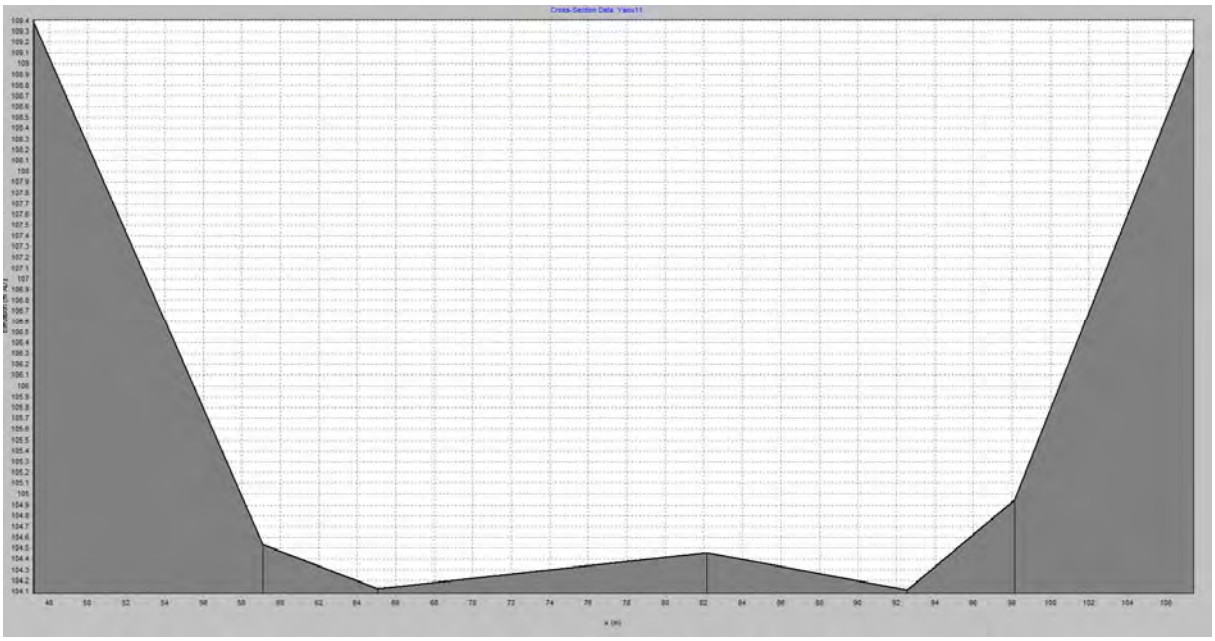

Elevation (m, AD)
x (m)


Cross-Section Data Yasu07
Elevation (m AD)
X (m)


Cross-Section Data Yasu06
Elevation (m AD)
X (m)


Cross-Section Data: Yasu09
Elevation (ft)
x (ft)


Cross-Section Data: Yasu10
x (ft)


Cross-Section Data Views11

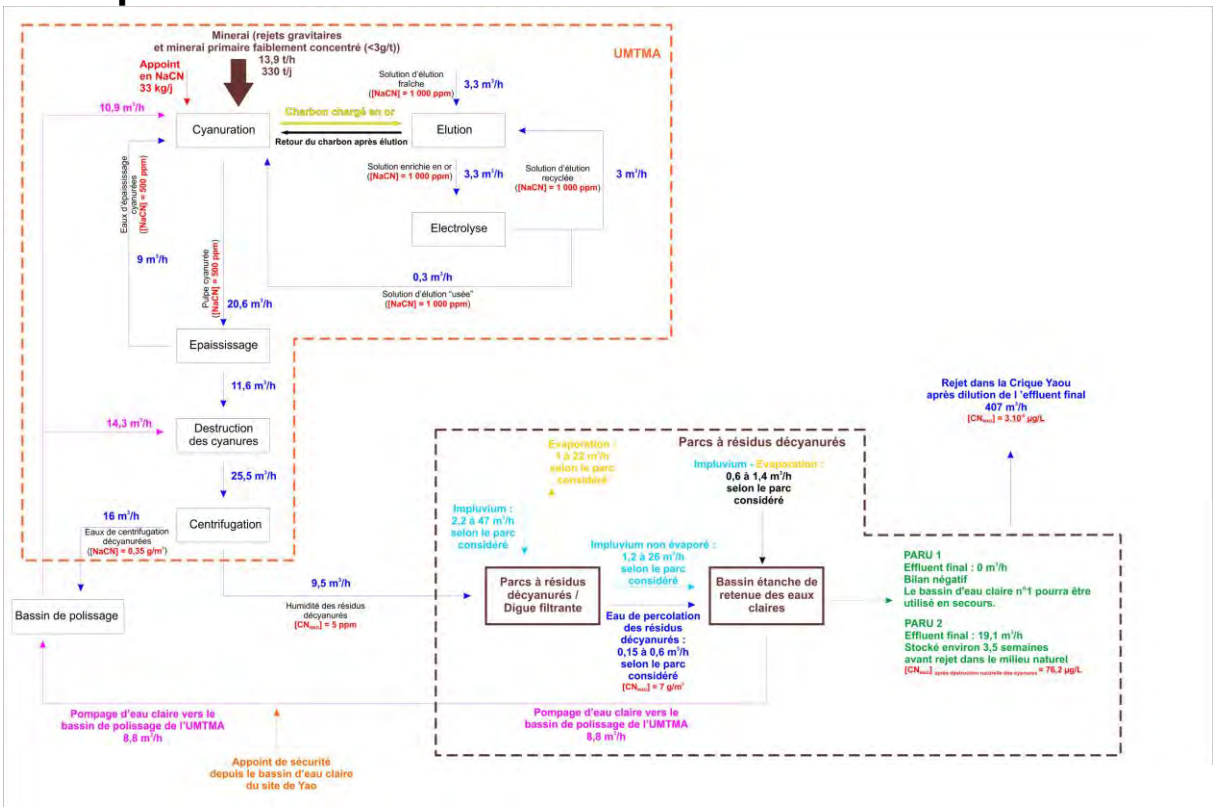
Annexe 16

Note de calcul du bilan hydrique et du bilan massique des cyanures libres et autres polluants aqueux dans les parcs à résidus

Source : GéoPlusEnvironnement

NOTE DE CALCUL SUR LE BILAN HYDRIQUE DES PARCS À RÉSIDUS

1.1. Représentation schématique du bilan hydrique des parcs à résidus



1.2. Estimation de l'impluvium des parcs à résidus décyanurés

Les débits moyens mensuels et annuels de l'impluvium des parcs à résidus décyanurés sont issus de l'étude hydraulique fournie en Annexe15 du Tome 2 : Mémoire Technique.

Le tableau suivant les reprend :

	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy. annuelle (L/s)	Moy. annuelle (m^3/j)
PARU 1	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,2	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	0.6	53
PARU 2 +3 +4	9,6	13,1	17,2	21,5	26,2	25,5	17,0	11,4	6,6	3,8	2,9	4,8	13,3	**1150**

L'**évapotranspiration** a été estimée à Maripasoula dans le Tome 3 : Etude d'impact à partir de la formule de Thornwaite sur la base des données de températures enregistrées à Maripasoula de (Eléments d'hydrologie de surface, 2000, J.P. Laborde, CNRS) :

	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Maximales	66.3	71.3	94.4	107	123	124	125	120	103	90.7	73.6	65.8	1 164.4
Minimales	52.6	55.9	73.8	84.7	98.1	97.1	94.5	87.7	72.9	64.1	53.8	50.7	87.7

Les **précipitations mensuelles** (mm) enregistrées à Maripasoula sur la période 1971 à 2000 :

	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Moyenne	244.5	206.8	251.1	294.8	364.1	314.8	226.9	176.0	83.0	76.8	115.5	189.6	2 543.9
Maxima	113.6	97.5	108.2	99.0	115.1	96.7	74.7	190.0	82.6	85.5	94.0	140.0	190.0

On peut ainsi estimer une évaporation maximale sur une année à Maripasoula de 46 % (1165 mm /2544 mm), et en déduire les débits efficaces suivants (après soustraction de l'évapotranspiration) :

	Moyenne annuelle après soustraction de l'évapotranspiration ($m^{3/}j$)
PARU 1	28
PARU 2 + 3 + 4	620

1.3. Estimation du débit de percolation dans les parcs à résidus décyanurés

L'étude géotechnique Mine & Avenir nous donne une **perméabilité des résidus de $6{,}7.10^{-7}$m/s**.

La **charge hydraulique** dans les parcs à résidus décyanurés a été fixée par GéoPlusEnvironnement à **0,1 m/m** hypothèse habituellement admise dans des parcs à résidus miniers.

La loi de Darcy nous permet ainsi d'estimer une vitesse de percolation dans les résidus décyanurés de 0,1 X $6{,}7.10^{-7}$ = $6{,}7.10^{-8}$ m/s.

Le débit de percolation maximum (cas majorant car considérant la libération d'un plus grand volume d'effluent pouvant contenir des traces de cyanures) a été estimé en considérant la plus grande section « en résidus cyanurés » de chaque parc. Ces sections ont été mesurées à partir des planches topographiques du phasage de remplissage de ces bassins fournies en Figures 27 à 32 du Tome 2 : Mémoire Technique.

Les débits obtenus en multipliant la vitesse de percolation par les plus grandes sections « en résidus cyanuré » :

	PARU 1	PARU 2 + 3 + 4
Section en résidus décyanurés (m^2)	630	2 500
Vitesse de percolation dans les résidus	$6.7.10^{-8}$ m/s	
Débits de percolation maximum a cours de l'exploitation du parcs à résidus (m^3/j)	3,6	14,5

1.4. Bilan hydrique journalier

	PARU 1	PARU 2 + 3 + 4
Apport BV		
Eau d'exfiltration des résidus (débit max. de percolation) (m^3/j) **(1)**	4	14
Eau de ruissellement (débit moyen annuel) (m^3/j) **(2)**	53	1 149
Total (m^3/j)	56	1 163
Pertes BV		
Pompage d'eau claire vers l'UMTMA (m^3/j)	210	210
Evapotranspiration (46% du ruissellement) (m^3/j)	24	528
Total (m^3/j)	234	738
Bilan		
Total provenant des apports (m^3/j)	56	1 163
Total provenant des pertes (m^3/j)	234	738
[Pluvio-Evapo] sur bassins (m3/j)	**15**	**34**
Total d'eau à évacuer (m^3/j)	**0**	**459**
Capacité du bassin d'eau claire en aval des parcs à résidus (m^3)	**6 000**	**11 000**
Durée de stockage moyenne (j)	**0**	**23**

On observe, aux approximations de calcul près (différentes hypothèses), que lors du remplissage du parc à résidus PARU 1, le bilan hydrique sera nul voir négatif, c'est-à-dire que les eaux collectées dans le bassin étanche en aval du parc à résidus suffiront tout juste ou ne suffiront pas à assurer l'appoint en eaux claires de l'UMTMA. Le second bassin d'eau claire du site de Yaou, à l'aval de PARU 4 pourra alors être utilisé.

1.5. Bilan massique des polluants aqueux susceptibles d'être contenus dans les effluents des parcs à résidus décyanurés

Seuls, le parc à résidus PARU 2 est étudié par la suite car, d'après les calculs précédents, il n'y aura pas de rejet dans le milieu naturel lors de l'exploitation du parc à résidus PARU 1.

1.5.1. Cyanures dissociables

Dans cette estimation, seuls, les cyanures libres et faiblement complexés ont été considérés L'ensemble est regroupé dans l'appellation cyanures dissociables (CN_D ou CN_{WAD}). En effet, les cyanures fortement complexés ne sont dissociables qu'à des pH très acides (2-3), ce qui ne pourra arriver dans les résidus décyanurés car le pH de la phase aqueuse des résidus aura plutôt tendance à être basique.

Hypothèses et données de base :

- teneur en cyanures dissociables des résidus décyanurés : **5 ppm** (objectif fixé par SMYD, moitié de la valeur réglementaire de 10 ppm) ;
- humidité des résidus décyanurés : 40 % *Cf. Tome 2 : Mémoire Technique*) ;
- d'où une estimation de la **teneur en cyanures dissociables dans la phase aqueuse** des résidus à **7,5 g/m^3** (5 x (1 - 0,4) /0,4) (en supposant que tous les cyanures libres passent dans la phase aqueuse, et sans tenir compte, dans un premier temps, de leur destruction naturel qui sera pris en compte par la suite).

Le croisement entre le bilan hydrique et la teneur en cyanures libres dans la phase aqueuse des résidus permet d'estimer les concentrations en cyanure des différentes eaux à gérer :

	PARU 2 + 3 + 4
Concentration en cyanures libres dans les eaux d'exfiltration (g/m^3)	7.5
Concentration en cyanures libres dans les eaux du bassin (eaux d'exfiltration + ruissellement) (g/m^3) 0,5 g/m^3 X (1) / ((1)+(2)-(4))	**0.16**

NB : 1g/m^3 = 1 mg/L = 1 ppm

La diminution de concentration entre les eaux d'exfiltration des résidus et l'effluent final s'explique par la dilution dans les eaux issues de l'impluvium des parcs décyanurés.

Le tableau suivant donne le bilan de masse des cyanures dissociables (libres et facilement dissociables) dans les parcs à résidus décyanurés :

	PARU 2 B2 + B3 + B4
Flux journalier de cyanures libres contenus dans les eaux d'exfiltration (g/j)	109
Flux journalier de cyanures libres contenus dans les eaux pompées vers l'UMTMA (g/j)	34
Flux journalier de cyanures libres à évacuer (g/j)	74

La demi-vie du cyanure en considérant sa dégradation naturelle dans un bassin ouvert est d'environ 3 semaines. Ainsi, le stockage, autant que possible dans les bassins d'eau claire étanches, assurera une dégradation des cyanures libres résiduels. Les concentrations en cyanures dissociables après la durée moyenne de stockage dans chacun des bassins d'eau claire des parcs à résidus est estimée ci-après :

		PARU 2 + 3 + 4
Concentration en cyanures dans l'effluent final (g/m^3)		0.16
Durée de stockage moyenne (j)		23
Concentration en cyanures dans l'effluent final après destruction naturelle des cyanures libres	en g/m^3	0.08
	en µg/L	76,2
Seuil de qualité pour les rejets aqueux contenant du cyanure, dans le milieu naturel (Arrêté du 02/02/1998)		0,1 mg/L ou 100 µg/L
Facteur de sécurité		1.3
Seuil de potabilité (Arrêté du 11/01/07)		0,05 mg/L ou 50 µg/L
Facteur de sécurité		0.7
PNEC (Predicted No Effect Concentration) eau douce		0,114 µg/L

Ainsi **les concentrations résiduelles potentielles en cyanures libres seront faibles et conformes aux normes relatives aux rejets aqueux contenant du cyanure, dans le milieu naturel (Arrêté du 02/02/1998).**

Elles seront supérieures, pour les rejets issus du parc à résidus n°2, au seuil de potabilité des eaux (Arrêté du 11/01/2007), toutefois, on rappelle pour mémoire qu'aucun captage AEP n'a été inventorié en aval du site de Yaou.

1.5.1. Autres polluants aqueux

Hypothèses et données de base :

- Par défaut, les teneurs en métaux ont été mesurés sur les lixiviats générés par les rejets gravitaires à traiter (essais de lixiviation en laboratoire) :

Eléments	Concentration (ppm) sur lixiviats
As	< 0.20
Cu	< 0.20
Ni	< 0.10
Pb	< 0.10
Zn	< 0.20

  Pour le mercure, les analyses menées sur les résidus gravitaires à traiter ont donné une moyenne de 0,03 ppm. Par sécurité, on appliquera cette valeur aux résidus décyanurés.
- humidité des résidus décyanurés : **40%**

- d'où une estimation de la **teneur en polluants dans la phase aqueuse des résidus** (en supposant que tous les polluants passent dans la phase aqueuse) :

Eléments	**Concentration (ppm) dans les résidus décyanurés**	**Concentration (mg/L) dans la phase aqueuse des résidus décyanurés**
As	0.20	0.30
Cu	0.20	0.30
Ni	0.10	0.15
Hg	0.03	0.05

De même que précédemment, les concentrations en polluants aqueux de l'effluent final ont été estimées en utilisant les données du bilan hydrique :

Concentrations dans l'effluent final (mg/L)	**PARU 2+3+4**
As	0.01
Cu	0.01
Ni	0.003
Hg	0.001

Les seuils de qualité pour les rejets aqueux contenant ces polluants, dans le milieu naturel (Arrêté du 02/02/1998) sont :

Eléments	**Seuils de qualité pour les rejets aqueux (mg/L) dans le milieu nature (Arrêté du 02/02/1998)**	**PNEC eau douce (µg/L)**
As	0,05	4,4
Cu	0,5	1,6
Ni	0,5	0,5
Hg	0,05	0,036

Ainsi **les concentrations résiduelles potentielles en arsenic, cuivre, fer, nickel, mercure seront très faibles et conformes aux seuils de rejets dans le milieu naturel (Arrêté du 02/02/1998).**

1.6. Evolution des concentrations en polluant en aval

1.6.1. Estimation des débits moyens dans les criques avals des parcs à résidus

Les données issues de l'étude hydraulique menée par GéoPlusEnvironnement (2014) et de la DIREN (2005) permettent d'estimer des débits moyens sur les différentes criques en aval des parcs à résidus :

Débits en L/s	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Crique Yaou amont usine (J2 - *étude hydraulique*)	74.7	101.7	133.5	166.5	203.1	197.4	131.7	88.4	51.0	29.1	22.6	37.3	**103.1**
Crique Yaou aval usine (J2 + J6 - *étude hydraulique*)	82.0	111.6	146.5	182.7	222.9	216.7	144.6	97.0	56.0	31.9	24.8	40.9	**113.1**

1.6.1. Estimation de facteurs de dilution

En comparant les débits moyens annuels aux débits moyens annuels de rejet de l'effluent final, on peut estimer des facteurs de dilution au niveau des différentes criques en aval des parcs à résidus :

Parc à résidus	PARU 2 + 3 + 4
Débit moyen journalier de rejet de l'effluent final (L/s)	5,3
Exutoire 1 (débit moyen journalier)	Crique Yaou amont usine (113,1L/s)
Facteur de dilution à l'exutoire	4,5%

1.6.1. Estimation des concentrations en polluants en aval des parcs à résidus

L'application des différents facteurs de dilution aux concentrations en cyanure et mercure permet d'estimer les concentrations en polluants dans les criques situées en aval des parcs à résidus :

Dilution dans les criques (µg/L)	PARU 2 + 3 + 4
	Crique Yaou aval usine
CN	3,42
As	0.29
Cu	0.29
Ni	0.15
Hg	0.04

Annexe 17

Fiches données sécurité des produits chimiques qui seront employés sur l'UMTMA

Source : SMYD

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Date de révision 21.11.2010 Version 9.7

1. Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise

1.1 Identificateur de produit

Code produit	106437
Nom du produit	Sodium cyanure pur
Numéro d'Enregistrement REACH	Aucun numéro d'enregistrement disponible pour cette substance car la sub stance ou son utilisation sont dispensées d'enregistrement selon l'artic le 2 de la réglementation REACH (EC) N° 1907/2006, le tonnage annuel ne nécessite aucun enregistrement ou l'enregistrement est prévu pour un dél ai ultérieur.

1.2 Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées

Utilisations identifiées	Matériaux destinés aux applications techniques Pour de plus amples informations sur les utilisations, veuillez consulter le site Merck Chemicals.

1.3 Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité

Société	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Allemagne * Tél. +49 6151 72-2440
Service responsable	EQ-RS * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Numéro d'appel d'urgence **I.N.R.S.: 01 45 42 59 59**

2. Identification des dangers

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Classification (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)
Toxicité aiguë, Catégorie 2, Inhalation, H330
Toxicité aiguë, Catégorie 1, Dermale, H310
Toxicité aiguë, Catégorie 2, Oral(e), H300
Toxicité aiguë pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H400
Toxicité chronique pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H410

Pour le texte complet des Phrases-H mentionnées dans cette Section, voir Section 16.

Classification (67/548/CEE ou 1999/45/CE)
T+; R26/27/28
R32
N; R50/53

Pour le texte complet des phrases-R mentionnées dans cet article, voir Section 16.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquetage (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)

Pictogrammes de danger

Mention d'avertissement
Danger

Mentions de danger
H300 + H310 + H330 Mortel en cas d'ingestion, par contact cutané ou par inhalation.
H410 Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
EUH032 Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique.

Conseils de prudence
P273 Éviter le rejet dans l'environnement.
P280 Porter des gants de protection.
P302 + P352 EN CAS DE CONTACT AVEC LA PEAU: laver abondamment à l'eau et au savon.
P304 + P340 EN CAS D'INHALATION: transporter la victime à l'extérieur et la maintenir au repos dans une position où elle peut confortablement respirer.
P309 + P310 EN CAS d'exposition ou d'un malaise: Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.

Etiquetage réduit (≤125 ml)

Pictogrammes de danger

Mention d'avertissement
Danger

Mentions de danger
H300 + H310 + H330 Mortel en cas d'ingestion, par contact cutané ou par inhalation.
EUH032 Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique.

Conseils de prudence
P280 Porter des gants de protection.

No.-Index 006-007-00-5

Étiquetage (67/548/CEE ou 1999/45/CE)

Symbole(s)	T+	Très toxique
	N	Dangereux pour l'environnement
Phrase(s) R	26/27/28-32-50/53	Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion. Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique. Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
Phrase(s) S	7-28-29-45-60-61	Conserver le récipient bien fermé. Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec du savon et de l'eau. Ne pas jeter les résidus à l'égout. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux. Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.
No.-CE	205-599-4	Étiquetage CE

Etiquetage réduit (≤125 ml)

Symbole(s)	T+	Très toxique
	N	Dangereux pour l'environnement
Phrase(s) R	26/27/28-32	Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.

Phrase(s) S 28-45-28	Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique. Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec de l'eau. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec du savon et de l'eau.

2.3 Autres dangers

Aucun à notre connaissance.

3. Composition/informations sur les composants

Formule	NaCN	CNNa (Hill)
No.-CAS	143-33-9	
No.-Index	006-007-00-5	
No.-CE	205-599-4	
M	49,01 g/mol	

4. Premiers secours

4.1 Description des premiers secours

Conseils généraux

Il est nécessaire de réagir vite. Le secouriste doit se protéger. Consulter immédiatement un médecin (mot clé : intoxication à l'acide cyanhydrique).

En cas d'inhalation: faire respirer de l'air frais. Pratiquer immédiatement la respiration artificielle. Le cas échéant, faire respirer de l'oxygène. Consulter immédiatement un médicin.

En cas de contact avec la peau: laver abondamment à l'eau. Enlever les vêtements souillés. Appeler immédiatement un médecin.

En cas de contact avec les yeux : rincer abondamment à l'eau. Consulter immédiatement un ophtalmologiste.

Indications générales: En cas d'ingestion : faire boire de l'eau (maximum 2 verres). Consulter immédiatement un médecin. Seulement en cas exceptionnel, si au bout d'une heure l'intervention d'un médecin n'a pu avoir lieu, faire vomir (uniquement dans le cas des personnes pleinement conscientes qui n'ont pas perdu connaissance), administrer du charbon actif (20 - 40@g en suspension à 10@%) et consulter un médecin le plus tôt possible.

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés

effets irritants, Toux, paralysie respiratoire, Insuffisance respiratoire, Perte de conscience, excitation, spasmes, Nausée, Vomissements, troubles cardio-vasculaires, Migraine, arrêt cardiaque, mort
Concerne les composés cyanogènes/nitriles en général: procéder avec la plus grande précaution! Possibilité de libération d'acide cyanhydrique - blocage de la respiration cellulaire. Troubles cardio- vasculaires, dyspnée, inconscience.

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires

Tenir à disposition des antidotes
dméthylaminophénol
EDTA au cobalt
sdium thiosulfate

5. Mesures de lutte contre l'incendie

5.1 Moyens d'extinction

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 106437
Nom du produit Sodium cyanure pur

Moyens d'extinction appropriés

Utiliser des moyens d'extinction appropriés aux conditions locales et à l'environnement voisin.

Moyens d'extinction inappropriés

Dioxyde de carbone (CO_2), Eau, Mousse

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange

Non combustible.
Possibilité d'émanation de vapeurs dangereuses en cas d'incendie à proximité.
En cas d'incendie, il peut se produire un dégagement de (d'):
Cyanure d'hydrogène (acide cyanhydrique)

5.3 Conseils aux pompiers

Équipement de protection spécial pour le personnel préposé à la lutte contre le feu

Présence dans la zone de danger uniquement avec un appareil respiratoire autonome. Pour eviter le contact avec la peau respecter une distance de sécurité et porter des vêtemenents de protection appropriés.

Autres informations

Rabattre les gaz/les vapeurs/le brouillard à l'aide d'eau pulvérisée. Empêche les eaux d'extinction du feu de contaminer les eaux de surface ou le réseau d'alimentation souterrain.

6. Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle

6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence

Conseil pour les non-secouristes: Eviter le contact avec la substance. Evitar soigneusement de formation et de respirer les poussières. Assurer une ventilation adéquate. Evacuer la zone dangereuse, respecter les procédures d'urgence, consulte r un spécialiste.

Conseil pour les secouristes: Equipement de protection, voir section 8.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement

Ne pas jeter les résidus à l'égout.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage

Recouvrir les drains. Collecter, lier et pomper les produits répandus.
Respecter les éventuelles restrictions concernant les matériaux (voir se ctions 7.2 et 10.5).
Récupérer avec précaution. Acheminer vers l'élimination. Nettoyer. Eviter la formation de poussière.

6.4 Référence à d'autres sections

Indications concernant le traitement des déchets, voir section 13.

7. Manipulation et stockage

7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger

Respecter les mises-en-garde de l'étiquette.

Travailler sous une hotte. Ne pas inhaler la substance.

7.2 Conditions d'un stockage sûr, y compris d'éventuelles incompatibilités

A l'abri de l'humidité. Bien fermé. Conserver dans un endroit bien ventilé. Conserver sous clé ou dans une zone accessible uniquement aux personnes qualifiées ou autorisées.

Températures de stockages: sans limites.

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s)

Aucune utilisation spécifique prévue à l'exception de celles mentionnées à la section 1.2.

8. Contrôles de l'exposition/protection individuelle

8.1 Paramètres de contrôle

Composants avec valeurs limites d'exposition professionnelle

Composants

Base	Valeur	Valeurs limites seuil	Valeur Limite Plafond, Remarques
Sodium cyanure (143-33-9)			
FVL	Désignation de peau		Résorption via la peau Exprimé comme: en CN
	Valeur Limite de Moyenne d'Exposition	5 mg/m³	Limite Indicative Exprimé comme: en CN

Procédures recommandées de contrôle

Les méthodes de mesure de l'atmosphère sur le poste de travail doivent s atisfaire aux exigences des normes DIN EN 482 et DIN EN 689.

8.2 Contrôles de l'exposition

Mesures d'ordre technique

Privilégier les mesures techniques et les opérations appropriées par rap port à l'utilisation d'un équipement de protection personnelle.
Voir section 7.1.

Mesures de protection individuelle

Choisir les moyens de protection individuelle en raison de la concentration et de la quantité des substances dangereuses et du lieu de travail. S'informer auprès du fournisseur sur la résistance chimique des moyens de protection.

Mesures d'hygiène

Enlever immédiatement tout vêtement souillé. Protection préventive de la peau. Se laver les mains et le visage après le travail. Travailler sous une hotte. Ne pas inhaler la substance.

Protection des yeux/du visage

Lunettes de sécurité

Protection des mains

contact total:

Matière des gants:	Caoutchouc nitrile
Épaisseur du gant:	0,11 mm
Temps de pénétration:	> 480 min

contact par éclaboussures:

Matière des gants:	Caoutchouc nitrile
Épaisseur du gant:	0,11 mm
Temps de pénétration:	> 480 min

Les gants de protection utilisés doivent répondre aux spécifications de la directive CE 89/686/CEE et de la norme correspondante EN374, par exemple KCL 741 Dermatril® L (contact total), KCL 741 Dermatril® L (contact par éclaboussures).
Les temps de rupture mentionnés ont été obtenus par la société KCL lors de mesures en laboratoire selon la norme EN 374 sur des échantillons de matériaux pour les types de gants conseillés .

Cette recommandation concerne uniquement le produit repris dans la fiche de données de sécurité que nous fournissons et uniquement pour l'utilisation indiquée. En cas de solution ou de mélange avec d'autres substances et/ou de conditions différentes de celles de la norme EN 374, contactez le fournisseur de gants agréé CE, (par exemple : KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet : www.kcl.de).

Autres équipement de protection:
vêtements de protection

Protection respiratoire
nécessaire en cas de formation de poussières.
Type de Filtre recommandé: Filtre B-(P3)
L'entrepreneur doit s'assurer que la maintenance, le nettoyage et le contrôle des dispositifs de protection respiratoire sont exécutés conformément aux instructions du fabricant. Ces mesures doivent être correctement documentées.

Contrôles d'exposition liés à la protection de l'environnement
Ne pas jeter les résidus à l'égout.

9. Propriétés physiques et chimiques

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles

Forme	solide
Couleur	blanc
Odeur	d'amande amère
Seuil olfactif	Pas d'information disponible.
pH	env. 11,7 à 100 g/l 20 °C
Point de fusion	563 °C
Point/intervalle d'ébullition	1.496 °C à 1.013 hPa
Point d'éclair	non applicable
Taux d'évaporation	Pas d'information disponible.
Inflammabilité (solide, gaz)	Pas d'information disponible.
Limite d'explosivité, inférieure	non applicable
Limite d'explosivité, supérieure	non applicable
Pression de vapeur	à 20 °C non applicable
Densité de vapeur relative	Pas d'information disponible.

Densité relative	1,6 g/cm³ à 20 °C
Hydrosolubilité	370 g/l à 20 °C
Coefficient de partage: n-octanol/eau	Pas d'information disponible.
Température d'auto-inflammabilité	Pas d'information disponible.
Température de décomposition	> 1.500 °C
Viscosité, dynamique	Pas d'information disponible.
Propriétés explosives	Pas d'information disponible.
Propriétés comburantes	Pas d'information disponible.

9.2 Autres données

Température d'inflammation	non applicable
Masse volumique apparente	env.750 - 900 kg/m³

10. Stabilité et réactivité

10.1 Réactivité
Voir section 10.3.

10.2 Stabilité chimique
sensible à l'humidité

10.3 Possibilité de réactions dangereuses
Un risque d'explosion et/ou danger de formation de gaz toxiques existe avec les substances suivantes:

Eau, carbone dioxyde, acides

Possibilité de réactions violentes avec :

Oxydants, sels alcalins

Danger d'explosion avec :

chlorates, nitrites, nitrates

10.4 Conditions à éviter
Exposition à l'humidité.

10.5 Matières incompatibles
Aluminium, Des métaux, Zinc

10.6 Produits de décomposition dangereux
en cas d'incendie: voir paragraphe 5.

11. Informations toxicologiques

11.1 Informations sur les effets toxicologiques

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 106437
Nom du produit Sodium cyanure pur

Toxicité aiguë par voie orale
DL50 rat
Dose: 4,7 mg/kg
(RTECS)

LDLO homme
Dose: 2,8 mg/kg
(RTECS)
Symptômes: Nausée, Vomissements
résorption

Toxicité aiguë par inhalation
Symptômes: Conséquences possibles:, irritations des muqueuses
résorption

Toxicité aiguë par voie cutanée
DL50 lapin
Dose: 7,7 mg/kg
(IUCLID)

résorption

Irritation des yeux
lapin
Résultat: Irritation des yeux
(Règlement (CE) No 1272/2008, Annexe VI) (IUCLID)

Sensibilisation
Une sensibilisation chez les personnes prédisposées est possible.

Génotoxicité in vitro
Test de Ames
Résultat: négatif
(IUCLID)

Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition unique
La substance ou le mélange n'est pas classé comme toxique spécifique pour un organe cible, exposition unique.

Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition répétée
La substance ou le mélange n'est pas classé comme toxique spécifique pour un organe cible, exposition répétée.

Danger par aspiration
Aucune classification comme toxique pour l'exposition par aspiration

11.2 Autres informations
Autres informations
En cas de résorption effet létal.

Effets systémiques:

excitation, spasmes, Insuffisance respiratoire, paralysie respiratoire, Perte de conscience, troubles cardio-vasculaires, arrêt cardiaque, mort

En cas d'ingestion

Migraine

Autres informations

Concerne les composés cyanogènes/nitriles en général: procéder avec la plus grande précaution! Possibilité de libération d'acide cyanhydrique - blocage de la respiration cellulaire. Troubles cardio- vasculaires, dyspnée, inconscience.

Autres indications:

Manipuler la substance avec grande précaution.

12. Informations écologiques

12.1 Toxicité

Toxicité pour le poisson
CL50
Espèce: Oncorhynchus mykiss (Truite arc-en-ciel)
Dose: 0,057 mg/l
Durée d'exposition: 96 h
(IUCLID)

12.2 Persistance et dégradabilité

Biodégradabilité
Résultat: Facilement biodégradable.
> 99 %
Durée d'exposition: 7 d
(IUCLID)

Demande Chimique en Oxygène (DCO)
816 mg/g
(IUCLID)

Ratio BOD/ThBOD
DBO7 6 %

12.3 Potentiel de bioaccumulation

Pas d'information disponible.

12.4 Mobilité dans le sol

Pas d'information disponible.

12.5 Résultats des évaluations PBT et VPVB

Aucune évaluation PBT/vPvB effectuée car aucune évaluation de sécurité c himique n'est requise/n'est menée.

12.6 Autres effets néfastes

Information écologique supplémentaire
Effets biologiques:

Danger pour l'eau potable.

Malgré la dilution, formation de mélanges toxiques et corrosifs avec l'eau.

Information supplémentaire sur l'écologie

Ne pas évacuer dans les eaux naturelles, les eaux d'égout ou le sol.

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 106437
Nom du produit Sodium cyanure pur

13. Considérations relatives à l'élimination

Méthodes de traitement des déchets
Les déchets doivent être éliminés conformément à la directive relative a ux déchets 2008/98/CE et aux réglementations locales et nationales en vi gueur. Laisser les produits chimiques dans les conteneurs d'origine. Pas de mélange avec d'autres déchets. Traiter les conteneurs non nettoyés c omme le produit lui-même.

Cf. www.retrologistik.com pour toutes les informations concernant les pr ocessus de retour des produits chimiques et des conteneurs ou nous conta cter en cas de questions supplémentaires.

14. Informations relatives au transport

ADR/RID
UN 1689 Cyanure de sodium, solide, 6.1, I

IATA
UN 1689 SODIUM CYANIDE, SOLID, 6.1, I

IMDG
UN 1689 SODIUM CYANIDE, SOLID, 6.1, I
No EMS F-A S-A

Les prescriptions concernant le transport sont citées conformément aux accords internationaux et dans la forme utilisée en Allemagne . Ne sont pas prises en considération les différences en vigueur dans les autres pays.

15. Informations réglementaires

15.1 Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement

Réglementations UE

Réglementation relative aux dangers liés aux accidents majeurs (Réglementation relative aux Installations Classées)	96/82/EC Très toxique 1 Quantité 1: 5 t Quantité 2: 20 t 96/82/EC Dangereux pour l'environnement 9a Quantité 1: 100 t Quantité 2: 200 t
Restrictions professionnelles	Suivre la directive 94/33/CE au sujet de la protection de la jeunesse au travail. Suivre la directive 92/85/CEE au sujet de la sécurité et de la santé des femmes enceintes au travail.

Législation nationale

Classe de stockage VCI (RFA)	6.1B Substances non combustibles, toxiques

15.2 Évaluation de la sécurité chimique

Aucune évaluation de la sécurité chimique n'est réalisée pour ce produit .

Code produit	106437
Nom du produit	Sodium cyanure pur

16. Autres informations

Texte complet des Phrases-H citées dans les sections 2 et 3.

H300	Mortel en cas d'ingestion.
H310	Mortel par contact cutané.
H330	Mortel par inhalation.
H400	Très toxique pour les organismes aquatiques.
H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

Texte intégral des phrases R mentionnées dans les sections 2 et 3

R26/27/28	Très toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.
R32	Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique.
R50/53	Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

Conseils relatifs à la formation
Mise à disposition d'informations, d'instructions et de mesures de formation appropriées à l'intention des opérateurs.

Représentation régionale: VWR International S.A.S. * 201, rue Carnot * F-94126 Fontenay sous Bois Cedex UDM Sécurité Produits * Tél.: +33 (0) 1 45 14 85 94 * Fax: +33 (0)1 45 14 85 18, www.vwr.com, info@fr.vwr.com

Merck Chimie S.A.S. * 201, rue Carnot * F-94126 Fontenay Sous Bois * Cedex * Tel.: +33 (0) 1 43 94 54 00 * Fax: +33 (0) 1 43 94 51 25 * merck-chimie.inquiries@merck.fr

signification des abréviations et acronymes utilisés
Les abréviations et les acronymes utilisés peuvent être retrouvés sous h ttp://www.wikipedia.org.

Les indications données ici sont basées sur l'état actuel de nos connaissances. Elles décrivent les dispositions de sécurité à prendre vis à vis du produit concerné. Elles ne représentent pas une garantie sur les propriétés du produit.

Fiche Produit

SOUDE CAUSTIQUE SOLIDE MICROPERLES

PDS-1122-0001

La soude caustique solide est produite par évaporation de l'eau de la soude caustique liquide puis par solidification dans la forme requise.

La soude caustique solide est une base forte utilisée en tant que réactif chimique, régulateur de pH, régénérateur de résines échangeuses d'ions, catalyseur, agent de gravure chimique ou agent de nettoyage. La soude caustique solide microperles est un produit blanc sans odeur.

Les caractéristiques de la soude caustique solide microperles sont conformes à la monographie du Food Chemicals Codex 5ème édition ainsi qu'aux critères de pureté E524 établis dans la directive 2000/63/CE.

Ce produit est soumis à certaines restrictions d'usage prévues par des réglementations nationales ou internationales (additifs alimentaires, traitement de l'eau, industrie pharmaceutique, …). Il est de la pleine et entière responsabilité de l'acheteur et de l'utilisateur final le cas échéant de s'assurer du respect de ces réglementations nationales ou internationales, des décisions de toute autorité compétente, des brevets et autres droits de propriété intellectuelle existants ainsi que des lois et réglementations en vigueur s'appliquant au produit fourni comme à l'usage qu'ils en font. L'acheteur et l'utilisateur final le cas échéant devront déterminer seuls et en dernier lieu l'adéquation de ce produit avec tout but particulier et la manière de l'utiliser.

N'hésitez pas à nous contacter pour toute information concernant des qualités adaptées à des usages spécifiques.

Usine

Tavaux (France)

Spécification Standard

Caractéristiques du produit

Teneur	Unité	Valeur	Méthode d'analyse[1]
Alcalinité totale (NaOH)	g/kg	≥ 990	Titrimétrie (ISO 979 / FCC V)
Carbonate de sodium (Na_2CO_3)	g/kg	≤ 4	Titrimétrie (ISO 3196 / FCC V)
Sulphate (SO_4)	mg/kg	≤ 40	Chromatographie ionique (ASTM E1787)
Chlorure (Cl)	mg/kg	≤ 40	Chromatographie ionique (ASTM E1787)
Fer (Fe)	mg/kg	≤ 10	Photométrie (ISO 6685)
Arsenic (As)	mg/kg	≤ 3	ICP-AES** (ISO 11885) ou colorimétrie (FCC V) *(**) Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif*
Plomb (Pb)	mg/kg	≤ 0,5	
Mercure (Hg)	mg/kg	≤ 0,05	Spectrométrie d'absorption atomique sans flamme (ISO 5993 / FCC V)
Métaux lourds* (Pb) *(*)Groupe H_2S*	mg/kg	≤ 20	ICP-AES** (ISO 11885) ou test de précipitation (ANA-1120-0002) *(**) Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif*
Substances insolubles et matières organiques		Conforme	Test visuel (FCC V)
Food Chemicals Codex 5ème édition (Monographie)		Conforme	
Directive 2000/63/CE (Critères de pureté E 524) établissant des critères de pureté spécifiques pour les additifs alimentaires autres que les colorants et les édulcorants		Conforme	

(1) Le produit est analysé selon les méthodes mentionnées ou selon des méthodes locales en fonction de l'équipement du laboratoire.

Caractéristiques de l'emballage

en vrac,
en sacs PE de 25 kg sur palette de 1225 kg film banderolé,
en bulk-bags de 500 kg avec doublure PE, avec ou sans manchon de vidange, sur palette de 1000 kg,
en bulk-bag de 1000 kg avec doublure PE, avec ou sans manchon de vidange, sur palette.

Consultez-nous pour tout renseignement concernant les caractéristiques du produit (méthodes d'analyses, ...) et les caractéristiques de l'emballage (description des sacs, ...).

Solvay Chemicals International SA
Rue du Prince Albert 44
B - 1050 Brussels
Brussels, RPM 0406804736
+32 2 509 61 11
www.solvaychemicals.com
PDS-1122-0001-W-FR (WW)
Révision 7 - Juin 2007

Solvay Chemicals International

SOUDE CAUSTIQUE SOLIDE MICROPERLES

Fiche Produit

SOUDE CAUSTIQUE SOLIDE MICROPERLES

Identification

Hydroxyde de sodium	NaOH
Poids moléculaire	40,01
Numéro CAS	1310-73-2
Numéro ID (Annexe 1)	011-002-00-6
Numéro CE (EINECS)	215-185-5

Caractéristiques physico-chimiques

Caractéristique	Unité	Valeur
Diamètre moyen	mm	~ 0,75
Densité (à 20°C)	kg/dm^3	2,13
Densité apparente (à 20°C)	kg/dm^3	~ 1,14
Température de fusion (sous 101,3 kPa)	°C	318,4
Chaleur de fusion (sous 101,3 kPa)	J/g	167,5
Chaleur spécifique (à 20°C)	kJ/kg °C	2,01
Chaleur standard de formation (à 25°C)	kJ/g	10,67

Stockage

- La soude caustique solide doit être stockée conformément aux lois et réglementations en vigueur.
- Il est recommandé de stocker les palettes dans un local sec et de ne pas les gerber en plus de deux couches. Les sacs et les bulk-bags ne doivent pas être exposés au soleil, à la lumière, à l'humidité et à la pluie.
- Il est recommandé de gérer la soude caustique solide suivant le principe du « first-in first-out ». En ce qui concerne les microperles emballées, la durée recommandée de conservation en stock est de deux ans à partir de la date d'emballage (indiquée sur chaque sac et bulk-bag).
- La soude caustique solide doit être éliminée conformément aux lois et réglementations en vigueur. En cas de dispersion accidentelle, de petites quantités de produit peuvent être dissoutes avec précaution dans l'eau, puis neutralisées avec un acide.

Consultez-nous pour tout renseignement concernant la manipulation et le stockage du produit.

Sécurité

- La soude caustique solide est un produit **corrosif**. Il provoque rapidement des brûlures des muqueuses, des yeux et de la peau.
- Les réactions de la soude caustique solide avec l'eau et les acides peuvent être violentes et s'accompagner d'un dégagement de chaleur. Son contact avec certains métaux est susceptible de dégager de l'hydrogène.
- La manipulation de la soude caustique solide doit être effectuée par du personnel averti du danger du produit et équipé de **protections individuelles adéquates** (gants, lunettes ...).
- La manipulation de la soude caustique solide doit être accompagnée de mesures de **protections collectives** (douches et fontaines oculaires à proximité et clairement signalées).

Consultez notre fiche de données de sécurité disponible sur Internet http://www.quickfds.com (code fournisseur Solvay). Consultez la fiche toxicologique I.N.R.S. n° 20.

Transport

N° ONU	**1823**
Classe ADR/ADNR/RID/IMDG	8
Groupe d'emballage	II
Etiquette de danger	8
Numéro panneaux citernes	80/1823

Les renseignements contenus dans ce document représentent l'état de nos connaissances à la date de celui-ci. Ils sont donnés de bonne foi mais ne constituent pas une garantie, sauf en ce qui concerne les spécifications. Les possibilités d'utilisation de nos produits étant nombreuses et hors de notre contrôle, il appartient à tout utilisateur de nous demander des informations sur les applications projetées, les présents renseignements généraux n'engageant pas notre responsabilité. L'acheteur est seul tenu de contrôler et de respecter sous sa responsabilité les conditions de détention et d'utilisation de nos produits sur son territoire, d'assumer tout devoir d'information auprès de l'utilisateur final, de respecter tous brevets existants ainsi que toute réglementation applicable à nos produits ou à son activité. Nous réservons notre droit d'effectuer à tout moment et sans préavis des ajouts, suppressions ou modifications au présent document.

Solvay Chemicals International SA
Rue du Prince Albert 44
B - 1050 Brussels
Brussels, RPM 0406804736
+32 2 509 61 11
www.solvaychemicals.com
PDS-1122-0001-W-FR (WW)
Révision 7 - Juin 2007

Solvay Chemicals International

SOLVAY

a Passion for Progress®

SOUDE CAUSTIQUE SOLIDE MICROPERLES

BOC EDWARDS

FICHE DE DONNEES DE SECURITE

NOM DU PRODUIT : CHARBON ACTIF AC35

1. Identification du produit et de la société

Nom du produit : Charbon actif AC35

Synonymes : Aucun

Numéros d'éléments : H122-05-001, H122-05-002

Remarque : le charbon actif est également utilisé dans les filtres anti-odeurs A223-04-077, A223-04-079, A223-04-081

Point de contact en Europe

BOC Edwards, Manor Royal, Crawley,
West Sussex, RH10 2LW, Angleterre
Renseignements généraux
Royaume-Uni : +44 (0)1293 528844
France : +(33) 1 47 98 24 01
Allemagne : +(49) 89-991918-0
Italie : +(39) 0248-4471

Point de contact aux Etats-Unis

BOC Edwards, 301 Ballardvale Street,
Wilmington, MA 01887
Renseignements généraux
+(1) 978-658-5410
Numéro gratuit : 1-800-848-9800

Numéro de téléphone en cas d'urgence, 24h/24 :
Chemtrec : 1-800-424-9300

2. Composition/Information sur les composants

Composant	Poids en %	N° CAS	Classe de danger*	Phrase de risque*
Charbon actif	100	Non attribué	Sans objet	Sans objet

*Classe de danger et phrase de risque. Ces colonnes sont à remplir uniquement pour les composants classés dangereux d'après la directive UE (67/548/CEE modifiée) et présents en concentration suffisante pour rendre la substance globale dangereuse. Dans tous les autres cas, l'expression “Sans objet” figurera dans la colonne.

3. Identification des dangers

PRESENTATION DU DANGER

Si elle est correctement manipulée en conformité avec de bonnes pratiques de travail et d'hygiène, cette matière n'est pas dangereuse pour la santé ni pour l'environnement.

Cependant, la matière est essentiellement utilisée comme absorbant de gaz / vapeur. Il faut faire attention lors de la manipulation d'absorbant qui a été utilisé dans des traitements faisant intervenir des gaz / vapeurs corrosifs, toxiques, inflammables, explosifs ou pyrophoriques. Les précautions doivent tenir compte des risques associés aux matières utilisées dans les procédés de fabrication.

Pour les effets d'une exposition à court et à long terme, voir la section 11 Informations toxicologiques.

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

Effets sur les yeux : Les poussières de charbon actif risquent de provoquer une gêne momentanée.

Effets sur la peau : Aucun.

Effets de l'ingestion/Effets oraux : Aucun.

Effets de l'inhalation : Aucun.

CONDITIONS MEDICALES AGGRAVEES PAR UNE EXPOSITION : Aucune connue.

Codes de danger NFPA		Codes de danger HMIS		Système de classement
Santé	0	Santé	0	0 = Pas de danger
Inflammabilité		Inflammabilité		1 = Léger danger
Réactivité	0	Réactivité	0	2 = Danger moyen
				3 = Danger sérieux
				4 = Grave danger

4. Premiers secours

Yeux : En cas de pénétration de poussière dans l'œil, laver à grande eau. Si l'irritation persiste, consulter un médecin.

Peau : Aucun *.

Ingestion/Voie orale : Aucun *.

Inhalation : Après l'inhalation de poussière, évacuer la personne à l'air frais*. En cas de difficulté respiratoire, une personne compétente doit administrer de l'oxygène ou pratiquer la respiration artificielle selon le cas. Rechercher l'intervention immédiate d'un médecin.

Autres informations : * Si la matière est contaminée par des résidus de fabrication, rechercher un avis médical sur les matières intervenant dans la fabrication.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

Agent extincteur : Mousse. Ne pas utiliser dans des zones fermées.

Danger d'incendie et d'explosion : La matière brûle lentement sans flamme. Produits de décomposition dangereux : dioxyde de carbone, monoxyde de carbone.

Equipement de protection spécial pour les personnes préposées à la lutte contre le feu : Dans des espaces confinés, les préposés à la lutte contre le feu doivent porter un appareil respiratoire autonome répondant aux normes appropriées et opérant en mode de pression positive ainsi qu'une tenue complète d'intervention en cas d'incendie.

Pour les propriétés d'inflammabilité - voir la section 9.

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

BOC EDWARDS
FICHE DE DONNEES DE SECURITE

P120-09-005-883
Version : B
Date d'édition : 01-02-05
Page : 3 / 6

NOM DU PRODUIT : CHARBON ACTIF AC35

6. Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle

Ramasser la matière déversée au balai. S'il y a une teneur en poussière significative, porter une protection anti-poussières et humidifier pour éviter la montée des poussières. Les poussières aériennes à des concentrations suffisantes peuvent être inflammables ou explosives.

7. Manipulation et stockage

Manipulation : éviter la montée des poussières.

Stockage : stocker dans des conteneurs propres, secs et étanches à l'air.

Si du charbon actif vient en contact avec des matières de fabrication toxiques ou corrosives, le charbon actif doit être manipulé, utilisé et/ou éliminé de la même manière que le produit chimique toxique.

8. Contrôles de l'exposition/protection individuelle

Valeurs limites d'exposition

Composant	ACGIH - TLV -	OSHA - PEL	Valeurs limites d'exposition professionnelle EH40 (Royaume-Uni)
Charbon actif	2 mg/m^3 (sous forme de graphite)	15 mppcf (2,5 mg/m^3) (sous forme de graphite)	10mg/m^3 (poussières totales) TWA 5mg/m^3 (poussières respirables)

Protection individuelle :

Mesures techniques : Aucune requise.

Protection respiratoire : Porter un masque anti-poussières quand la matière comporte une quantité importante de poussières.

Protection des mains/de la peau : Porter des gants.

Protection des yeux/du visage: Porter des lunettes de sécurité.

Mesures d'hygiène : Observer de bonnes règles d'hygiène. Ne pas boire ni fumer pendant la manipulation. Se laver les mains après la manipulation et avant de manger.

Autre protection/Protection générale : Aucune.

No DCC1 : 705

Réf 2D01-010 formulaire 1.2

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

NOM DU PRODUIT : CHARBON ACTIF AC35

9. Propriétés physiques et chimiques

Aspect et odeur	Solide noir inodore.	Point d'ébullition	Sans objet	°C/ °F
pH (sous sa forme livrée)	5-8	Point de congélation	Pas de données disponibles	°C/ °F
Hydrosolubilité	Insoluble	Auto-inflammabilité	>400/752	°C/ °F
Teneur volatile en volume	Aucune La matière absorbe des gaz / vapeurs qui peuvent être dégagés par la suite	Point d'éclair	Pas de données disponibles	°C/ °F
Densité relative	0,45-0,48 à 20 °C/68 °F			
Pression de vapeur (mbar)	Pas de données disponibles	Pression de vapeur (Torr)	Pas de données disponibles	

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable

Matières/Conditions à éviter jusqu'à utilisation requise : Agents oxydants forts, air, métaux, halogènes et huiles non saturées.

Produits de décomposition dangereux : Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone.

11. Informations toxicologiques

Pour avoir une description complète des divers effets toxicologiques (sur la santé) en cas de contact de l'utilisateur avec la substance ou la préparation, se reporter à la section 3 Identification des dangers.

Données animales :

Valeur LD50 : Pas de données disponibles.

Valeur LC50 : Pas de données disponibles

Cancérogénicité, etc. :

Aucun risque cancérigène connu. La matière est toxique par inhalation, ingestion et par contact.

12. Informations écologiques

La matière est insoluble dans l'eau. Il n'y a pas d'évaluation écologique disponible.

13. Considérations relatives à l'élimination

Eliminer en accord avec les réglementations nationales et locales. La matière n'est pas classée comme dangereuse ni toxique. On peut utiliser des sites agréés pour la mise en décharge. Si la matière a été utilisée sur des procédés faisant intervenir des gaz / vapeurs dangereux, l'élimination doit tenir compte de leur possible présence dans le produit absorbant.

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

BOC EDWARDS
FICHE DE DONNEES DE SECURITE

NOM DU PRODUIT : CHARBON ACTIF AC35

14. Informations relatives au transport

Ce produit n'est pas classé comme dangereux d'après les réglementations sur le transport.

PARAMETRE	EUROPE	TDG - CANADA	DOT - ETATS-UNIS
Appellation réglementaire	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Classe de danger	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Numéro d'identification	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Etiquette de transport	Sans objet	Sans objet	Sans objet

15. Informations réglementaires

Informations réglementaires européennes

Ce produit a été classé en accord avec la directive 67/548/CEE modifiée sur les substances dangereuses et la directive 88/379/CEE modifiée sur les préparations, mises en oeuvre au Royaume-Uni dans les réglementations CHIP (Chemical Hazard Information and Packing) de 1994 modifiées.

Classé dangereux à livrer : Non

Phrase de risque : Sans objet

Phrase de sécurité : Sans objet

Symboles : Aucun

Informations réglementaires aux Etats-Unis

Tous les composants contenus dans ce produit sont inclus dans l'inventaire des substances chimiques (Chemical Substance Inventory) de l'EPA TSCA.

SARA TITLE III - SECTION 313 SUPPLIER NOTIFICATION (notification du fournisseur) :

Ce produit ne contient pas de produits chimiques toxiques à signaler au titre des prescriptions de la section 313 du 'Emergency Planning and Community Right-To-Know Act (EPCRA) of 1986' (loi de 1986 sur la planification en cas d'urgence et le droit de savoir de la communauté) et 40 CFR Partie 372.

Californie - proposition 65 : ce produit ne contient pas de produits chimiques connus de l'état de Californie pour être à l'origine de cancers ou avoir une toxicité vis-à-vis de la reproduction.

Informations réglementaires au Canada

Tous les composants contenus dans ce produit sont inclus dans la liste canadienne des substances nationales (DSL).

Classification WHMIS : non classé

16. Autres informations

Cette fiche de données de sécurité a été élaborée en accord avec l'ANSI Z400.1 et la directive 91/155/CEE de l'UE sur les fiches de données de sécurité.

Source d'informations pour cette fiche de données :

Fiche de données de sécurité Attenborough and Peacock pour le charbon actif.

No DCC1 : 705

Réf 2D01-010 formulaire 1.2

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

BOC EDWARDS

FICHE DE DONNEES DE SECURITE

P120-09-005-883
Version : B
Date d'édition : 01-02-05
Page : 6 / 6

NOM DU PRODUIT : CHARBON ACTIF AC35

Glossaire : CAS, Chemical Abstracts Service ; **NFPA**, National Fire Protection Association ; **HMIS**, Hazardous Material Information Service ; **LD**, Lethal Dose ; **LC**, Lethal Concentration ; **ACGIH**, American Conference of Governmental Industrial Hygienists ; **TLV,** threshold limit value ; **OSHA**, Occupational Safety and Health Administration, US department of Labour ; **PEL,** Permissible exposure limit ; **EH40 (UK),** Note informative EH40 de la HSE sur les valeurs limites d'exposition professionnelle ; **PPM,** parties par million ; **TWA**, Time-Weighted Average ; **STEL**, Short Term Exposure Limit ; **Canadian TDG,** Canadian Transportation of Dangerous Goods ; **US DOT,** US Department of Transportation.

HSDB, Hazardous Substances Data Bank; **RTECS**, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances; **CHEMID**, Chemical Identification; **DSL**, Domestic Substances List ; **TSCA**, Toxic Substances Control Act Public Law 94-469: **CERCLA**, Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act; **EPCRA**. Emergency Planning and Community Right-to-Know Act; **CAA**, Clean Air Act; US, **SARA (Title III)**, Superfund Amendments and Reauthorization Act.; **SARA 313**, Superfund Amendments and Reauthorization Act, Section 313; **EHS**, Extremely Hazardous Substance; **WHMIS**, Workplace Hazardous Materials Information System.

Révisions

Bien que les informations et les recommandations figurant dans cette fiche de données soient correctes à notre connaissance, nous vous conseillons de déterminer vous-même l'adaptabilité de la substance à l'usage auquel vous la destinez. Les informations contenues dans cette fiche de données proviennent des données du fabricant, la précision de ces informations relève donc de la responsabilité du fabricant. BOC Edwards ne pourra être tenu responsable des dommages de quelque nature que ce soit résultant de l'utilisation de cette fiche de données ou de la confiance qu'on leur accorde.

BOC Edwards est une filiale de BOC Limited
Le symbole des bandes est une marque de BOC Group

FLOCULANT LIQUIDE

1 - IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE :

NOM GENERIQUE	**FLOCULANT LIQUIDE**
UTILISATION	Produit floculant pour la clarification des eaux de piscines.
FABRICANT	**MAREVA PISCINES ET FILTRATION** Z.I. du bois de Leuze -13 310 SAINT MARTIN DE CRAU - France Tel : 33 - 04.90.47.47.90 - Fax : 33 - 04.90.47.95.07
N° d' appel d' urgence	FRANCE : 04.91.75.25.25 : Centre Anti-Poisons de MARSEILLE Allemagne : 030.19240 ou 030.30686790 : Giftnotruf BERLIN

2 - COMPOSITION / INFORMATION SUR LES COMPOSANTS :

Polychlorure d'aluminium à 8,5 % en équivalent Al2O3 en solution aqueuse
N° C.A.S. = 39290-78-3 N° CE = 254-400-7
Xi, R36

3 - IDENTIFICATION DES DANGERS :

CONTACT AVEC LES YEUX	Rougeurs, fortes irritations.
CONTACT AVEC LA PEAU	Irritations possibles.
INGESTION	Douleurs abdominales possibles.

4 - PREMIERS SECOURS :

INHALATION	Amener à l'air frais. En cas de troubles persistants, consulter un médecin.
CONTACT AVEC LES YEUX	Rincer immédiatement et abondamment à l'eau en écartant les paupières, et consulter un médecin.
CONTACT AVEC LA PEAU	Rincer immédiatement à l'eau les zones atteintes.
INGESTION	En cas d'ingestion accidentelle, ne pas faire boire, ne pas faire vomir mais faire transférer immédiatement en milieu hospitalier par ambulance. Montrer l'étiquette au médecin. Ne jamais rien faire ingérer à une victime inconsciente.

5 - MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE :

GENERALITE	Le produit n'est pas combustible. Il peut émettre de l'oxyde de soufre. Porter un appareil respiratoire autonome, en cas d'incendie.
MOYENS D'EXTINCTION	Tous les moyens de lutte contre l'incendie sont autorisés. Utiliser de préférence l'eau pulvérisée.

6 - MESURE A PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE :

PRECAUTIONS	Utiliser un équipement de protection individuelle. Eviter le déversement de produit dans les réseaux "eaux de pluies".....
NETTOYAGE	Adsorber sur un support neutre et ramasser mécaniquement ou pomper dans un réservoir inerte. Rincer à grande eau la surface souillée.
NEUTRALISATION	Diluer dans de l'eau. Neutraliser avec une solution faiblement alcaline (pH = 7,5)

7 - MANIPULATION ET STOCKAGE :

MANIPULATIONS	Prendre les précautions d'usage pour la manipulation des produits chimiques. Eviter tout contact avec la peau, les yeux et les vêtements. Se laver les mains après utilisation. Ne pas boire manger ou fumer pendant l'utilisation.
STOCKAGE	Dans un endroit sec, dans l'emballage d'origine bien fermé, entre -8 et 35°C. Ne pas stocker à proximité des bases fortes.

MATERIAUX INCOMPATIBLES : fer, inox, aluminium,...

MATERIAUX RECOMMANDES : acier ébonité ou caoutchouté, polychlorure de vinyle, polyéthylène, polyester fretté.

8 - CONTROLE DE L'EXPOSITION - PROTECTION INDIVIDUELLE :

Manipulation occasionnelle du produit : gants et lunettes conseillés.

Manipulation répétée ou continue du produit : tenue de travail couvrant le corps et les membres, et port de gants et de lunettes de protection.
Prévoir un renouvellement d'air et/ou une aspiration suffisante dans les ateliers.

VME = 2 mg/m3 (exprimé en Al)

9 - PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES :

ETAT PHYSIQUE	: liquide
COULEUR	: incolore à légèrement jaunâtre (peut parfois présenter un dépôt blanc).
ODEUR	: aucune
pH à 20°C	: 3,2+/- 0,3 (25°C)
TEMPERATURE D'EBULL.	: 105 °C.
POINT DE FUSION	: -9 °C.
INFLAMMABILITE	: -
EXPLOSIVITE	: -
DENSITE (à 20°C.)	: 1.17
SOLUBILITE DANS L'EAU	: soluble en toutes proportions.

10 - STABILITE ET REACTIVITE :

STABILITE	- le produit est stable physiquement et chimiquement. - il se décompose en dioxyde de soufre en cas de surchauffe à des températures supérieures à 600 °C.
REACTIVITE	Le produit réagit avec : les bases fortes, les chlorites, les hypochlorites, les sulfites.

11 - INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES :

TOXICITE AIGUE	Ingestion : DL50 / orale / rat = 11,8 g/Kg pratiquement non nocif pour l'animal
EFFETS LOCAUX	Non irritant pour la peau (lapin) Irritant pour les yeux (lapin)

12 - INFORMATIONS ECOLOGIQUES :

TOXICITE AQUATIQUE Daphnie (immobilisation) : CE50, 48 heures : > 100 mg/l

13 - INFORMATIONS RELATIVES A L'ELIMINATION :

Diluer largement le produit à éliminer dans de l'eau (éventuellement : le neutraliser avec un produit alcalin).
Eliminer le produit en tenant compte de la réglementation en vigueur.

14 - INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT :

N° ONU = 3264 : **Liquide inorganique corrosif acide, nsa (polychlorure d'aluminium)**

TRANSPORT TERRESTRE TRANSPORT MARITIME TRANSPORT AERIEN	UN 3264 - Classe 8 - Groupe d' emballage III - Etiquette de danger = 8 - Code de danger = 80

Ce produit peut, dans certains cas, être exempté (emballage en **Quantités Limitées**)

15 - INFORMATIONS REGLEMENTAIRES : (conformes aux arrêtés des 20 avril 1994 et/ou 21 février 1990 et leurs adaptations, traitant de la classification et l'étiquetage des substances et préparations dangereuses)

"Aluminium polychlorure - N°CE = 254-400-7"

Symbole de dangers **Xi** - Irritant

Phrases R 36 - Irritant pour les yeux.

15 - INFORMATIONS REGLEMENTAIRES (suite) :

Phrases S	2 -	Placer hors de la portée des enfants.
	24 / 25 -	Eviter le contact avec la peau et les yeux
	26 -	En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
	46 -	En cas d'ingestion, consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette.

AUTRES INFORMATIONS :

ALIMENTARITE :	Autorisé pour les traitements des eaux destinées à la consommation humaine (coagulants). Circulaire du 27.05.1992
SUISSE :	N° OFSPT 78390
ALLEMAGNE :	-

16 - AUTRES INFORMATIONS :

Classification ICPE : -

Nomenclature Combinée (INTRASTAT) pour les statistiques douanières **= 2827.20.00**

Les renseignements contenus dans cette fiche sont basés sur l' état de nos connaissances et des principaux textes législatifs et réglementaires relatifs au produit et promulgués à la date de mise à jour de ce document. Cette fiche de sécurité a été rédigée et doit être utilisée uniquement sur ce produit.
Voir les notices d'utilisation du produit sur les étiquettes ou les fiches de conseil de votre revendeur professionnel.

ERCO Worldwide

ACIDE CHLORHYDRIQUE
PRODUIT CONTRÔLÉ PAR SIMDUT
Date d'émission : 08/2006
Révision n° : 3

FICHE SIGNALÉTIQUE

RÉV. 3 émise : 08/2006

1. INFORMATIONS SUR LE PRODUIT CHIMIQUE ET L'ENTREPRISE

Nom chimique : acide chlorhydrique
Synonymes/noms commerciaux : chlorure d'hydrogène aqueux, acide muriatique
Famille chimique : acide inorganique
Formule : HCl
Poids moléculaire : 36.46
N° de CAS : 7647-01-0
Utilisations : acidification (activation) des puits de pétrole; détartrage; réduction de minerais; nettoyage des métaux; acidification industrielle.

Fabricant et fournisseur :
ERCO Worldwide
CANADA :
302 The East Mall, Bureau 200
Toronto (Ontario) M9B 6C7
(416) 239-7111

ERCO Worldwide
Rte Wanuskewin et 71ère rue
Saskatoon (Saskatchewan) S7K 3R3
(306) 931-7767

ERCO Worldwide (USA) Inc.
Nekoosa, Wisconsin 54457
(715) 887-4000

Numéros de téléphone d'urgence pour les transports
CANUTEC (613) 996-6666
ÉTATS-UNIS CHEMTREC: 1 800 424-9300

Informations pour urgence :

Sans frais, 24 heures sur 24 :
1 866 855-6947

Classification(s) du SIMDUT :

Classe D1A

Classe E

2. COMPOSITION / INFORMATIONS SUR LES INGRÉDIENTS

Nom :	Conc. en % du poids	N° de CAS
Chlorure d'hydrogène	35 %	7647-01-0
Eau	Équilibre	7732-18-5

3. IDENTIFICATION DU DANGER

Renseignements d'urgence : extrêmement corrosif. La gravité des dommages dépend de la concentration de l'acide et de la durée d'exposition. En règle générale, les solutions et les brouillards avec un pH de 3 ou moins sont très préoccupants pour la santé. Le contact avec l'eau produira considérablement de chaleur. Le contact avec la plupart des métaux produit de l'hydrogène gazeux inflammable.

Voies d'entrée : inhalation, contact avec la peau, contact avec les yeux, ingestion

Symptômes de l'exposition :

Inhalation :
HCl est un acide très fort. Des solutions peuvent être extrêmement corrosives. La gravité des effets dépend de la concentration de la solution et de la durée d'exposition. En règle générale, les solutions et les brouillards HCl avec un pH de 3 ou moins sont très préoccupants pour la santé.
Les vapeurs ou les brouillards des solutions concentrées peuvent causer de sévères irritations nasales, des maux de gorge, ainsi que suffocation, toux et difficulté à respirer (de 50 à 100 ppm).(2) Des expositions prolongées peuvent causer des brûlures et des ulcères du nez et de la gorge.
Les expositions intenses (soit de 1 000 à 2 000 ppm), rien que quelques minutes, peuvent causer l'accumulation de liquides dans les poumons (œdème pulmonaire) mettant ainsi la vie en danger.(2)
Les symptômes de l'œdème pulmonaire tels que l'essoufflement peuvent apparaître, avec retard, des heures après l'exposition.

Contact avec la peau :
L'acide chlorhydrique liquide peut causer une irritation sévère (rougeur, enflure et douleur), ainsi que des lésions de la peau dues à la corrosion qui laissent des cicatrices permanentes (voire la mort).
Une concentration élevée de vapeur ou de brouillard peut causer des rougeurs, des irritations et des brûlures de la peau si le contact est prolongé. La peau couverte par des vêtements humectés de sueur peut aussi être affectée.

Contact avec les yeux :
De faibles concentrations de vapeur ou de brouillard (de 10 à 35 ppm) peuvent se révéler immédiatement irritantes et causer des rougeurs.(2) Des vapeurs, des brouillards ou des éclaboussures liquides d'une certaine concentration peuvent causer des irritations sévères, des brûlures et une cécité permanente.

Ingestion :
Les solutions HCl peuvent causer des brûlures corrosives de la bouche, de la gorge, de l'œsophage et de l'estomac. Les symptômes peuvent comprendre de la difficulté à avaler, une soif intense, des nausées, des vomissements, de la diarrhée et dans les cas graves, la personne peut s'effondrer et mourir.
De petites quantités d'acide qui pénètrent dans les poumons pendant l'ingestion ou les vomissements (aspiration) peuvent entraîner des lésions pulmonaires graves et la mort.

4. PREMIERS SOINS

Peau : dès que possible, lavez la zone contaminée à grande eau pendant au moins 20 minutes sous un jet d'eau tiède qui coule doucement. Tout en demeurant sous le jet d'eau, retirez les vêtements, les souliers et les articles en cuir contaminés. Demandez sans tarder des soins médicaux.

Yeux : rincez immédiatement l'œil ou les yeux contaminés à grande eau, doucement sous l'eau courante et tiède pendant au moins 20 minutes, en maintenant la ou les paupières ouvertes. Prenez soin de ne pas rincer l'œil non atteint avec de l'eau contaminée. Demandez sans tarder des soins médicaux.

Inhalation : éliminez la source de chlore ou faites sortir la victime au grand air. N'administrez rien par la bouche si la victime a perdu conscience. Vérifiez la respiration et le pouls. Si la respiration s'est arrêtée, le personnel formé devrait commencer à pratiquer la respiration artificielle En cas d'arrêt cardiaque, tentez immédiatement la réanimation cardio-respiratoire (RCR). Si la respiration s'accélère et si un râlement indiquant la présence de bulles se fait entendre, placez la personne en position assise, et si possible, donnez-lui de l'oxygène. Demandez sans tarder des soins médicaux.

Ingestion : n'administrez rien par voie buccale à une personne qui a perdu conscience ou qui est en état de convulsion. Le cas échéant, rincez-lui la bouche avec de l'eau pour enlever l'acide chlorhydrique résiduel. Si la victime peut avaler, donnez-lui un verre d'eau ou de lait pour diluer le contenu de l'estomac. Ne provoquez pas de vomissements. Si les vomissements surviennent de manière naturelle, rincez-lui la bouche et administrez de l'eau à nouveau. Demandez sans tarder des soins médicaux.

5. MESURES DE LUTTE CONTRE LES INCENDIES

Conditions d'inflammabilité : pas inflammable

Moyens d'extinction : ne brûle pas. Utilisez des agents d'extinction compatibles avec l'acide et qui conviennent au matériel en combustion. Pulvérisez de l'eau pour que les conteneurs exposés au feu demeurent au frais.

Produits dangereux résultant de la combustion : le chlore et l'hydrogène gazeux peuvent se former à des températures supérieures à 1 500 °C.

Point d'éclair et méthode : pas combustible (ne brûle pas)
Limite supérieure d'inflammabilité : sans objet
Limite inférieure d'inflammabilité : sans objet
Température d'inflammation spontanée : sans objet
Sensibilité au choc mécanique : non disponible
Sensibilité à une décharge statique : pas sensible

6. MESURES EN CAS DE FUITE ACCIDENTELLE

Procédures en cas de fuites ou de déversements : seules les personnes portant l'équipement protecteur ont la permission de pénétrer dans les lieux où la fuite s'est produite. Ventilez la zone. Les vapeurs provenant d'un déversement ou d'une fuite peuvent être combattues à l'aide d'un jet ou d'un brouillard d'eau. De légers déversements et des résidus en quantité limitée peuvent être neutralisés avec des alcalis tels que du carbonate de soude ou de la chaux. Cela provoquera la libération du dioxyde de carbone; usez donc de prudence. Les déversements importants doivent être contenus, et dans le cas où ils ne sont pas récupérables, ils doivent être dilués dans de l'eau ou dispersés dans une zone de rétention et neutralisés.

Procédures de contrôle des déchets : consultez les autorités locales, provinciales ou fédérale appropriées pour déterminer les procédures d'élimination. Les rebuts d'acide chlorhydrique ou d'eau contaminée avec de l'acide, ne doivent jamais être évacués directement dans les égouts ou dans les eaux de surface. Les matériaux contaminés doivent être neutralisés avec du carbonate de soude ($Na2CO_3$), de la chaux vive (CaO), ou de la pierre à chaux ($CaCO_3$). Les boues résiduelles peuvent être pelletées dans les contenants pour élimination.

7. MANUTENTION ET ENTREPOSAGE

Procédures et équipement de manutention : lors de la dilution ou de la préparation des solutions, ajoutez lentement l'acide à l'eau pour éviter le bouillonnement et les éclaboussures. Utilisez toujours le produit dans un endroit bien ventilé, préférablement avec une ventilation locale.

Entreposage : entreposez les contenants fermés dans un endroit propre, frais, ouvert et bien ventilé. Entreposez à l'abri des rayons du soleil. Entreposez à distance des matériaux incompatibles.

8. CONTRÔLES DE L'EXPOSITION / PROTECTION PERSONNELLE

Équipement de protection :
< 50 ppm — Appareil de protection respiratoire à adduction d'air, appareil respiratoire autonome, respirateur à cartouche filtrante chimique, ou appareil de protection respiratoire à épuration d'air motorisé, tous deux avec cartouche(s) afin de protéger du chlorure d'hydrogène.
> 100 ppm — Appareil de protection respiratoire à adduction d'air fonctionnant en mode débit constant, appareil de protection respiratoire pleine figure, ou appareil respiratoire autonome pleine figure.
Lunettes protectrices non-ventilées contre les agents chimiques ou écran facial pleine figure.
Gants imperméables, ensembles protecteurs, bottes ou autres vêtements protecteurs. Les matériaux recommandés pour les vêtements protecteurs sont les suivants : butylcaoutchouc, polychloroprène, caoutchouc nitrile, Teflon™, Responder™, Viton™. Il faut une douche d'urgence ainsi qu'un bassin oculaire dans la zone de travail immédiate.

Mesures d'ingénierie :
la manutention doit s'effectuer en prévoyant un système de ventilation en circuit fermé (par exemple, sous une hotte d'aspiration). Dans les endroits où la manutention est intense, la ventilation forcée doit être suffisante pour réduire la concentration du brouillard ou de la vapeur et la ramener en-dessous des niveaux admis. L'équipement de traitement à découvert peut nécessiter des systèmes locaux d'évacuation. Ceux-ci doivent tous résister à la corrosion. Mettez des dispositifs de rinçage oculaire et des bassins d'urgence à disposition dans les zones de travail.

9. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

État : liquide
Odeur : odeur piquante
Seuil olfactif : détectable à 1 jusqu'à 5 ppm
Point d'ébullition : 62 °C
Point de fusion : sans objet
Point de congélation : -35 °C
pH : 0.1 pour une solution 1N
1.1 pour une solution 0.1N
Coefficient de distribution eau/huile : sans objet
Apparence : liquide fumant, incolore ou légèrement jaune
Densité : 1.18 @ 20 °C
Pression de vapeur : 84 mm Hg @ 20 °C
Densité de la vapeur : 1.268 @ 20 °C
Taux d'évaporation : non disponible
Solubilité dans l'eau : complètement miscible dans l'eau
Masse volumique apparente : sans objet

10. STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ

Stabilité chimique : stable

Conditions de réactivité : de grandes quantités de chaleur peuvent être libérées lorsque le produit est mélangé à de l'acide sulfurique concentré ou à des solvants organiques.

Substances incompatibles : la plupart des métaux, alcalis, oxydes métalliques, amines et des substances qui réagissent avec l'eau telles que l'acide sulfurique, l'oléum et l'anhydride acétique. Les carbonates, les cyanides et les sulfures qui, de même, entrent en contact avec cette substance auxiliaire libèrent des gaz toxiques. La réaction avec les hypochlorites produira du chlore gazeux toxique.

Produits de décomposition dangereux : évolution accélérée du HCl gazeux

11. INFORMATION TOXICOLOGIQUE

Contact avec la peau : peut causer une irritation sévère (rougeurs, enflures et douleurs), ainsi que des lésions de la peau dues à la corrosion dont les cicatrices sont permanentes (voire la mort). L'exposition prolongée à des concentrations élevées de brouillard ou de vapeur entraîne des rougeurs et des brûlures de la peau.

Absorption par la peau : pénètre dans l'épaisseur totale de la peau. Une exposition moins intense peut entraîner une dermatite et une photosensibilisation .

Absorption par la peau : pénètre dans l'épaisseur totale de la peau. Une exposition moins intense peut entraîner une dermatite et une photosensibilisation .

Contact avec les yeux : une concentration peu élevée de vapeur ou de brouillard peut se révéler irritante et causer des rougeurs. De la vapeur, du brouillard concentrés ou des éclaboussures de liquides peuvent causer des irritations, des brûlures sévères et une cécité permanente.

Inhalation : la vapeur ou le brouillard peuvent causer l'irritation du nez, de la gorge et des voies respiratoires supérieures. Les symptômes comprennent la toux, la suffocation et le saignement du nez et des gencives. L'exposition intense peut entraîner un œdème pulmonaire ainsi que la corrosion des tissus du nez et de la gorge.

Ingestion : entraîne des brûlures graves de la bouche, de l'œsophage et de l'estomac avec des symptômes consécutifs de douleur, soif, nausée, vomissement, diarrhée et, dans les cas graves, la circulation est gravement atteinte et la mort s'ensuit.

DL_{50} : 900 mg/kg (lapin/oral)

CL_{50} : 5 666 ppm (rat) Exposition au brouillard de 30 min.

Limites d'exposition : ACGIH, 2003 : VLE-Moyenne pondérée dans le temps (plafond) : 2 ppm (2.8 mg/m^3). OSHA, PEL (plafond) : 5 ppm (7 mg/m^3)

Propriétés irritantes : non disponible

Sensibilisation : non disponible.

Carcinogénicité : le CIRC rapporte des preuves non concluantes de carcinogénicité chez les animaux

Tératogénicité et mutagénicité : information non disponible

Toxicologie de la reproduction : information non disponible

Synergisme toxicologique : non disponible

12. INFORMATION ÉCOLOGIQUE

Information écologique : l'acide chlorhydrique se dégrade dans l'eau et est neutralisé par l'alcalinité et le dioxyde de carbone d'origine naturelle. Cet acide envahit le sol, en dissolvant certains matériaux du sol et il est partiellement neutralisé.

Biodégradabilité : aucune information

Toxicité aquatique : l'acide chlorhydrique sera très toxique pour la vie aquatique en raison de la réduction du pH de l'eau. La plupart des espèces aquatiques ne tolèrent pas un pH inférieur à 5,5 pour une période prolongée.

CL_{50} : 282 mg/l (Gambusia affinis — 96 h)

CL_{50} : 3,6 mg/l (crapet arlequin — 48 h)

13. POINTS À EXAMINER CONCERNANT L'ÉLIMINATION

Points à examiner concernant l'élimination : l'élimination de tous les déchets doit être faite en conformité avec la réglementation des gouvernements municipaux, provinciaux et fédéral.

14. INFORMATION SUR LE TRANSPORT

Appellation réglementaire (RTMD)	Numéro ONU	Classe de risques	Groupe d'emballage
Acide chlorhydrique	1789	8	II

15. INFORMATION RÉGLEMENTAIRE

Ce produit a été classé selon les critères de risque du Règlement canadien sur les produits contrôlés (CPR); la fiche signalétique renferme toutes les informations requises par le CPR.

Sécurité

RÉGLEMENTATION FÉDÉRALE AMÉRICAINE: n'est pas liste détaillée)
INVENTAIRE DE LA LOI SUR LES SUBSTANCES TOXIQUES (TSCA): Toutes les composantes sont répertoriées dans l'inventaire.
LOI SUR LA SANTÉ ET SÉCURITÉ. AU TRAVAIL (OSHA): Matière dangereuse selon 29 CFR section 1910, sous-section Z.
LOI DÉTAILLANT LA RÉPONSE ENVIRONNEMENTALE' LA COMPENSATION ET LA RESPONSABILITÉ (CERCLA): Matière dangereuse selon 40 CFR section 302, quantité à déclarer (RQ) = 5,000 lbs
LOI PORTANT MODIFICATION ET RÉAUTORISATION DU FONDS SPÉCIAL POUR L'ENVIRONNEMENT (SARA) 313: Substance toxique, doit être déclaré selon les critères de 40 CFR section 372.2
LOI PORTANT MODIFICATION ET RÉAUTORISATION DU FONDS SPÉCIAL POUR L'ENVIRONNEMENT (SARA) 311/312 : critère de risque: Risque immédiat (aigu) pour la santé, substance réactive
LOI PORTANT MODIFICATION ET RÉAUTORISATION DU FONDS SPÉCIAL POUR L'ENVIRONNEMENT (SARA) 302: Aucune substance faisant partie de 40 CFR section 355 SANTÉ: impact immédiat à la santé

CANADA
CLASSIFICATION DU SYSTÈME D'INFORMATION SUR LES MATIÈRES DANGEREUSES UTILISÉES AU TRAVAIL (SIMDUT)
Classifications du SIMDUT applicables à ce produit :
D1A – Substance poison et infectieuse – Effets immédiat et sérieux – Très toxique
E (matière corrosive) basé sur son affectation à la classe 8 du TMD

Environnement

RÈGLEMENT FÉDÉRAL AMÉRICAIN
VISANT LE TRANSPORT DES QUANTITÉS À DÉCLARER (RQ)
Il faut déclarer une quantité (RQ) de 5 000 lb.
LOI RÉGLEMENTANT LES SUBSTANCES TOXIQUES (TOXIC)
(SUBSTANCES CONTROL ACT) Répertorié dans le TSCA

LOI PORTANT MODIFICATION ET RÉAUTORISATION DU FONDS SPÉCIAL POUR L'ENVIRONNEMENT (SARA) TITRE III [SUPERFUND AMENDMENTS AND REAUTHORIZATION ACT (SARA) TITLE III]
Les éléments identifiés avec un astérisque (*) dans la Section 2 sont assujettis aux exigences de déclaration de l'article 313 du Titre III de la Loi portant modification et réautorisation du fonds spécial pour l'environnement de 1986 [Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA)] et de 40 CFR Part 372.

CANADA
LOI CANADIENNE SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (LCPE)
Tous les éléments de ce produit figurent sur la Liste intérieure des substances (LIS).
LOI SUR LES PRODUITS DANGEREUX Ce produit a été classé selon les critères de risque du Règlement canadien sur les produits contrôlés (CPR).

EUROPE
N° EINECS : 231-595-7

Transport
Voir section 14

16. AUTRE INFORMATION

Préparé par :
ERCO Worldwide, A division of Superior Plus LP
Toronto (Ontario)
(416) 239-7111

L'information figurant sur le présent formulaire est fournie en conformité avec le Règlement sur les produits contrôlés en vertu de la Loi sur les produits dangereux et elle ne doit pas servir à une autre fin, ni être reproduite ou publiée.

ERCO Worldwide, n'assume aucune responsabilité pour les blessures causées au destinataire de cette substance ou à des tiers ou pour le décès de ceux-ci, pour toute perte ou tout dommage, quel qu'il soit, qui en résulte, et l'utilisateur, le propriétaire, le dépositaire, ainsi que leurs employés et agents respectifs assument la responsabilité entière desdits risques dans le cas où des procédures de sécurité raisonnables ne sont pas prises.

De plus, **ERCO Worldwide**, n'assume aucune responsabilité pour les blessures causées au destinataire de cette substance ou à des tiers ou pour le décès de ceux-ci, pour toute perte ou tout dommage causé à la propriété, ou pour tout dommage consécutif résultant de l'utilisation anormale ou du vol de cette substance, et l'utilisateur, le propriétaire, le dépositaire, ainsi que leurs employés et agents respectifs assument la responsabilité entière desdits risques même dans le cas où ils sont entraînés par la négligence, l'omission, le manquement ou l'erreur de jugement d'**ERCO Worldwide**, des agents ou des employés de celle-ci.

Chaque destinataire doit soigneusement examiner les renseignements, les données et les recommandations dans le contexte particulier de l'utilisation prévue.

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Date de révision 21.11.2012 Version 16.2

SECTION 1. Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise

1.1 Identificateur de produit

Code produit	107398
Nom du produit	Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur
Numéro d'Enregistrement REACH	01-2119492475-28-0000

1.2 Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées

Utilisations identifiées	Réactif pour analyses Pour de plus amples informations sur les utilisations, veuillez consulter le site Merck Chemicals (www.merck-chemicals.com).

1.3 Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité

Société	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Allemagne * Tél. +49 6151 72-2440
Service responsable	EQ-RS * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Numéro d'appel d'urgence I.N.R.S.: 01 45 42 59 59

SECTION 2. Identification des dangers

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Classification (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)

Matière solide comburante, Catégorie 2, H272
Toxicité aiguë, Catégorie 4, Oral(e), H302
Toxicité aiguë, Catégorie 4, Inhalation, H332
Lésions oculaires graves, Catégorie 1, H318
Toxicité pour la reproduction, Catégorie 1A, H360Df
Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition répétée, Catégorie 2, H373
Toxicité aiguë pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H400
Toxicité chronique pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H410

Pour le texte complet des Phrases-H mentionnées dans ce chapitre, voir section 16.

Classification (67/548/CEE ou 1999/45/CE)

Repr.Cat.1	Toxique pour la Reproduction, Catégorie 1	R61
Repr.Cat.3	Toxique pour la Reproduction, Catégorie 3	R62
Xn	Nocif	R20/22 R33
N	Dangereux pour l'environnement	R50/53
Xi	Irritant	R41

Pour le texte complet des phrases-R mentionnées dans cet article, voir Section 16.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquetage (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)

Pictogrammes de danger

Mention d'avertissement
Danger

Mentions de danger
H360Df Peut nuire au foetus. Susceptible de nuire à la fertilité.
H272 Peut aggraver un incendie; comburant.
H302 + H332 Nocif en cas d'ingestion ou d'inhalation
H318 Provoque des lésions oculaires graves.
H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
H410 Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

Conseils de prudence
Prévention
P201 Se procurer les instructions avant utilisation.
P210 Conserver à l'écart de la chaleur.
P221 Prendre toutes précautions pour éviter de mélanger avec des matières combustible, composés de métaux lourds, acides et alcalis.
P273 Éviter le rejet dans l'environnement.
P280 Porter un équipement de protection des yeux.
Intervention
P305 + P351 + P338 EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX: rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.
P308 + P313 EN CAS d'exposition prouvée ou suspectée: consulter un médecin.

Réservé aux utilisateurs professionnels.

Etiquetage réduit (≤125 ml)

Pictogrammes de danger

Mention d'avertissement
Danger

Mentions de danger
H360Df Peut nuire au foetus. Susceptible de nuire à la fertilité.
H318 Provoque des lésions oculaires graves.

Conseils de prudence
P201 Se procurer les instructions avant utilisation.
P280 Porter un équipement de protection des yeux.
P305 + P351 + P338 EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX: rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.
P308 + P313 EN CAS d'exposition prouvée ou suspectée: consulter un médecin.

Réservé aux utilisateurs professionnels.

No.-Index 082-001-00-6

Étiquetage (67/548/CEE ou 1999/45/CE)

Symbole(s)	T	Toxique
	N	Dangereux pour l'environnement
Phrase(s) R	61-20/22-33-41-50/53-62	Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant. Également nocif par inhalation et par ingestion. Danger d'effets cumulatifs. Risque de lésions oculaires graves. Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Risque possible d'altération de la fertilité.
Phrase(s) S	53-26-39-45-60-61	Éviter l'exposition - se procurer des instructions spéciales avant l'utilisation. En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste. Porter un appareil de protection des yeux/du visage. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux. Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.

Information supplémentaire
Usage réservé aux utilisateurs professionnels.

No.-CE	233-245-9	Étiquetage CE

Etiquetage réduit (≤125 ml)

Symbole(s)	T	Toxique
	N	Dangereux pour l'environnement
Phrase(s) R	61-20/22-41-62	Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant. Également nocif par inhalation et par ingestion. Risque de lésions oculaires graves. Risque possible d'altération de la fertilité.
Phrase(s) S	53-26-39-45	Éviter l'exposition - se procurer des instructions spéciales avant l'utilisation. En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste. Porter un appareil de protection des yeux/du visage. En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

2.3 Autres dangers

Aucun(e) à notre connaissance.

SECTION 3. Composition/informations sur les composants

3.1 Substance

Formule	$Pb(NO_3)_2$	N_2O_6Pb (Hill)
No.-CAS	10099-74-8	
No.-Index	082-001-00-6	
No.-CE	233-245-9	
M	331,2 g/mol	

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 107398
Nom du produit Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

Composants dangereux (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)

Nom Chimique (Concentration)

No.-CAS	Numéro d'enregistrement	Classification
Nitrate de plomb(II) (>= 50 % - <= 100 %)		
Les concentrations indiquées ou, en l'absence de valeurs, les concentrations générales de la directive 1999/45/CE sont les pourcentages en poids de l'élément métallique, calculés par rapport au poids total du mélange.		
10099-74-8	01-2119492475-28-0000	Matière solide comburante, Catégorie 2, H272 Toxicité aiguë, Catégorie 4, H302 Toxicité aiguë, Catégorie 4, H332 Lésions oculaires graves, Catégorie 1, H318 Toxicité pour la reproduction, Catégorie 1A, H360Df Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition répétée, Catégorie 2, H373 Toxicité aiguë pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H400 Toxicité chronique pour le milieu aquatique, Catégorie 1, H410 Facteur M: 10

Pour le texte complet des Phrases-H mentionnées dans ce chapitre, voir section 16.

Composants dangereux (1999/45/CE)

Nom Chimique (Concentration)

No.-CAS	Classification
Nitrate de plomb(II) (>= 50 % - <= 100 %)	
Les concentrations indiquées ou, en l'absence de valeurs, les concentrations générales de la directive 1999/45/CE sont les pourcentages en poids de l'élément métallique, calculés par rapport au poids total du mélange.	
10099-74-8	Repr.Cat.1; R61 Repr.Cat.3; R62 Xn, Nocif; R20/22 R33 N, Dangereux pour l'environnement; R50/53 Xi, Irritant; R41 Facteur M: 10

Pour le texte complet des phrases-R mentionnées dans cet article, voir Section 16.

3.2 Mélange

non applicable

SECTION 4. Premiers secours

4.1 Description des premiers secours

Conseils généraux

Le secouriste doit se protéger.

En cas d'inhalation: faire respirer de l'air frais. En cas d'arrêt respiratoire: pratiquer immédiatement la respiration artificielle, le cas échéant, faire respirer de l'oxygène. Consulter immédiatement un médecin.

En cas de contact avec la peau: laver abondamment à l'eau. Enlever les vêtements souillés. Consulter un médecin.

En cas de contact avec les yeux : rincer abondamment à l'eau. Consulter immédiatement un ophtalmologiste.

En cas d'ingestion: Faire boire immédiatement de l'eau (maximal 2 verres). Consulter un médecin.

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés

Vomissements, Salivation, goût métallique

Concerne les nitrites/nitrates en général: la résorption de quantités importantes provoque une méthémoglobinémie.

Concerne les composés du plomb en général: à cause de la mauvaise résorption par la muqueuse du tractus gastro-intestinal, seules les dose très élevées provoquent des intoxications aiguë. Après une durée de latence de plusieurs heures on constate une saveur métallique accompagnée de nausées, de vomissements, de coliques, fréquemment suivies d'un choc. L'ingestion chronique de la substance provoque un faiblissement musculaire périphérique, de l'anémie et des troubles du système nerveux central. Les femmes en période d'activité génitale ne doivent pas être exposées trop longtemps à l'action du produit (respecter les concentrations prévues par la loi).

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires

Pas d'information disponible.

SECTION 5. Mesures de lutte contre l'incendie

5.1 Moyens d'extinction

Moyens d'extinction appropriés

Utiliser des moyens d'extinction appropriés aux conditions locales et à l'environnement voisin.

Moyens d'extinction inappropriés

Aucune limitation concernant les agents d'extinction pour cette substanc e/ce mélange.

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange

Non combustible.

Effet comburant par libération d'oxygène.

Possibilité d'émanation de vapeurs dangereuses en cas d'incendie à proximité.

En cas d'incendie, il peut se produire un dégagement de (d'):

azote oxydes

5.3 Conseils aux pompiers

Équipement de protection spécial pour le personnel préposé à la lutte contre le feu

Présence dans la zone de danger uniquement avec un appareil respiratoire autonome. Pour eviter le contact avec la peau respecter une distance de sécurité et porter des vêtemenents de protection appropriés.

Information supplémentaire

Rabattre les gaz/les vapeurs/le brouillard à l'aide d'eau pulvérisée. Empêcher les eaux d'extinction du feu de contaminer les eaux de surface ou le réseau d'alimentation souterrain.

SECTION 6. Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle

6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence

Conseil pour les non-secouristes: Eviter le contact avec la substance. Eviter l'inhalation des poussières. Assurer une ventilation adéquate. Evacuer la zone dangereuse, respecter les procédures d'urgence, consulte r un spécialiste.

Conseil pour les secouristes: Equipement de protection, voir section 8.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement

Ne pas jeter les résidus à l'égout.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage

Recouvrir les drains. Collecter, lier et pomper les produits répandus.

Respecter les éventuelles restrictions concernant les matériaux (voir se ctions 7 et 10).

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 107398
Nom du produit Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

Récupérer à l'état sec. Acheminer vers l'élimination. Nettoyer. Eviter la formation de poussière.

6.4 Référence à d'autres sections

Indications concernant le traitement des déchets, voir section 13.

SECTION 7. Manipulation et stockage

7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger

Conseils pour une manipulation sans danger

Travailler sous une hotte. Ne pas inhaler la substance/le mélange.

Respecter les mises-en-garde de l'étiquette.

Mesures d'hygiène

Enlever immédiatement tout vêtement souillé. Protection préventive de la peau. Se laver les mains et le visage après le travail. Travailler sous une hotte. Ne pas inhaler la substance/le mélange.

7.2 Conditions d'un stockage sûr, y compris d'éventuelles incompatibilités

Conditions de stockage

Bien fermé. A l'abri de l'humidité. Ne pas stocker à proximité de matières combustibles. Conserver sous clé ou dans une zone accessible uniquement aux personnes qualifiées ou autorisées.

Températures de stockages: sans limites.

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s)

Aucune utilisation spécifique prévue à l'exception de celles mentionnées à la section 1.2.

SECTION 8. Contrôles de l'exposition/protection individuelle

8.1 Paramètres de contrôle

Composants avec valeurs limites d'exposition professionnelle

Composants

Base	Valeur	Valeurs limites seuil	Remarques
Nitrate de plomb(II) (10099-74-8)			
EU_OEL	Moyenne pondérée dans le temps (TWA) :	0,15 mg/m³	
EU_OEL_II	Valeur limite biologique :	70µg Pb/100 ml Sang	
FVL	Valeur Limite de Moyenne d'Exposition	0,1 mg/m³	Valeurs Limites Réglementaires Contraignantes (VRC) Exprimé comme: en PbHAsO4
EU HCA2	EU HCA2		Parameter: Plomb Matériau pour test: Sang

Procédures recommandées de contrôle

Les méthodes de mesure de l'atmosphère sur le poste de travail doivent s atisfaire aux exigences des normes DIN EN 482 et DIN EN 689.

8.2 Contrôles de l'exposition

Mesures d'ordre technique

Privilégier les mesures techniques et les opérations appropriées par rap port à l'utilisation d'un équipement de protection personnelle.

Voir section 7.1.

Mesures de protection individuelle
Choisir les moyens de protection individuelle en raison de la concentration et de la quantité des substances dangereuses et du lieu de travail. S'informer auprès du fournisseur sur la résistance chimique des moyens de protection.

Protection des yeux/du visage
Lunettes de sécurité à protection intégrale

Protection des mains
contact total:

Matière des gants:	Caoutchouc nitrile
Épaisseur du gant:	0,11 mm
Temps de pénétration:	> 480 min

contact par éclaboussures:

Matière des gants:	Caoutchouc nitrile
Épaisseur du gant:	0,11 mm
Temps de pénétration:	> 480 min

Les gants de protection utilisés doivent répondre aux spécifications de la directive CE 89/686/CEE et de la norme correspondante EN374, par exemple KCL 741 Dermatril® L (contact total), KCL 741 Dermatril® L (contact par éclaboussures).
Les temps de rupture mentionnés ont été obtenus par la société KCL lors de mesures en laboratoire selon la norme EN 374 sur des échantillons de matériaux pour les types de gants conseillés .
Cette recommandation concerne uniquement le produit repris dans la fiche de données de sécurité que nous fournissons et uniquement pour l'utilisation indiquée. En cas de solution ou de mélange avec d'autres substances et/ou de conditions différentes de celles de la norme EN 374, contactez le fournisseur de gants agréé CE, (par exemple : KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet : www.kcl.de).

Autres équipement de protection
vêtements de protection

Protection respiratoire
nécessaire en cas de formation de poussières.
Type de Filtre recommandé: Filtre P 2
L'entrepreneur doit s'assurer que la maintenance, le nettoyage et le contrôle des dispositifs de protection respiratoire sont exécutés conformément aux instructions du fabricant. Ces mesures doivent être correctement documentées.

Contrôles d'exposition liés à la protection de l'environnement
Ne pas jeter les résidus à l'égout.

SECTION 9. Propriétés physiques et chimiques

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles

Forme	solide
Couleur	incolore
Odeur	inodore
Seuil olfactif	Pas d'information disponible.

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 107398
Nom du produit Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

pH	3 - 4 à 50 g/l 20 °C
Point/intervalle de fusion	458 - 459 °C Méthode: OCDE Ligne directrice 102
Point/intervalle d'ébullition	> 500 °C à 1.013 hPa Méthode: OCDE Ligne directrice 103
Point d'éclair	n'a pas de point d'éclair
Taux d'évaporation	non applicable
Inflammabilité (solide, gaz)	Ce produit n'est pas inflammable. Inflammabilité (solides)
Limite d'explosivité, inférieure	non applicable
Limite d'explosivité, supérieure	non applicable
Pression de vapeur	à 20 °C Méthode: OCDE Ligne directrice 104 faible
Densité de vapeur relative	non applicable
Densité relative	4,49 g/cm³ à 20 °C Méthode: OCDE Ligne directrice 109
Hydrosolubilité	486 g/l à 20 °C Méthode: OCDE Ligne directrice 105
Coefficient de partage: n-octanol/eau	non applicable
Température d'auto-inflammabilité	400 °C Méthode: NF T 20-036
Température de décomposition	Pas d'information disponible.
Viscosité, dynamique	non applicable
Propriétés explosives	Non-explosif
Propriétés comburantes	Propriétés comburantes (solides) Dans un test selon la Directive 67/548/CEE (méthode A17, propriétés comburantes) le produit s'est avéré ne pas être comburant.

9.2 Autres données

Température d'inflammation	incombustible
Masse volumique apparente	env.1.850 kg/m³
Taille des particules	Granulométrie moyenne 368,4 µm Méthode: OCDE Ligne directrice 110

SECTION 10. Stabilité et réactivité

10.1 Réactivité
oxydant fort

10.2 Stabilité chimique
La production est chimiquement stable dans conditions ambiantes standard (température ambiante).

10.3 Possibilité de réactions dangereuses
Danger d'explosion avec :

substances organiques combustibles, composés de l'ammonium, acétates, Alcools, Esters

10.4 Conditions à éviter
Fort échauffement (décomposition).

10.5 Matières incompatibles
aucune information disponible

10.6 Produits de décomposition dangereux
en cas d'incendie: voir paragraphe 5.

SECTION 11. Informations toxicologiques

11.1 Informations sur les effets toxicologiques

Toxicité aiguë par voie orale
résorption

Toxicité aiguë par inhalation
résorption

Toxicité aiguë par voie cutanée
Ces informations ne sont pas disponibles.

Irritation de la peau
Ces informations ne sont pas disponibles.

Irritation des yeux
Étude in vitro
Résultat: Fortes irritations
OCDE Ligne directrice 437
Provoque des lésions oculaires graves.

Sensibilisation
Ces informations ne sont pas disponibles.

Mutagénicité sur les cellules germinales
Ces informations ne sont pas disponibles.

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 107398
Nom du produit Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

Cancérogénicité
Ces informations ne sont pas disponibles.

Toxicité pour la reproduction
Ces informations ne sont pas disponibles.

Tératogénicité
Ces informations ne sont pas disponibles.

Effets CMR
Tératogénicité:
Peut nuire au foetus.
Toxicité pour la reproduction:
Susceptible de nuire à la fertilité.

Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition unique
Ces informations ne sont pas disponibles.

Toxicité spécifique pour certains organes cibles - exposition répétée
Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.

Danger par aspiration
Ces informations ne sont pas disponibles.

11.2 Information supplémentaire
Effets systémiques:
En cas de résorption:
Après une phase de latence:
goût métallique, Salivation, Vomissements, chute de tension
Après absorption de grandes quantités, un effet létal est possible.
Autres informations
Concerne les composés du plomb en général: à cause de la mauvaise résorption par la muqueuse du tractus gastro-intestinal, seules les dose très élevées provoquent des intoxications aiguë. Après une durée de latence de plusieurs heures on constate une saveur métallique accompagnée de nausées, de vomissements, de coliques, fréquemment suivies d'un choc. L'ingestion chronique de la substance provoque un faiblissement musculaire périphérique, de l'anémie et des troubles du système nerveux central. Les femmes en période d'activité génitale ne doivent pas être exposées trop longtemps à l'action du produit (respecter les concentrations prévues par la loi).
Concerne les nitrites/nitrates en général: la résorption de quantités importantes provoque une méthémoglobinémie.
Autres indications:
Manipuler la substance avec grande précaution.

SECTION 12. Informations écologiques

12.1 Toxicité
Toxicité pour la daphnie et les autres invertébrés aquatiques
CE50 Daphnia magna: 1,8 mg/l; 48 h (ECOTOX Database)

Toxicité pour les algues
CE50 algues: 0,024 - 0,029 mg/l; 28 h (bibliographie)

12.2 Persistance et dégradabilité
Pas d'information disponible.

12.3 Potentiel de bioaccumulation

Coefficient de partage: n-octanol/eau
non applicable

12.4 Mobilité dans le sol
Pas d'information disponible.

12.5 Résultats des évaluations PBT et VPVB
Aucune évaluation PBT/vPvB effectuée car aucune évaluation de sécurité c himique n'est requise/n'est menée.

12.6 Autres effets néfastes
Information écologique supplémentaire
Les composés du phosphore et/ou de l'azote peuvent, en fonction de leur concentration, contribuer à l'eutrophisation des eaux naturelles.
Information supplémentaire sur l'écologie
Tout déversement dans l'environnement doit être évité.

SECTION 13. Considérations relatives à l'élimination

Méthodes de traitement des déchets
Les déchets doivent être éliminés conformément à la directive relative a ux déchets 2008/98/CE et aux réglementations locales et nationales en vi gueur. Laisser les produits chimiques dans les conteneurs d'origine. Pas de mélange avec d'autres déchets. Traiter les conteneurs non nettoyés c omme le produit lui-même.

Cf. www.retrologistik.com pour toutes les informations concernant les pr ocessus de retour des produits chimiques et des conteneurs ou nous conta cter en cas de questions supplémentaires.

SECTION 14. Informations relatives au transport

Transport par route (ADR/RID)

14.1 Numéro ONU	UN 1469
14.2 Nom d'expédition des Nations unies	Nitrate de plomb
14.3 Classe	5.1 (6.1)
14.4 Groupe d'emballage	II
14.5 Dangereux pour l'environnement	oui
14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur	oui
Code de restriction en tunnels	E

Transport par voies d'eau intérieures (ADN)
Sans rapport

Transport aérien (IATA)

14.1 Numéro ONU	UN 1469
14.2 Nom d'expédition des Nations unies	LEAD NITRATE
14.3 Classe	5.1 (6.1)
14.4 Groupe d'emballage	II
14.5 Dangereux pour l'environnement	oui

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ
conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006

Code produit 107398
Nom du produit Nitrate de plomb(II) pour analyse EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur

14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur	non

Transport maritime (IMDG)

14.1 Numéro ONU	UN 1469
14.2 Nom d'expédition des Nations unies	LEAD NITRATE
14.3 Classe	5.1 (6.1)
14.4 Groupe d'emballage	II
14.5 Dangereux pour l'environnement	oui
14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur	oui
No EMS	F-A S-Q

14.7 Transport en vrac conformément à l'annexe II de la convention Marpol 73/78 et au recueil IBC
Sans rapport

SECTION 15. Informations réglementaires

15.1 Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement

Réglementations UE

Réglementation relative aux dangers liés aux accidents majeurs (Réglementation relative aux Installations Classées)	96/82/EC Dangereux pour l'environnement 9a Quantité 1: 100 t Quantité 2: 200 t
Restrictions professionnelles	Suivre la directive 94/33/CE au sujet de la protection de la jeunesse au travail. Suivre la directive 92/85/CEE au sujet de la sécurité et de la santé des femmes enceintes au travail.

Législation nationale

Classe de stockage	5.1B

15.2 Évaluation de la sécurité chimique

Aucune évaluation de la sécurité chimique selon la réglementation EU REA CH N° 1907/2006 n'est réalisée pour ce produit.

SECTION 16. Autres informations

Texte complet des Phrases-H citées dans les sections 2 et 3.

H272	Peut aggraver un incendie; comburant.
H302	Nocif en cas d'ingestion.
H318	Provoque des lésions oculaires graves.
H332	Nocif par inhalation.
H360Df	Peut nuire au foetus. Susceptible de nuire à la fertilité.
H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
H400	Très toxique pour les organismes aquatiques.
H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

Texte intégral des phrases R mentionnées dans les sections 2 et 3

R20/22	Nocif par inhalation et par ingestion.
R33	Danger d'effets cumulatifs.
R41	Risque de lésions oculaires graves.
R50/53	Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
R61	Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant.
R62	Risque possible d'altération de la fertilité.

Conseils relatifs à la formation

Mise à disposition d'informations, d'instructions et de mesures de formation appropriées à l'intention des opérateurs.

Signification des abréviations et acronymes utilisés

Les abréviations et les acronymes utilisés peuvent être retrouvés sous h ttp://www.wikipedia.org.

Représentation régionale

VWR International S.A.S. * 201, rue Carnot * F-94126 Fontenay sous Bois Cedex UDM Sécurité Produits * Tél.: +33 (0) 1 45 14 85 94 * Fax: +33 (0)1 45 14 85 18, www.vwr.com, info@fr.vwr.com

Merck Chimie S.A.S. * 201, rue Carnot * F-94126 Fontenay Sous Bois * Cedex * Tel.: +33 (0) 1 43 94 54 00 * Fax: +33 (0) 1 43 94 51 25 * merck-chimie.inquiries@merck.fr

Les indications données ici sont basées sur l'état actuel de nos connaissances. Elles décrivent les dispositions de sécurité à prendre vis à vis du produit concerné. Elles ne représentent pas une garantie sur les propriétés du produit.

Annexe 18

Circulaire du 9 mai 2012 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières et au stockage des déchets de l'industrie extractive et Arrêté du 9 février 2004 modifié par l'arrêté du 24 décembre 2009 relatif à la méthode de calcul des garanties financières pour les carrières

Source : Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement

Direction générale de la prévention des risques

Services des risques technologiques

Sous Direction des risques chroniques et du pilotage

Bureau du sol et du sous-sol

PR

Circulaire du 9 mai 2012

relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières et au stockage des déchets de l'industrie des carrières

NOR : DEVP1209545C

(Texte non paru au journal officiel)

La ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement,

Pour exécution
Mesdames et Messieurs les préfets de région
Mesdames et Messieurs les préfets de département

Résumé
La présente circulaire a pour objet de préciser les modalités d'application des garanties financières prévues aux articles L.516-1, R.516-1 et suivants du code de l'environnement pour les carrières. Elle annule et remplace la circulaire n°98-48 du 16 mars 1998 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières (ICPE).

Catégorie : directive adressée par le ministre aux services chargés de leur application, sous réserve, le cas échéant, de l'examen particulier des situations individuelles	Domaine : Ecologie, développement durable
Mots clés liste fermée <Energie_Environnement/>	Mots clés libres : carrières, garanties financières, remise en état, déchets
Texte (s) de référence Directive 2006/21/CE du Parlement et du Conseil du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et modifiant la directive 2004/35/CE Décision de la Commission du 20 avril 2009 définissant les orientations techniques relatives à la constitution de la garantie financière prévue à la directive 2006/21/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive	

Décision de la Commission du 20 avril 2009 relative à la définition des critères de classification des installations de gestion de déchets conformément à l'annexe III de la directive 2006/21/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive Articles L.516-1, R.516-1 et suivants du code de l'environnement Arrêté du 22 septembre 1994 modifié relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières Arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la législation des installations classées Arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives			
Circulaire(s) abrogée(s) : circulaire n°98-48 du 16 mars 1998 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières (ICPE)			
Date de mise en application […]			
Pièce(s) annexe(s) 5			
N° d'homologation Cerfa :			
Publication	☑ BO	☑ Site circulaires.gouv.fr	☐ Non publiée

Les garanties financières pour la remise en état des carrières ont été introduites par l'article 4-2 de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Elles sont notamment encadrées par l'article R.516-2 du code de l'environnement et l'arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières.

Le décret n°2010-1172 du 5 octobre 2010 modifiant l'article R.516-2 du code de l'environnement, a institué des garanties financières supplémentaires pour certains stockages de déchets inertes et terres non pollués présentant des risques particuliers, dits de catégorie « A ».

Par ailleurs, les installations de la nouvelle rubrique 2720 relative aux stockages de déchets non inertes, dangereux ou non, des industries extractives, sont soumises aux garanties financières visées au 1°, IV, de l'article R.516-2 du code de l'environnement.

La présente circulaire expose les modalités de mise en place des garanties financières relatives aux carrières, tant pour la remise en état du site d'exploitation que pour la gestion des installations de stockage de déchets des carrières.

1.CHAMP D'APPLICATION

Remise en état des carrières

Les garanties financières ont pour objectif de garantir la remise en état des carrières en cas de défaillance de l'exploitant.

Stockages de catégorie « A » de déchets inertes et de terres non polluées

Le décret n°2010-1172 du 5 octobre 2010 modifiant l'article R.516-2 du code de l'environnement a introduit l'obligation de constitution de garanties financières pour certains

stockages de déchets inertes résultant de l'exploitation des carrières. Désormais, l'article R.516-2 prévoit que les garanties financières tiennent compte de :

- la surveillance des installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées résultant de l'exploitation de la carrière lorsqu'elles sont susceptibles de donner lieu à un accident majeur à la suite d'une défaillance ou d'une mauvaise exploitation, tel que l'effondrement d'une verse ou la rupture d'une digue ;
- l'intervention en cas d'effondrement de verses ou de rupture de digues constituées de déchets inertes et de terres non polluées résultant de l'industrie extractive lorsque les conséquences sont susceptibles de donner lieu à un accident majeur.

Les installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées concernées sont celles de la catégorie dite « A » évaluées selon les dispositions prévues à l'article 11.5 de l'arrêté du 22 septembre 1994.

Installation de stockage de déchets classée 2720

L'article R.516-2 du code de l'environnement prévoit la constitution d'une garantie financière pour les installations de stockage de déchets couvrant : la surveillance du site, l'intervention en cas d'accident ou de pollution et la remise en état du site après exploitation. Compte tenu des exigences de l'article 14 de la directive 2006/21/CE et de la création de la rubrique 2720 depuis le 14 avril 2010, il convient à présent de mettre ces dispositions en œuvre.

2. LE DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION

La demande du pétitionnaire pour ce qui concerne la future autorisation comprend entre autres :

- la date prévisionnelle de mise en service ;
- la durée d'autorisation ;
- la quantité maximale annuelle extraite ;
- la quantité totale à extraire et la surface totale (emprise du site) autorisées ;
- le schéma prévisionnel d'exploitation et de remise en état, c'est-à-dire les modalités précises et le calendrier d'exploitation et de remise en état, et enfin l'évaluation du montant des travaux de la remise en état. Le schéma prévisionnel d'exploitation et de remise en état et l'évaluation du montant de la remise en état prennent en compte l'approche par période quinquennale.
- la nature et la quantité de déchets d'extraction et de premier traitement qu'il est prévu que l'installation produise, préférentiellement exprimées annuellement ;

L'évaluation du montant des garanties financières relève de l'arrêté du 9 février 2004 précité pour la remise en état du site et des annexes 2 et 3 de la présente circulaire pour les installations de stockage de déchets.

Dans le cas de changement d'exploitant, le dossier de demande d'autorisation comporte les mêmes éléments que ceux énoncés ci-dessus. Il présente par ailleurs les documents établissant les capacités techniques et financières du nouvel exploitant et éventuellement la constitution des garanties financières prévues par l'arrêté autorisant initialement la carrière.

3. LE CONTENU DE L'ARRETE D'AUTORISATION

L'arrêté d'autorisation prévoit en matière de garanties financières les dispositions suivantes (l'arrêté complémentaire pour une carrière existante contient les mêmes prescriptions à l'exception des 1°, 2°, 3° et 4° ci-dessous qui sont spécifiques d'un arrêté d'autorisation) :

1 - La durée de l'autorisation qui inclut la phase de remise en état finale ;

2 - La quantité maximale annuelle autorisée à extraire ;

3 - La surface maximale à remettre en état pour la carrière dans sa globalité qui peu comprendre une installation de stockage de déchets classée 2720 (elle correspond à l'emprise du site autorisé) ;

4 - Les modalités d'exploitation et de remise en état : l'arrêté fixe, d'après le plan prévisionnel fourni par le pétitionnaire, les prescriptions relatives à l'exploitation et à la remise en état.

Afin de ne pas exiger d'emblée des garanties financières destinées à une remise en état qui aurait lieu dix, vingt ou trente années plus tard et compte tenu de la durée d'effet des garanties financières qui est de un à cinq ans, il convient de fixer le montant des garanties financières par période de cinq ans. Cela signifie que l'arrêté d'autorisation fixe les conditions d'exploitation et de remise en état par période quinquennale en fonction du plan prévisionnel (la durée de l'autorisation est donc divisée en périodes quinquennales. A chaque période correspond un montant de garantie permettant la remise en état maximale au sein de chacune de ces périodes).

Deux types d'exploitation sont à distinguer :

- lorsque la remise en état est strictement coordonnée à l'exploitation et que celle-ci se fait par phases successives, l'arrêté peut prévoir que la phase n+2 (ou n+3) ne peut être entamée que lorsque la phase n est remise en état. Dans ce cas-là, le montant des garanties financières peut ne pas varier quelle que soit la période quinquennale, puisqu'il vise en fait la remise en état d'un certain nombre de phases. En pratique, la remise en état n'est pas toujours strictement coordonnée à l'exploitation. Ainsi, en phase finale d'exploitation, la remise en état est souvent plus importante qu'en cours d'exploitation.

Le montant des garanties financières doit être adapté à chaque période quinquennale et pour chacune de ces périodes être égal au coût de la fermeture du site correspondant à la remise en état la plus onéreuse.

Lorsque la remise en état n'est pas coordonnée à l'exploitation, l'arrêté fixe le montant de la remise en état qui devrait être réalisée si l'exploitation était arrêtée au terme de cinq ans, de dix ans, de quinze ans, etc. (correspondant au terme de chaque période quinquennale).

La fixation des conditions de remise en état et du montant des garanties financières par période quinquennale permet tous les cinq ans d'actualiser systématiquement (afin de prendre en compte l'érosion monétaire) et de recaler éventuellement (afin de prendre en compte le déroulement de l'exploitation de la carrière) le montant des garanties financières.

L'arrêté peut fixer une date de fin d'extraction des matériaux à laquelle succède la phase finale de remise en état. Une telle disposition doit faciliter la surveillance de la remise en état finale. Rappelons que les garanties financières ne peuvent être appelées qu'avant leur échéance. L'arrêté peut donc éventuellement planifier la phase finale de l'autorisation concernant la remise en état en fixant :

- une date de fin d'extraction des matériaux ;

- une date de fin de remise en état (au plus tard au terme de l'autorisation) ;

- une date butoir de notification concernant la fin d'exploitation prévue à l'article R.512-39-1 du code de l'environnement (au moins 6 mois avant la fin de l'autorisation). Cette date peut être située avant ou après la date de fin de remise en état.

5 – La durée de l'obligation de garanties financières telle que prévue par l'article R.516-2 du code de l'environnement, s'achève à la date du procès-verbal de fin de travaux des opérations de remise en état prévu à l'article R 512-39-3 du code de l'environnement, sous réserve des conditions de levées des garanties définies au point 16) ci-après et sans préjudice de la législation nationale ou communautaire relative à la responsabilité du détenteur de déchets.

6 – Le cas échéant, les prescriptions relatives à la surveillance des installations de stockage de déchets issus de l'exploitation de la carrière telle que prévue par l'article R.516-2 du code de l'environnement (fréquence de l'entretien des équipements, suivi piézométrique, analyses, …)

7 – La prescription relative à l'obligation d'intervention en cas :

- d'accident ou de pollution dus à une installation de déchets classée 2720 du site
- d'effondrement de verses ou de rupture de digues constituées de déchets inertes et de terres non polluées sur site lorsque les conséquences sont susceptibles de donner lieu à un accident majeur (Stockage de catégorie « A »).

Pour les stockages de catégorie « A », ces prescriptions sont celles prévues aux articles 7 à 9 de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives.

8 - Montant des garanties financières : Ce montant est destiné à assurer la remise en état du site en cas de défaillance de l'exploitant. Le préfet se substitue alors à l'exploitant et assure la remise en état à l'aide des garanties financières.

Le montant de la garantie financière doit inclure la TVA.

Le calcul des garanties financières tient compte des différentes périodes de mise en service des installations : exploitation, stockages de déchets inertes et stockages de déchets classés 2720.

Remise en état des carrières

a) Le montant des garanties financières est établi par le préfet d'après les indications de l'exploitant selon les modalités de l'arrêté du 9 février 2004 précité.

Cet arrêté prévoit que le calcul forfaitaire est la règle pour les trois catégories suivantes :

- les carrières des matériaux meubles en nappe alluviale ou superficielle (c'est le cas notamment des carrières alluvionnaires, des carrières en nappe perchée, des tourbières);

- les carrières en fosse ou à flanc de relief (ce sont habituellement des carrières de roches massives, elles peuvent également être de roches meubles ; la fosse est une excavation comprenant généralement plusieurs gradins) ;

- les autres carrières à ciel ouvert. Cette troisième catégorie correspond à des carrières qui ne peuvent se rattacher aux deux premières catégories. Elles se caractérisent par une facilité de remise en état coordonnée à l'exploitation. Cette troisième catégorie comprend l'exploitation des haldes et terrils.

Les éléments du dossier à fournir pour le calcul sont précisés à l'annexe 2 de l'arrêté du 9 février 2004.

L'annexe 1 de l'arrêté prévoit pour chacune des trois catégories de carrières le calcul forfaitaire des garanties financières.

b) Le mode de calcul forfaitaire peut, à votre initiative, laisser place à une évaluation détaillée et exhaustive lorsque le montant du mode de calcul forfaitaire diffère notablement du montant de la remise en état prévue. C'est notamment le cas lorsque la remise en état qui conditionnera l'autorisation d'exploiter dépassera les exigences habituelles, compte tenu de la qualité et de la sensibilité de l'environnement. Il appartiendra à l'inspection de confronter les coûts résultant de l'approche forfaitaire et ceux d'une approche exhaustive et détaillée. Vous demanderez dans ce but au pétitionnaire (ou à l'exploitant) de fournir les éléments de dossier précisés au point 2 (a et b) de l'annexe 2 de l'arrêté précité. Les coûts de l'annexe 1 de la présente circulaire vous permettront d'apprécier les coûts proposés.

c) Les conditions de remise en état du site sont définies lors de l'autorisation de la carrière, conformément aux articles R.512-30 et R.512-35 du code de l'environnement. La remise en état ne doit pas être confondue avec l'aménagement qui peut certes en constituer le prolongement mais qui est une opération distincte ayant pour effet de valoriser les lieux par la création d'équipements ou d'infrastructures et de leur donner une affectation nouvelle souvent différente de l'affectation originelle (base de loisirs, golf, camping, parc résidentiel, centre de stockage de déchets, zone d'activités, etc.). L'aménagement suppose l'intervention d'autres acteurs. Dans un tel cas, tout en tenant compte des usages futurs envisagés, le pétitionnaire présentera un projet de remise en état satisfaisante pour l'environnement avant aménagement, avec un montant de garantie financière qui sera calculé conformément à l'arrêté ministériel du 9 février 2004 modifié.

d) Les opérations d'affouillements du sol mentionnés au point 3 de la rubrique 2510 de la nomenclature des installations classées relèvent d'une évaluation détaillée et exhaustive.

Le montant des garanties financières est déterminé sur la base de la remise en état à mettre en œuvre en cas d'arrêt des travaux et selon les éléments fournis par le pétitionnaire. Dans certains cas, l'arrêt des travaux d'extraction n'implique pas de travaux de remise en état. Le montant des garanties financières est alors nul.

Installations de stockage de déchets classés 2720

Les éléments permettant de calculer le montant des garanties financières pour les installations classées 2720 sont précisés en annexe 2 de la présente circulaire. Deux modes de calculs sont proposés : un calcul avec les coûts unitaires des dispositifs à mettre en œuvre et un calcul forfaitaire.

Le calcul forfaitaire s'applique sous la forme d'une majoration des garanties prévues pour la remise en état de la carrière, sur les surfaces concernées par les installations de stockage.

L'exploitant peut choisir l'une ou l'autre de ces méthodes. Néanmoins, dans tous les cas, il conviendra qu'il justifie le montant de garantie proposé, en fournissant notamment les données permettant de vérifier son calcul (ex : hauteur et surface des stockage, longueur des clôtures, longueur des fossés).

Ces coûts sont valables qu'il s'agisse de stockage de déchets dangereux ou de déchets non dangereux.

Stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie « A ».

Pour les nouvelles dispositions concernant la surveillance et l'intervention en cas d'accident, applicables aux stockages de déchets inertes et terres non polluées de catégorie « A », vous voudrez bien vous reporter à l'annexe 3 de la présente circulaire. Les bases de calcul sont les mêmes que celles des installations classées 2720. En effet, les dispositifs de stockage sont

sensiblement similaires (terrils, haldes, digues,…). Le classement en 2720 est essentiellement justifié par les caractéristiques des matériaux stockés et leur potentiel de dangerosité lié à leur contenu physico-chimique. Aussi, les dispositifs de surveillance de pollution des sols et des eaux souterraines sont-ils moins importants pour les installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées.

Le calcul forfaitaire s'applique sous la forme d'une majoration des garanties prévues pour la remise en état de la carrière.

9 – La prescription précisant l'échéance de dépôt du document attestant la constitution des garanties financières.

L'article R.516-2-III du code de l'environnement prévoit que « dès la mise en activité de l'installation, l'exploitant transmet au préfet un document attestant la constitution des garanties financières. »

L'attestation doit donc vous être adressée concomitamment à la mise en activité du site. La suppression de la déclaration de début d'exploitation peut rendre cette démarche plus difficile à mettre en œuvre ou à contrôler pour l'inspection. Néanmoins, il appartiendra au pétitionnaire de préciser dans sa demande la date prévisionnelle de mise en activité de son exploitation et de tenir le service instructeur informé d'une éventuelle modification de cette échéance.

Au-delà de cette date, en cas de défaut d'envoi d'attestation de constitution de garanties financières et en cas de mise en activité effective de l'exploitation, l'exploitant sera mis en demeure de fournir cette attestation dans un délai limité. En cas d'échec de la mise en demeure, l'exploitation sera suspendue au jour de l'expiration de la mise en demeure. Pour cela le préfet consulte la commission départementale des carrières en application de l'article L.514-1-3° du code de l'environnement.

Pour les installations existantes de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A et les installations classées 2720 le document attestant de la constitution des garanties financière doit être remis au plus tard le 1er mai 2014.

10 - Les modalités d'actualisation du montant des garanties financières. L'actualisation dépend de deux facteurs :

a) L'érosion monétaire :

L'arrêté du 9 février 2004 prévoit les conditions de réévaluation du montant des garanties financières :

- tous les cinq ans en se basant sur l'indice TP 01;

- lorsqu'il y a une augmentation supérieure à 15 % de l'indice TP 01 sur une période inférieure à cinq ans.

L'actualisation prévue ci-dessus doit être réalisée systématiquement par l'exploitant sans demande de l'administration, et sans arrêté complémentaire, en se basant uniquement sur l'arrêté d'autorisation. Le document attestant de cette actualisation vous est adressé par l'exploitant.

b) Une utilisation des capacités de production inférieure à celles prévues par l'autorisation, dans le cas des carrières où la remise en état n'est pas coordonnée à l'exploitation.

Il convient que puisse intervenir au terme de cinq ans d'activité (puis tous les cinq ans) un arrêté modificatif prenant en compte une extraction inférieure à ce qu'autorise l'arrêté d'autorisation initial. L'arrêté modificatif pour les années ultérieures d'exploitation recale la remise en état au

terme de dix ans, quinze ans, etc. d'extraction autorisée et le montant des garanties financières qui lui est nécessaire. Cette modification peut être effectuée à la demande de l'exploitant dans des délais prévus par l'arrêté d'autorisation (ou par l'arrêté complémentaire) et seulement lorsque la diminution des garanties financières est significative (par exemple, au moins 25 %).

11 - La prescription prévoyant que toute modification de l'exploitation conduisant à une augmentation du coût de remise en état de la carrière, et pour les installations de stockage de déchets, des coûts de surveillance ou d'intervention en cas d'accident ou de pollution ou de d'effondrement de verses ou de rupture de digues, nécessite une augmentation du montant des garanties financières (alors qu'une modification conduisant à une diminution de ces coûts, n'implique une réduction du montant des garanties financières qu'au terme de la période de cinq ans mentionnée ci-dessus pour l'actualisation).

12 - La prescription prévoyant que l'attestation de renouvellement des garanties financières doit être adressée au moins trois mois avant leur échéance et que l'absence de garanties financières conduit à une suspension de l'autorisation selon les modalités prévues à L.514-1-3° du code de l'environnement. Cette période peut être avancée à 6 mois par exemple avant l'échéance si la bonne gestion des garanties financières par l'administration le nécessite ; il n'y a pas dans ce cas-là chevauchement des garanties financières mais seulement assurance de leur continuité.

13 - La prescription prévoyant que le préfet fait appel aux garanties financières :

a) après intervention des mesures prévues à l'article L.514-1 du code de l'environnement, en cas de non-respect des prescriptions de l'arrêté préfectoral en matière de :

- remise en état de la carrière, qui peut inclure un stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A, ou de l'installation de stockage de déchets classé 2720 ;
- surveillance des installations de stockage de déchets ;
- d'interventions en cas d'accident ou de pollution dus à une installation de stockage de déchets classée 2720 ou d'effondrement de verse ou de rupture de digue d'une installation de stockage de déchets inertes et de terres non polluées susceptibles de donner lieu à un accident majeur ;

b) après disparition juridique de l'exploitant et absence de remise en état.

14 - Le rappel que toute mise en demeure de réaliser les travaux couverts par les garanties financières prévus à l'article R.516-2 non suivie d'effet constitue un délit en vertu de l'article L.514-11 (ce peut être le II ou le III de cet article qui est concerné en fonction de la situation de la remise en état qui est visée, soit en cours d'exploitation, soit en fin d'exploitation). Il convient, afin d'avoir une gestion optimale du système des garanties financières, que toute infraction à la suite d'une mise en demeure soit systématiquement constatée et que le procès-verbal soit transmis au parquet.

15 - Les conditions relatives à la fin d'exploitation et permettant la levée de l'obligation de garanties financières pour la remise en état de la carrière et d'une installation de stockage de déchets classée 2720 après exploitation

L'exploitant doit adresser au préfet au moins 6 mois avant l'échéance de l'arrêté d'autorisation une notification de fin d'exploitation (la carrière peut ne pas encore être remise en état définitivement) et un dossier comprenant :

- le plan à jour de l'exploitation (par exemple avec photos aériennes) ;

- le plan de remise en état définitif ;

- un mémoire sur l'état de la carrière ou de l'installation de stockage de déchet classée 2720.

Si le site n'est pas totalement remis en état lors de cette notification, l'exploitant, une fois la remise en état définitivement achevée, en informe le préfet qui peut alors entamer la procédure de levée des garanties financières.

L'arrêté d'autorisation peut moduler ces dispositions qui sont minimales par exemple en fixant une première notification (alors que la remise en état n'est pas terminée) quatre mois, avant l'échéance.

À titre indicatif, les prescriptions relatives aux garanties financières pouvant figurer dans les arrêtés d'autorisation de carrière sont reprises dans l'annexe 4 de la présente circulaire pour une carrière dont la remise en état est coordonnée à l'exploitation et dans l'annexe 5 dans le cas contraire.

16 - Les conditions relatives à la levée de l'obligation de garanties financières pour la surveillance d'une installation de stockage de déchets classées 2720 et de déchets inertes et de terres non polluées dite de catégorie A et l'intervention en cas d'accident ou de pollution pour les stockages de déchets classées 2720 et l'intervention en cas d'effondrement de verses ou de ruptures de digues constituées de déchets inertes et de terres non pollués dont les conséquences sont susceptibles de donner lieu à un accident majeur

Pour les stockages de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A, les garanties financières couvrant ces stockages, peuvent être levées dès lors que l'exploitant justifie dans son dossier de cessation d'activité que ces stockages ne sont plus susceptibles de donner lieu à un accident majeur à la suite d'une défaillance ou d'une mauvaise exploitation.

Pour justifier cette absence de risque d'accident majeur, l'exploitant fournit dans son dossier de cessation d'activité les informations visées au point 3.2, Evaluation des risques de glissement des terrils ou des stockages de déchets, de l'annexe VII, de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion de déchets des industries extractives, et le cas échéant celles visées au 3.1. de la même annexe.

Pour les installations de stockage de déchets classées 2720, les garanties correspondantes peuvent être levées dès lors que l'exploitant justifie dans son dossier de cessation d'activité que les dispositifs de remise en état (ex : couverture et installation de drains pour l'écoulement des eaux pluviales) empêche toute pollution du milieu environnant, notamment des eaux souterraines, et que la stabilité de la structure est assurée (ex : charge hydraulique suffisamment faible).

Pour justifier de l'état de ses stockages classés 2720, l'exploitant fournit dans son dossier de cessation d'activité les informations visées au point 3.2, Evaluation des risques de glissement des terrils ou des stockages de déchets, de l'annexe VII, de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion de déchets des industries extractives, et le cas échéant celles visées au 3.1. de la même annexe. Pour les rejets liquides au milieu naturel, l'historique des mesures montrera une stabilisation de l'évolution des paramètres suivis.

Le préfet peut demander la réalisation, aux frais de l'exploitant, d'une évaluation critique par un tiers expert des éléments techniques justifiant la levée de l'obligation de garantie en application de l'article R.516-5 du code de l'environnement.

4. LA LEVEE DE L'OBLIGATION DES GARANTIES FINANCIERES

A la suite de la constatation de la conformité de la remise en état de la carrière et/ou de l'installation de stockage de déchets classée 2720 par un procès-verbal de récolement rédigé par l'inspection des installations classées, et après avis du ou des maires des communes

d'implantation de la carrière et/ou du stockage de déchets, le préfet lève l'obligation des garanties financières par voie d'arrêté pris dans les formes prévues à l'article R.512-31 du code de l'environnement.

Une copie de l'arrêté est adressée à l'établissement garant.

Il convient que la procédure conduisant à la levée des garanties financières puisse être conduite avec diligence.

5. ATTESTATION DE CONSTITUTION DES GARANTIES FINANCIERES

Le document attestant la constitution de garanties financières est délivré conformément aux dispositions de l'article R.516-2, c'est-à-dire soit par un établissement de crédit, soit par une entreprise d'assurance.

Ce document est en fait l'acte de cautionnement solidaire lui-même tel qu'il est défini par l'arrêté interministériel du 1er février 1996 fixant le modèle d'attestation des garanties financières prévue à l'article 23-3 du décret du 21 septembre 1977. Il convient donc de n'accepter qu'un document conforme à ce modèle.

L'autorisation d'exploitation de la carrière est donnée généralement pour une durée plus longue que celle correspondant à l'effectivité des cautionnements. Il est recommandé, afin d'en faciliter le suivi administratif, de privilégier des cautions d'une durée évitant les renouvellements trop fréquents, par exemple, de cinq ans.

La liste des établissements de crédit peut être obtenue auprès de la Banque de France.

6. L'APPEL AUX GARANTIES FINANCIERES

La procédure pouvant aboutir à l'appel des garanties financières doit être lancée par le préfet conformément à l'article R.516-3 quand les obligations de remise en état, de surveillance et d'intervention tels que prévus par l'article R.516-2 ne sont pas réalisées selon les prescriptions de l'arrêté d'autorisation. Les garanties financières doivent toujours être appelées par le préfet avant leur échéance.

La mise en jeu de la garantie financière se fait par lettre recommandée avec demande d'avis de réception adressée à l'organisme garant. Tout ou partie de la somme garantie est appelée en fonction de l'étendue des travaux à réaliser ou de la surveillance du stockage de déchets à mettre en œuvre.

Lorsque le préfet fait appel aux garanties financières, l'Etat se substitue à l'exploitant et devient alors maître d'ouvrage pour la remise en état de la carrière, l'intervention en cas d'accident ou de pollution ou de rupture de digue ou de verse. Le préfet, représentant de l'État dans le département, missionne un de ses services pour assurer la maîtrise d'ouvrage.

6.1. L'EXPLOITANT NE SATISFAIT PAS AUX PRESCRIPTIONS DE REMISE EN ETAT (MAIS L'EXPLOITANT EXISTE TOUJOURS)

La procédure à mettre en œuvre est la suivante :

- mise en demeure de l'exploitant par le préfet de satisfaire aux prescriptions de remise en état, d'intervention ou de surveillance dans un délai fixé en fonction de l'échéance des garanties financières ;

- en cas d'inexécution totale ou partielle, mise en œuvre de la mesure de consignation prévue à L.514-1 du code de l'environnement.

Le préfet prend et notifie ainsi un arrêté de consignation à l'égard de l'exploitant répondant de la somme nécessaire aux travaux de remise en état ou aux opérations de surveillance. Il émet un titre de perception qui doit être rendu immédiatement exécutoire et qui est adressé au trésorier payeur général. Il appartient alors au comptable public d'adresser par lettre recommandée à l'exploitant un exemplaire du titre de perception rendu exécutoire pour l'informer d'avoir à se libérer dans les moindres délais du montant de la consignation.

Il convient de bien sensibiliser le comptable public sur l'importance de la diligence à apporter à cette procédure.

Par ailleurs :

- Les arrêtés de mise en demeure et de consignation sont des actes de préfet qui sont notifiés à l'exploitant sans avoir à suivre la procédure de l'article R.512-31.

- Dans la fixation du délai de mise en demeure, il convient d'attacher une importance particulière à la date d'échéance des garanties financières et d'agir de telle façon que l'appel aux garanties financières intervienne, bien entendu, avant leur échéance.

- La constatation du caractère infructueux de la consignation peut demander plusieurs mois. L'article R.516-4 prévoit que les garanties financières peuvent être appelées après intervention des mesures prévues à l'article L.514-1. En conséquence, le préfet peut appeler les garanties financières dès que l'arrêté de consignation et que le titre de perception rendu exécutoire auront été adressés à l'exploitant.

- Selon l'article R.516-6, il convient que les mises en demeure et la mesure de consignation prévues à L.514-1 visant l'exploitant, soient portées à la connaissance de l'établissement de crédit garant.

6.2. L'EXPLOITANT A DISPARU JURIDIQUEMENT (ET LA REMISE EN ETAT N'EST PAS FAITE EN TOTALITE)

Dans ce cas, le préfet doit appeler systématiquement les garanties financières si la remise en état ou la surveillance du stockage de déchets ne sont pas effectuées en totalité.

La disparition juridique correspond au décès de l'exploitant personne physique ou à la liquidation amiable ou judiciaire de l'exploitant personne morale. Lors de disparition juridique par absorption dans le cadre d'une fusion, dans la mesure où cette opération correspond à une autorisation de changement d'exploitant, donc avec reprise des obligations de l'ancien exploitant, la garantie financière devient caduque (cf. l'acte de cautionnement solidaire prévu par l'arrêté interministériel précité).

En cas de liquidation judiciaire, l'Etat, comme tous les créanciers, dispose de deux mois à compter de la publication au Bulletin officiel des annonces commerciales (BODAC) du jugement de la liquidation pour faire connaître son droit de créance.

Au-delà, le droit de créance, donc la possibilité de faire appel aux garanties financières, disparaît.

7. LE NON-RENOUVELLEMENT DES GARANTIES FINANCIERES

L'exploitant doit renouveler les garanties financières selon l'échéance prévue par l'arrêté d'autorisation.

Lorsque ces garanties financières ne sont pas renouvelées, il convient de mettre en demeure, dès la constatation de non-renouvellement, l'exploitant de renouveler ses garanties financières. Cette mise en demeure doit avertir l'exploitant que l'activité sera suspendue à expiration des garanties financières.

En cas d'échec de la mise en demeure, l'exploitation doit donc être systématiquement suspendue au jour de l'expiration des garanties financières. Pour cela le préfet consulte la commission départementale des carrières en application de l'article L.514-1-3° du code de l'environnement.

Si la remise en état, l'intervention en cas d'accident et/ou la surveillance ne sont pas réalisées conformément à l'arrêté d'autorisation et si les garanties financières ne sont pas renouvelées, les procédures de mise en demeure de renouvellement des garanties financières et de mise en demeure de remise en état, l'intervention en cas d'accident et/ou de surveillance sont réalisées conjointement afin de pouvoir aboutir à l'appel aux garanties.

8. CONSTATATION D'INFRACTION

Il convient que toute mise en demeure de remise en état, d'intervention en cas d'accident ou de surveillance non suivie d'exécution donne lieu systématiquement à constatation d'infraction, infraction qui constitue un délit, et à transmission au parquet.

9. LES CARRIERES EXISTANTES

Remise en état des carrières

En tout état de cause, toutes les carrières existantes régulièrement autorisées sont dotées de garanties financières pour la remise en état du site depuis le 14 juin 1999 (date d'application prévue pour les installations existantes à la publication de l'arrêté du 10 février 1998 abrogé par l'arrêté du 9 février 2004 précité).

Stockage déchets classé 2720

Pour les installations existantes, pour lesquelles l'exploitant demande le bénéfice des droits acquis au titre de l'article L.513-1 du code de l'environnement, on appliquera comme date limite de mise en conformité, la date d'application de l'article 14 de la directive précitée, soit au plus tard le 1er mai 2014.

Stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A

Le décret n°2010-1172 du 5 octobre 2010 prévoit que les installations existantes au 7 octobre 2010 doivent se mettre en conformité au plus tard le 1er mai 2014.

10. INSTALLATION DE STOCKAGE DE DECHETS INERTES ET DE TERRRES NON POLLUEES DE CATEGORIE A

Pour la définition d'une installation de stockage de déchets inertes et de terre non polluées de catégorie A vous vous appuierez sur la décision de la Commission du 20 avril 2009 relative à la définition des critères de classification des installations de gestion de déchets conformément à l'annexe III de la directive 2006/21/CE, dont les dispositions ont été transposées dans l'annexe VII de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives (hormis les paragraphes 4 et 5 qui concernent les déchets dangereux).

Ainsi, une installation de gestion de déchets est classée dans la catégorie A si les conséquences prévues, à court ou à long terme, d'une défaillance due à une perte d'intégrité structurelle ou à la mauvaise exploitation d'une installation de gestion de déchets peuvent entraîner :

a) un risque non négligeable de perte de vies humaines ;

b) un grave danger pour la santé humaine ;

c) un grave danger pour l'environnement.

Afin d'évaluer le risque de pertes de vies humaines, il convient de prendre en compte la présence effective de personnes pendant une durée significative dans les zones susceptibles d'être touchées. Ainsi, la présence d'un lieu de passage occasionnel (ex : chemin de randonnée, route, terrain agricole, etc) à proximité d'un stockage de déchets ne pourra à elle seule provoquer le classement en catégorie A. En revanche, la présence d'une zone d'occupation longue, même occasionnelle (terrain de camping, lieu d'accueil de gens du voyage, …), dans la zone susceptible d'être touchée est à prendre en compte.

Pour l'évaluation du danger grave pour l'environnement, il conviendra d'évaluer la distance aux zones protégées au titre du code de l'environnement (parcs nationaux, réseau Natura 2000), aux eaux de surfaces et aux zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO).

Compte tenu du § 3.3.2 de l'annexe VII de l'arrêté du 19 avril 2010 précité, la seule présence d'une zone spéciale de conservation (directive 92/43/CEE « Habitats ») ou d'une zone de protection spéciale (directive 79/403/CEE « Oiseaux ») n'entraîne pas nécessairement le classement en catégorie A. Il convient au préalable de vérifier la présence effective d'habitat communautaire, d'espèces protégées au titre de la directive Habitats ou de lieux de nidification d'espèces protégées au titre de la directive Oiseaux dans la zone susceptible d'être impactée.

Au-delà de la seule distance entre l'installation de stockage de déchets et la zone d'occupation humaine ou la zone à enjeu environnemental, la topographie des lieux est également à prendre en compte. Ainsi, toute présence de relief pouvant faire obstacle ou retenir les écoulements pourra éventuellement permettre d'éviter le classement en catégorie A de l'installation.

Pour les installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées, les installations de catégorie A ne pourront en tout état de cause être constituées que par des :

- bassins d'eaux ou de boues endigués ;
- dépôts de surface de boues consolidées ou de stériles ;
- dépôts de stériles à flanc de verses.

11. DISPOSITIONS DIVERSES

Pour les installations pour lesquelles un dossier de demande d'autorisation au titre de la rubrique 2720 est déjà déposé et pour les nouvelles installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A, les dispositions de la présente circulaire s'appliquent six mois après sa publication au bulletin officiel du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.

La circulaire n°98-48 du 16 mars 1998 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières (ICPE) est annulée.

La présente circulaire sera publiée au *Bulletin officiel* du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement,

Fait le 9 mai 2012

Pour le ministre et par délégation,

Le Secrétaire général	Le directeur général de la prévention des risques
Jean-François MONTEILS	Laurent MICHEL

Annexe 1 : Remise en état des carrières, coûts unitaire des principaux postes
(valeurs moyennes en 2011)

Postes de remise en état	Coût unitaire (HT)
Terrassement (en euros/m^3) (1)	3
Apport de terre végétale (en euros /m^3) (2)	8
Profilage des berges (en euros/m^2)	3
Rectification des fronts de taille (en euros /m) (3)	16 à 35
Purge de front avec pelle mécanique (en euros/jour)	500
Enherbement (en euros /m^2) (4)	1
Plantation/boisement (forestier) (en euros /1000 pieds) (4)	7700
Pelle mécanique (en euros /j)	620
Bouteur (en euros /j)	550

(1) En cas de besoin de matériaux pour remblayage, faire une évaluation du coût, au cas par cas, en fonction de l'offre locale et prendre en compte le coût du transport.

(2) Prendre en compte le coût du transport.

(3) Selon hauteur et type de matériaux.

(4) Plus value pour accès difficiles : 50 à 100 %.

Annexe 2 : Calculs du montant des garanties financières
pour une installation de stockage de déchets classés 2720

Méthode de calcul aux coûts réels

Surveillance

Travaux	Coût (HT)	Article de référence dans l'AM du 19/04/2010
Entretien de clôture	9 €/ml à raison de 1/5 ml tous les 4 ans, soit 1,8 €/ml	Article 5 (mesures générales)
Entretien de fossé	2 €/ml à raison de 1/5 ml tous les 4 ans, soit 0,4 €/ml	Article 12
Entretien installation de traitement des eaux résiduaires	1 500 €/an : comprenant la reprise des concassés en place, la fourniture et mise en place d'un nouveau lit de matériaux	Article 19
Entretien esthétique et suivi de stabilité de digue et de talus	5 000 €/ha/an de talus ou de digue avec mesure annuelle, soit 25 000 €/ha pour 5 ans déduction faite des surfaces en eau	Article 17
Analyses d'eau	150 € par point de mesure	Articles 19 et 23
Suivi piézométrique	30 € par point de mesure par campagne de mesure	Article 22

Intervention en cas d'accident ou de pollution(coût HT)

Reprise de digue ou de talus : 15 000 €/ha

Reprise de couverture (coût HT):

	Déchets dangereux	Déchets non dangereux
de 0 à 5 ha	7 200 €/ha	4 300 €/ha
de 5 à 10 ha	5 760 €/ha	3 500 €/ha
au-delà de 10 ha	4 600 €/ha	2 800 €/ha

Les frais de dépollution éventuelle sont réputés couverts par les autres postes non utilisés au titre de la surveillance et de la remise en état après exploitation.

Remise en état après exploitation

Travaux	Coût	Article de référence dans l'AM du 19/04/2010
Pose de clôture	50 €/ml	Article 5 (mesures générales)
Création de fossé	15 €/ml pour un fossé en terre simple 40 €/ml pour un fossé sur lit de sable 90 €/ml pour un fossé en béton	Articles 12 et 13
Création d'un bassin de décantation	1000 €/ha d'impluvium	Article 13
Installation de traitement des eaux résiduaires	15 000 €	Articles 5 (dernier alinéa) et 19
Talutage	17 775 €/ha (Garanties financières 2510 (coût C3))	Article 10
Couverture	Déchets dangereux : Couche drainante sur 0,5 m et terre sur 0,3 m, soit 0,8 m x 4,5 €/m^3 - 36 000 €/ha de 0 à 5 ha - 28 800 €/ha de 5 à 10 ha - 23 000 €/ha au-delà déduction faite des surfaces en eau Déchets non dangereux : Terre sur 0,3 m, soit 0,3 m x 4,5 €/m^3 - 21 600 €/ha de 0 à 5 ha - 17 300 €/ha de 5 à 10 ha - 13 800 €/ha au-delà déduction faite des surfaces en eau. (Application d'une décotte de 80% tous les 5 ha jusqu'à 10 ha (idem GF 2510))	Article 26

Méthode de calcul forfaitaire

On appliquera la formule suivante :

Garantie financière complémentaire pour le stockage = C2 x S_{2720} x I_{2720})

Où :

C2 est le coefficient C2 tel que prévu dans l'arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières

S_{2720} : surface de l'installation 2720 en chantier pendant la période garantie

I_{2720} : coefficient de majoration pour les installations classées 2720 tel que :

Type de stockage	I_{2720}
Bassin enterré	0,40
Bassin endigué	0,30
Dépôt de surface et verse à flanc de relief	$S_{2720} \leq 5$ ha : 0,35 $5 < S_{2720} \leq 10$ ha : 0.25 $S_{2720} > 10$ ha : 0,15
Verse dans une fosse	0

Annexe 3 : Calcul du montant des garanties financières pour les installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A

Méthode de calcul aux coûts réels

Surveillance

Travaux	Coût
Entretien de clôture	9 €/ml à raison de 1/5 ml tous les 4 ans, soit 1,8 €/ml
Entretien de fossé	2 €/ml à raison de 1/5 ml tous les 4 ans, soit 0,4 €/ml
Entretien esthétique et suivi de stabilité de digue et de talus	5 000 €/ha/an de talus ou de digue avec mesure annuelle, soit 25 000 €/ha pour 5 ans déduction faite des surfaces en eau

Intervention en cas d'effondrement de verses ou de rupture de digues (coût HT)

Reprise de digue ou de talus : 15 000 €/ha

Réfection du stockage : Se référer le cas échéant aux prix unitaires indiqués aux annexes 1 et 2.

Méthode de calcul forfaitaire

On appliquera la formule suivante :

$$\text{Garantie financière complémentaire pour le stockage} = C2 \times S_A \times I_A$$

Où :

C2 est le coefficient C2 tel que prévu dans l'arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières

S_A (en ha) : Surface des stockages de catégorie A en chantier pendant la période garantie.

I_A : coefficient de majoration pour les installations de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A :

Type de stockage	I_A
Bassin de boues liquides ou consolidées endigué	0,25
Dépôt de surface extérieur à la zone d'extraction et verse à flanc de relief	0,20

Ne sont pas étudiés les stockages enterrés ou verses en fosses dés lors que ces stockages ne peuvent pas causer des accidents majeurs eu égard à la nature inerte des matériaux.

Annexe 4 : Exemple de prescriptions relatives aux garanties financières, pour un arrêté d'autorisation d'une carrière à remise en état coordonnée à l'exploitation

1. L'autorisation a une durée de [ ] qui inclut la remise en état.

2. La production annuelle autorisée est de [ ].

La quantité totale autorisée à extraire est de [ ].

3. Le site de la carrière porte sur une surface de [ ].

La surface maximale d'une installation de stockage de déchets classée 2720 en chantier est de [ ].

La surface maximale d'une installation de stockage de déchets inertes et de terre non polluées de catégorie A en chantier est de [ ].

4. La remise en état est strictement coordonnée à l'exploitation selon le schéma d'exploitation et de remise en état annexé au présent arrêté.

L'extraction de matériaux commercialisables ne doit plus être réalisée après le [ ].

La remise en état est achevée le [ ].

Chaque phase d'exploitation n est caractérisée par une surface d'exploitation de [ ] et une quantité de matériaux à extraire de [ ].

L'exploitation de la phase (n + x) ne peut être entamée que lorsque la remise en état de la phase n est terminée (x pouvant être égal à 2, 3...).

L'exploitant notifie chaque phase de remise en état au préfet.

5. La durée de l'autorisation est divisée en période quinquennale. À chaque période correspond un montant de garantie financière permettant la remise en état maximale au sein de cette période. Le schéma d'exploitation et de remise en état en annexe présente les surfaces à exploiter et les modalités de remise en état pendant ces périodes.

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la remise en état maximale pour chacune de ces périodes est de [ ].

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la surveillance et les interventions en cas d'accident ou de pollution pour une installation de stockage de déchets classée 2720 est de [ ].

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la surveillance et l'intervention en cas d'effondrement de verses ou de rupture de digue pour une installation de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A est de [ ] :

6. Aménagements préliminaires et notification de la constitution des garanties financières.

L'exploitant doit, avant le début de l'extraction, mettre en place... (cf. art. 4 de l'arrêté du 22 septembre 1994). Dès que ces aménagements ont été réalisés, l'exploitant adresse au préfet une déclaration de début d'exploitation et le document établissant la constitution des garanties financières.

7. L'exploitant adresse au préfet le document établissant le renouvellement des garanties financières avant le [ ] (au moins (n) mois avant leur échéance).

8. Fin d'exploitation.

L'exploitant adresse avant le [ ] (au moins six mois avant la date d'expiration de l'autorisation) une notification de fin d'exploitation et un dossier comprenant :

- le plan à jour de l'installation (accompagné de photos);

- le plan de remise en état définitif;

- un mémoire sur l'état du site.

9. Modalités d'actualisation du montant des garanties financières.

Tous les cinq ans, le montant des garanties financières est actualisé compte tenu de l'évolution de l'indice TP 01.

Lorsqu'il y a une augmentation supérieure à 15 % de l'indice TP 01 sur une période inférieure à cinq ans, le montant des garanties financières doit être actualisé dans les six mois suivant l'intervention de cette augmentation.

L'actualisation des garanties financières relève de l'initiative de l'exploitant.

10. Toute modification des conditions d'exploitation conduisant à une augmentation du montant des garanties financières doit être subordonnée à la constitution de nouvelles garanties financières.

11. L'absence de garanties financières entraîne la suspension de l'activité, après mise en oeuvre des modalités prévues à l'article L.514-1-3° du code de l'environnement.

12. Le préfet fait appel aux garanties financières :

- soit en cas de non-respect des prescriptions de l'arrêté préfectoral en matière de remise en état après intervention de la mesure de consignation prévue à l'article L.514-1 du code de l'environnement

- soit en cas de disparition juridique de l'exploitant et d'absence de remise en état conforme au présent arrêté.

13. Remise en état non conforme à l'arrêté d'autorisation.

Toute infraction aux prescriptions relatives aux conditions de remise en état constitue après mise en demeure un délit conformément aux dispositions de l'article L.514-11 du code de l'environnement.

Annexe 5 : Exemple de prescriptions relatives aux garanties financières, pour un arrêté d'autorisation d'une carrière sans remise en état coordonnée à l'exploitation

1. L'autorisation a une durée de [ ] qui inclut la remise en état.

2. La production annuelle autorisée est de [ ].

La quantité totale autorisée à extraire est de [ ].

3. Le site de la carrière porte sur une surface de [ ].

La surface maximale d'une installation de stockage de déchets classée 2720 en chantier est de [ ].

La surface maximale d'une installation de stockage de déchets inertes et de terre non polluées de catégorie A en chantier est de [ ].

4. L'exploitation et la remise en état sont fixées selon le schéma d'exploitation et de remise en état annexé au présent arrêté.

L'extraction de matériaux commercialisables ne doit plus être réalisée après le [ ].

La remise en état est achevée le [ ].

5. La durée de l'autorisation est divisée en période quinquennale. À chaque période correspond un montant de garantie financière permettant la remise en état maximale au sein de cette période. Le schéma d'exploitation et de remise en état en annexe présente les surfaces à exploiter et les modalités de remise en état pendant ces périodes.

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la remise en état de la carrière, à chacun des termes des périodes quinquennales est :

- au terme de cinq ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de dix ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de quinze ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ].

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la surveillance et les interventions en cas d'accident ou de pollution pour une installation de stockage de déchets classée 2720 est :

- au terme de cinq ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de dix ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de quinze ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ].

Le montant des garanties financières permettant d'assurer la surveillance et l'intervention en cas d'effondrement de verses ou de rupture de digue pour une installation de stockage de déchets inertes et de terres non polluées de catégorie A est :

- au terme de cinq ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de dix ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ];

- au terme de quinze ans de [ ] pour une surface autorisée de [ ].

6. Aménagements préliminaires et notification de la constitution des garanties financières.

L'exploitant doit, avant le début de l'extraction, mettre en place... (cf. art. 4 de l'arrêté du 22 septembre 1994). Dès que ces aménagements ont été réalisés, l'exploitant adresse au préfet une déclaration de début d'exploitation et le document établissant la constitution des garanties financières.

7. L'exploitant adresse au préfet le document établissant le renouvellement des garanties financières avant le [ ] (au moins (n) mois avant leur échéance).

8. Fin d'exploitation.

L'exploitant adresse avant le [ ] (un an avant la date d'expiration de l'autorisation) une notification et un dossier comprenant :

- le plan à jour de l'installation (accompagné de photos);

- le plan de remise en état définitif;

- un mémoire sur l'état du site.

L'exploitant adresse avant le [ ] (six mois avant la date d'expiration de l'autorisation) une notification de fin d'exploitation comprenant les mêmes éléments actualisés.

9. Modalités d'actualisation du montant des garanties financières : Tous les cinq ans, le montant des garanties financières est actualisé compte tenu de l'évolution de l'indice TP 01.

Lorsqu'il y a une augmentation supérieure à 15 % de l'indice TP 01 sur une période inférieure à cinq ans, le montant des garanties financières doit être actualisé dans les six mois suivant l'intervention de cette augmentation.

L'actualisation des garanties financières relève de l'initiative de l'exploitant.

9.1. Lorsque la quantité de matériaux extraits est inférieure à la capacité autorisée et conduit à un coût de remise en état inférieur à au moins 25 % du coût couvert par les garanties financières, l'exploitant peut demander au préfet, pour les périodes quinquennales suivantes, une modification du calendrier de l'exploitation et de la remise en état et une modification du montant des garanties financières. Cette demande est accompagnée d'un dossier et intervient au moins six mois avant le terme de la période quinquennale en cours.

10. Toute modification des conditions d'exploitation conduisant à une augmentation du montant des garanties financières doit être subordonnée à la constitution de nouvelles garanties financières.

11. L'absence de garanties financières entraîne la suspension de l'activité, après mise en œuvre des modalités prévues à l'article L.514-1-3° du code de l'environnement.

12. Le préfet fait appel aux garanties financières :

- soit en cas de non-respect des prescriptions de l'arrêté préfectoral en matière de remise en état après intervention de la mesure de consignation prévue à l'article L.514-1-3° du code de l'environnement ;

- soit en cas de disparition juridique de l'exploitant et d'absence de remise en état conforme au présent arrêté.

13. Remise en état non conforme à l'arrêté d'autorisation.

Toute infraction aux prescriptions relatives aux conditions de remise en état constitue après mise en demeure un délit conformément aux dispositions de l'article L.514-11 du code de l'environnement.

ELnet Textes : Textes, février 2004 - 9 février 2004 - Arrêté du 9 février 2004 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la législation des installations classées (NOR : DEVP0430043A) (JO 31 mars 2004)

Arrêté du 9 février 2004

relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la législation des installations classées

(mod. par)

Arrêté du 24 décembre 2009, NOR : DEVP0928672A, modifiant l'arrêté du 9 février 2004 et relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières (JO, 16 janv.)

(NOR : DEVP0430043A)

(JO 31 mars 2004)

La ministre de l'écologie et du développement durable,

Vu le code de l'environnement, et notamment ses articles L. 512-5, L. 514-8, L. 515-5 et L. 516-1;

Vu le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié pris pour application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, et notamment ses articles 23-3 et suivants;

Vu l'avis du Conseil supérieur des installations classées en date du 18 décembre 2003,

Arrête:

Art. 1er - *(Arr. 24 déc. 2009, art. 1er).* (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Le présent arrêté a pour objet la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la disposition combinée des articles « R. 516-1, R. 516-2, L. 512-5, L. 514-8, L. 515-5 et L. 516-1 » du code de l'environnement susvisé.

(Arr. 24 déc. 2009, art. 1er). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Les installations concernées sont les activités « relevant de » la rubrique n° 2510 de la nomenclature des installations classées, quelle que soit la date de mise en exploitation, à l'exclusion des carrières soumises à déclaration.

Art. 2 - Le montant de référence des garanties financières, figurant dans l'arrêté préfectoral, est établi selon le mode de calcul forfaitaire de l'annexe I pour les trois catégories d'exploitation de carrières suivantes:

- carrières de matériaux meubles en nappe alluviale ou superficielle;
- carrière en fosse ou à flanc de relief;
- autres carrières à ciel ouvert, y compris celles mentionnées au point 4 de la rubrique n° 2510 de la nomenclature des installations classées.

(Arr. 24 déc. 2009, art. 2). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Les affouillements du sol mentionnés « au point » 3 de la rubrique n° 2510 de la nomenclature des installations classées et les carrières souterraines ne sont pas soumises à la détermination du montant de référence des garanties financières prévue par le présent arrêté.

Dans ces cas, le montant de référence des garanties financières est déterminé par une évaluation détaillée et exhaustive.

Art. 3 - Le montant indiqué dans le document d'attestation de la constitution de garanties financières doit être actualisé au moins tous les cinq ans.
Ce montant est obtenu par application de la méthode d'actualisation précisée à l'annexe III du présent arrêté au montant de référence figurant dans l'arrêté préfectoral pour la période considérée.

L'arrêté préfectoral fixant le montant de référence des garanties financières précise l'indice TP01 utilisé pour le calcul de ce montant.

Toute modification de l'exploitation conduisant à une augmentation du coût de remise en état nécessite une révision du montant de référence des garanties financières.

Art. 4 - *(Arr. 24 déc. 2009, art. 3).* (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*

Pour une carrière appartenant à l'une des trois catégories mentionnées au premier alinéa de l'article 2, le montant de référence des garanties financières peut être établi « à l'initiative du préfet » selon une évaluation détaillée et exhaustive lorsque le montant obtenu à partir du mode de calcul forfaitaire de l'annexe I diffère notablement du montant de la remise en état prévue. « Le montant est alors validé par le préfet. »

(2 al. supprimés par Arr. 24 déc. 2009, art. 3) (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*

Art. 5 - Les éléments à fournir par le pétitionnaire ou par l'exploitant pour l'établissement du montant de référence des garanties financières sont précisés à l'annexe II du présent arrêté.

Art. 6 - Les dispositions du présent arrêté sont applicables trois mois après la date de sa publication au *Journal officiel.*

(Arr. 24 déc. 2009, art. 4). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Les installations dont les demandes d'autorisation seront déposées avant cette date d'application ainsi que les installations déjà soumises à des garanties financières restent soumises à l'arrêté du 10 février 1998 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la législation des installations classées jusqu'au premier renouvellement de leur acte de cautionnement. Leur montant de référence est le montant des garanties financières figurant dans l'arrêté préfectoral et établi en application des dispositions de l'arrêté du « 9 février 2004 » précité jusqu'à la prochaine modification de cet arrêté préfectoral.

Art. 7 - L'arrêté du 10 février 1998 relatif à la détermination du montant des garanties financières de remise en état des carrières prévues par la législation des installations classées est abrogé à compter du 1er janvier 2010.

Art. 8 - *(Arr. 24 déc. 2009, art. 5).* (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Le directeur « général de la prévention des risques » et les préfets sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

ANNEXE I

FORMULES DE CALCUL FORFAITAIRE DU MONTANT DE RÉFÉRENCE DES GARANTIES FINANCIÈRES DE REMISE EN ÉTAT DES CARRIÈRES

Les formules ci-dessous permettent de calculer le montant de référence des garanties financières.

On définit α tel que :

$$\alpha = \text{Index} / \text{Index}_0 \times (1 + \text{TVA}_R) / 1 + \text{TVA}_0$$

Avec:

Index: indice TP01 utilisé pour l'établissement du montant de référence des garanties financières fixé dans l'arrêté préfectoral;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
Index_0: indice TP01 de « mai 2009 » soit « 616,5 »;

TVA_R: taux de la TVA applicable lors de l'établissement de l'arrêté préfectoral fixant le montant de référence des garanties financières;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
TVA_0: taux de la TVA applicable en « janvier 2009 » soit « 0,196 ».

1. Pour les carrières de matériaux meubles en nappe alluviale ou superficielle :

$$C_R = \alpha \cdot (S1\ C1 + S2\ C2 + LC3)$$

C_R: montant de référence des garanties financières pour la période considérée (note *) *(*) Lorsque la durée d'autorisation est inférieure à cinq ans, la période considérée est égale à la durée d'autorisation.*
.

S1 (en ha): somme de la surface de l'emprise des infrastructures au sein de la surface autorisée et de la valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par les surfaces défrichées diminuées de la valeur maximale des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) soumises à défrichement.

S2 (en ha): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la somme des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) diminuée de la surface en eau et des surfaces remises en état.

L (en m): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la somme des linéaires de berges diminuée des linéaires de berges remis en état.

Coûts unitaires (TTC):

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C1: « 15 555 » €/ha;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C2: « 34 070 » €/ha;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C3: « 47 » €/m.

2. Pour les carrières en fosse ou à flanc de relief:

$$C_R = \alpha \cdot (S1\ C1 + S2\ C2 + S3\ C3)$$

C_R: montant de référence des garanties financières pour la période considérée (note *) *(*) Lorsque la durée d'autorisation est inférieure à cinq ans, la période considérée est égale à la durée d'autorisation.*
.

S1 (en ha): somme de la surface de l'emprise des infrastructures au sein de la surface autorisée et de la valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par les surfaces défrichées diminuées de la valeur maximale des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) soumises à défrichement.

S2 (en ha): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la somme des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) diminuée de la surface en eau et des surfaces remises en état.

S3 (en ha): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la surface résultant du produit du linéaire de chaque front par la hauteur moyenne du front hors d'eau diminuée des surfaces remises en état.

Coûts unitaires (TTC):

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C1: « 15 555 » €/ha;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C2: « 36 290 » €/ha pour les 5 premiers hectares; « 29 625 » €/ha pour les 5 suivants: « 22 220 » €/ha au-delà;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C3: « 17 775 » €/ha.

3. Pour les autres carrières à ciel ouvert, y compris celles mentionnées au point 4 de la rubrique 2510 de la nomenclature des installations classées:

$$C_R = \alpha \cdot (S1\ C1 + S2\ C2 + S3\ C3)$$

C_R: montant de référence des garanties financières pour la période considérée (note *) *(*) Lorsque la durée d'autorisation est inférieure à cinq ans, la période considérée est égale à la durée d'autorisation.*
.

S1 (en ha): somme de la surface de l'emprise des infrastructures au sein de la surface autorisée et de la valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par les surfaces défrichées diminuées de la valeur maximale des surfaces en chantier (découvertes et en exploitation) soumises à défrichement.

S2 (en ha): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la somme des surfaces découvertes et des surfaces en exploitation diminuée des surfaces remises en état.

S3 (en ha): valeur maximale atteinte au cours de la période considérée par la surface résultant du produit du linéaire du périmètre d'extraction par la profondeur moyenne diminuée des surfaces remises en état.

Coûts unitaires (TTC):

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C1: « 15 555 » €/ha;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C2: « 34 070 » €/ha;

(Arr. 24 déc. 2009, art. 6). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
C3: « 17 775 » €/ha.

Lorsque la durée d'autorisation est d'au moins cinq ans, la période considérée est de cinq ans (si la durée d'autorisation n'est pas

un multiple de 5, une des périodes est inférieure à cinq ans).

ANNEXE II

ÉLÉMENTS À FOURNIR POUR LE CALCUL DU MONTANT DE RÉFÉRENCE DES GARANTIES FINANCIÈRES

1. Éléments à fournir pour le calcul du montant de référence des garanties financières selon le mode forfaitaire de calcul prévu à l'annexe I:

a) Schéma prévisionnel d'exploitation et de remise en état (modalités précises et calendrier d'exploitation et de remise en état) par période considérée (*).
b) Valeur des différents paramètres pertinents de la formule de calcul forfaitaire de l'annexe I au cours de chaque période considérée (*).

2. Éléments à fournir pour le calcul du montant de référence des garanties financières n'utilisant pas le mode forfaitaire de calcul prévu à l'annexe I:

a) Schéma prévisionnel d'exploitation et de remise en état (modalités précises et calendrier d'exploitation et de remise en état) par période considérée (*).
b) Évaluation détaillée et exhaustive des coûts de remise en état par période considérée (*) (en fonction du schéma prévisionnel d'exploitation et de remise en état) correspondant à la remise en état prévue par l'arrêté d'autorisation (ou l'arrêté complémentaire). Cette évaluation est établie poste par poste. Elle prend en compte la totalité des dépenses de remise en état, et notamment les dépenses:
- de démantèlement des installations situées sur l'emprise autorisée;
- de fourniture éventuelle de matériaux et de leur transport;
- des différents travaux de remise en état (incluant notamment les mouvements de stériles, les travaux de végétalisation, etc.);
- de maîtrise d'œuvre et d'assistance à maîtrise d'ouvrage.

c) Analyse critique des coûts de remise en état (prévue lorsque c'est le pétitionnaire ou l'exploitant qui demande l'évaluation détaillée et exhaustive du montant de remise en état).

(*) Lorsque la durée d'autorisation est inférieure à cinq ans, la période considérée est égale à la durée d'autorisation.

Lorsque la durée d'autorisation est d'au moins cinq ans, la période considérée est de cinq ans (si la durée d'autorisation n'est pas un multiple de 5, une des périodes est inférieure à cinq ans).

ANNEXE III

ACTUALISATION DU MONTANT INDIQUÉ DANS LE DOCUMENT D'ATTESTATION DE LA CONSTITUTION DE GARANTIES FINANCIÈRES

La formule d'actualisation est:

$$C_n = C_R \cdot (Index_n / Index_R) \infty (1 + TVA_n) / 1 + TVA_R$$

C_R: le montant de référence des garanties financières.

C_n: le montant des garanties financières à provisionner l'année n et figurant dans le document d'attestation de la constitution de garanties financières.

$Index_n$: indice TP01 au moment de la constitution du document d'attestation de la constitution de garanties financières.

(Arr. 24 déc. 2009, art. 7). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
$Index_R$: indice TP01 utilisé pour l'établissement du montant de référence des garanties financières fixé par l'arrêté préfectoral ou indice « TP01 mai 2009 (616,5) » pour les carrières conservant comme montant de référence le montant forfaitaire calculé en appliquant les dispositions de « l'arrêté du 9 février 2004 ».

TVA_n: taux de la TVA applicable au moment de la constitution du document d'attestation de la constitution de garanties financières.

(Arr. 24 déc. 2009, art. 7). (note 1) ***(1)*** *NDLR : les dispositions de l'arrêté du 24 décembre 2009 sont applicables pour l'établissement ou la révision du montant des garanties financières dans un délai de 4 mois à compter du 16 janvier 2010 (Arr. 24 déc. 2009, art. 8).*
TVA_R: taux de la TVA applicable à l'établissement de l'arrêté préfectoral fixant le montant de référence des garanties financières.
Pour les carrières conservant comme montant de référence le montant forfaitaire calculé en appliquant les dispositions de « l'arrêté du 9 février 2004 », ce taux est de « 0,196 ».

Les indices TP01 sont consultables au *Bulletin officiel de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes.*

Réalisé par :
GéoPlusEnvironnement

Agence Centre et Nord
2 rue Joseph Leber
45 530 VITRY-AUX-LOGES
Tél : 02 38 59 37 19 – Fax : 02 38 59 38 14

e-mail : geo.plus.environnement2@orange.fr

Siège social / Agence Sud :
Le Château
31 290 GARDOUCH
Tél : 05 34 66 43 42 – Fax : 05 61 81 62 80
e-mail : geo.plus.environnement@orange.fr

Agence Est :
7 rue du Breuil
88 200 REMIREMONT
Tél : 03 29 22 12 69 – Fax : 09 70 06 14 23
e-mail : geo.plus.environnement4@orange.fr

Agence Ouest :
5 chemin de la Rôme
49 123 CHAMPTOCE-SUR-LOIRE
Tél : 02 41 34 35 82 – Fax : 02 41 34 37 95
e-mail : geo.plus.environnement3@orange.fr

Agence Sud-Est :
Quartier Les Sables
26 380 PEYRINS
Tél : 04 75 72 80 00 – Fax : 04 75 72 80 05
e-mail : geoplus@geoplus.fr

Antenne PACA :
Sainte-Anne
84 190 GIGONDAS
Tél : 06 88 16 76 78

Site internet : www.geoplusenvironnement.com

GéoPlusEnvironnement

La gestion de l'environnement, la reconnaissance du sous-sol
et l'application de la réglementation au service de votre projet.