

Annexe 20 bis

Note de calcul complémentaire du bilan hydrique et du bilan massique des cyanures dans les parcs à résidus, prise en compte des variations mensuelles de la pluviométrie

Source : GéoPlusEnvironnement, juillet 2017

1 NOTE DE CALCUL SUR LE BILAN HYDRIQUE DES PARCS À RÉSIDUS

1.1 Estimation de l'impluvium efficace 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. Ils sont repris dans les lignes n°1 et 2 des tableaux 1 et 2.

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). Les évapotranspirations maximales en moyenne mensuelle sont reprises dans la ligne n°3 des Tableaux 1 et 2.

Les **précipitations moyennes mensuelles** (mm) enregistrées à Maripasoula sur la période 1971 à 2000 sont reprises dans la ligne n°4 des Tableaux 1 et 2.

Un taux d'évapotranspiration a ainsi pu être estimé dans la ligne n°5 des Tableaux 1 et 2, pour finalement obtenir le débit moyen efficace lié à l'impluvium.

Tableau 1 : Estimation de l'impluvium efficace (prise en compte de l'évapotranspiration) pour le PARU2+3+4 en moyenne mensuelle

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit moyen mensuel lié à l'impluvium (L/s)	1		0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.2	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2
Débit moyen mensuel lié à l'impluvium m3/j	2		34.6	51.8	69.1	86.4	103.7	103.7	69.1	43.2	25.9	17.3	8.6	17.3
évapotranspiration maximale à Maripasoula (mm)	3		66.3	71.3	94.4	107	123	124	125	120	103	90.7	73.6	65.8
Pluviométrie moyenne à Maripasoula (mm)	4		244.5	206.8	251.1	294.8	364.1	314.8	226.9	176	83	76.8	115.5	189.6
Taux d'évapotranspiration	5	(3)/(4)	27%	34%	38%	36%	34%	39%	55%	68%	124%	118%	64%	35%
Débit moyen mensuel efficace lié à l'impluvium (m3/j)	6	(2)x(1)-(5)	25.2	34.0	43.1	55.0	68.7	62.8	31.0	13.7	0	0	3.1	11.3

Tableau 2 : Estimation de l'impluvium efficace (prise en compte de l'évapotranspiration) pour le PARU2+3+4 en moyenne mensuelle

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit moyen mensuel lié à l'impluvium (L/s)	1		9.6	13.1	17.2	21.5	26.2	25.5	17	11.4	6.6	3.8	2.9	4.8
Débit moyen mensuel lié à l'impluvium m3/j	2		829.4	1131.8	1486.1	1857.6	2263.7	2203.2	1468.8	985.0	570.2	328.3	250.6	414.7
Évapotranspiration maximale à Maripasoula (mm)	3		66.3	71.3	94.4	107	123	124	125	120	103	90.7	73.6	65.8

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pluviométrie moyenne à Maripasoula (mm)	4		244.5	206.8	251.1	294.8	364.1	314.8	226.9	176	83	76.8	115.5	189.6
Taux d'évapotranspiration	5	(3)/(4)	27%	34%	38%	36%	34%	39%	55%	68%	124%	118%	64%	35%
Débit moyen mensuel efficace lié à l'impluvium (m ³ /j)	6	(2)x(1)-(5)	604.5	741.6	927.4	1183.4	1499.0	1335.4	659.6	313.4	0	0	90.9	270.8

On observe qu'aux mois de septembre et octobre, la totalité de l'impluvium des parcs à résidus sera évaporée.

1.2 Estimation du débit de percolation dans les parcs à résidus décyanurés

L'étude géotechnique Mine & Avenir nous donne une perméabilité des résidus de $1,2.10^{-8}$ 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 $0,1 \times 1,2.10^{-8} = 1,2.10^{-9}$ 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	$1,2.10^{-9}$ m/s	
Débits de percolation maximum a cours de l'exploitation du parcs à résidus (m ³ /j)	0,07	0,26

1.3 Bilan hydrique des parc à résidus et estimation des débits de rejet en moyenne mensuelle

1.3.1 PARU 1

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit moyen mensuel efficace lié à l'impluvium (m ³ /j)	6	(2)x(1)-(5)	25.2	34.0	43.1	55.0	68.7	62.8	31.0	13.7	-6.2	-3.1	3.1	11.3

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit de percolation de parc à résidus (m3/j)	7		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Pompage d'eau claire pour l'UMTMA (m3/j)	8		210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
Bilan hydrique du bassin d'eau claire	9	(6)+(7)-(8)	-184.7	-176.0	-166.8	-154.9	-141.3	-147.1	-178.9	-196.2	-216.2	-213.1	-206.8	-198.6

On observe, aux approximations de calcul près (différentes hypothèses), que le bilan hydrique du PARU 1 sera négatif, c'est-à-dire que les eaux collectées dans le bassin étanche en aval du parc à résidus ne suffiront pas à assurer l'appoint en eaux claires de l'UMTMA qui devra être complété par les autres bassins d'eau claire du site. **Il n'y aura pas de rejet dans le milieu naturel à partir du bassin d'eau claire du PARU1.**

1.3.2 PARU 2+3+4

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit moyen mensuel efficace lié à l'impluvium (m3/j)	6	(2)x(1)-(5)	604.5	741.6	927.4	1183.4	1499.0	1335.4	659.6	313.4	-137.4	-59.4	90.9	270.8
Débit de percolation de parc à résidus (m3/j)	7		0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Pompage d'eau claire pour l'UMTMA (m3/j)	8		210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
Bilan hydrique du bassin d'eau claire (m3/j)	9	(6)+(7)-(8)	394.8	531.9	717.7	973.6	1289.2	1125.6	449.9	103.7	-347.1	-269.2	-118.8	61.1
Capacité du bassin d'eau claire (m3)	10		11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Capacité de stockage (j)	11	(10)/(9)	28	21	15	11	9	10	24	106	Bilan hydrique négatif en période d'étiage, il n'y aura pas de rejet à partir du parc à résidus décyanurés. L'UMTMA sera alimentée en eau à partir des autres bassins du site.			180
Débit moyen de rejet (m3/j)	12	((9)x31j-(10))/31j	40	177	363	619	934	771	95	Stockage suffisant pas de rejet				Stockage suffisant pas de rejet

- **En pleine saison sèche (septembre, octobre, novembre), le bilan hydrique du PARU 2+3+4 sera négatif, c'est-à-dire que les eaux collectées dans le bassin étanche en aval du parc à résidus ne suffiront pas à assurer l'appoint en eaux claires de l'UMTMA qui devra être complété par les autres bassins d'eau claire du site. **Il n'y aura pas de rejet dans le milieu naturel à partir du bassin d'eau claire du PARU2+3+4.****
- **En début et fin de saison sèche (août et décembre), le bilan hydrique du PARU2+3+4 est positif et la capacité du bassin aval d'eau claire (11 000 m³) permet de stocker la totalité des eaux claires produites par le parc à résidus. **Il n'y aura pas de rejet dans le milieu naturel à partir du bassin d'eau claire du PARU2+3+4.****

- **En pleine saison des pluies (janvier à juillet)**, le bilan hydrique du PARU2+3+4 est largement positif et **une partie des eaux claires devra être rejetée dans le Yaou** pour éviter le débordement du bassin d'eau claire. Le débit maximum de rejet a été estimé à 11 L/s en mai.

1.4 Estimation de la concentration en cyanures dans l'effluent rejeté dans le Yaou

D'après les calculs précédents, le rejet d'eau claire dans le Yaou ne se fera qu'au niveau du **bassin d'eau claire du PARU2+3+4** et uniquement en pleine saison des pluies.

1.4.1 Spéciation des cyanures et hypothèse de travail

Les cyanures totaux résiduels potentiellement présents dans les résidus décyanurés pourront comprendre :

- ✓ des **cyanure libres** : ion de cyanure simple (CN^-) et le cyanure d'hydrogène gazeux ou aqueux (HCN) → cette forme de cyanures sera **intégralement mobilisée** par les eaux de percolation des résidus ;
- ✓ des **complexes de cyanure à acide faible dissociable (ou CN WAD)** : espèces de cyanures libérés à des niveaux de pH modérés (pH 4,5) tels que le CN^- et le HCN aqueux, la majorité des complexes cyanure/métal (Cu, Cd, Ni, Zn, Ag) et les autres espèces possédant des constantes à dissociation faible similaires → cette forme de cyanures pourrait **en partie être mobilisée** par les eaux de percolation des résidus même si ces eaux ne seront pas suffisamment acide pour dissocier la totalité des complexes metallo-cyanures ;
- ✓ **des cyanures métalliques lourds**, notamment le ferrocyanure, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, le ferricyanure, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, des éléments d'hexacyanocobaltate $\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$ → cette forme de cyanures n'est pas mobile et **restera dans les résidus**.

Les cyanures métalliques lourds potentiellement présents dans les résidus décyanurés ne sont pas mobiles, ils ne pourront pas passer en solution et être mobilisés par les eaux de percolation des résidus.

Dans cette estimation, on considérera que la totalité des **complexes de cyanure à acide faible dissociable (ou CN WAD)** passera en solution dans les eaux de percolation du parc à résidus. Cette hypothèse est majorante car le pH de la phase aqueuse des résidus sera plutôt basique (tout le procédé de cyanuration se fait à pH basique et le minerai oxydé n'est pas susceptible de générer de drainage acide), ne permettant pas la dissociation de tous les CN WAD.

Hypothèses et données de base :

- teneur en cyanures WAD des résidus décyanurés : **10 ppm** ;
- humidité des résidus décyanurés : 40 % *Cf. Tome 2 : Mémoire Technique* ;
- d'où une estimation de la **teneur en cyanures totaux (cyanures WAD + cyanures libres) dans la phase aqueuse** des résidus à **15 g/m³** ($10 \times (1 - 0,4) / 0,4$).

1.4.2 Estimation de la concentration en cyanures totaux dans le bassin d'eau claire du PARU2+3+4

Le croisement entre le bilan hydrique et la teneur en cyanures libres dans la phase aqueuse des résidus permet d'estimer les concentrations en cyanures dans les eaux du bassin d'eau claire :

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Bilan hydrique du bassin d'eau claire (m3/j)	9	(6)+(7)-(8)	394.8	531.9	717.7	973.6	1289.2	1125.6	449.9	103.7	-347.1	-269.2	-118.8	61.1
Concentration en cyanures totaux dans les eaux du bassin (en µg/L)	14	1000x(13)x(7)/(9)	10	7	5	4	3	3	9	38	Bilan hydrique négatif			64

On constate que quelle que soit la saison, la concentration en cyanures totaux reste inférieure au seuil de rejet dans le milieu naturel de 0,1 mg/L (ou 100µg/L) fixé par l'Arrêté du 02/02/1998. Le seuil de potabilité de 50 µg/L n'est dépassé qu'en début de saison des pluies (décembre).

On rappellera qu'en début et en fin de saison des pluies (août et décembre), la capacité du bassin d'eau claire sera suffisante pour stocker la totalité des eaux claires du parc à résidus.

1.4.3 Estimation de la concentration en cyanures totaux au point de rejet dans le Yaou

La demi-vie du cyanure en considérant sa dégradation naturelle dans un bassin ouvert est d'environ 3 semaines. Ainsi, le stockage, de l'effluent final du parc à résidus dans le bassin d'eau claire étanche, assurera une dégradation des cyanures résiduels. Les concentrations en cyanures totaux au point de rejet après stockage dans le bassin sont estimées ci-après :

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Capacité de stockage (j)	11	(10)/(9)	28	21	15	11	9	10	24	106	Bilan hydrique négatif en période d'étiage, il n'y aura pas de rejet à partir du parc à résidus décyanurés. L'UMTMA sera alimentée en eau à partir des autres bassins du site.			180
Concentration en CN totaux dans les eaux du bassin (en g/m3 ou mg/L)	14	(13)x(7)/(9)	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.003	0.009	0.038				0.064
Concentration en CN totaux dans l'effluent final après destruction naturelle des cyanures, sur la base d'une demi-vie de 3 semaines ou 21 j (µg/L)	15	1000x(14)/2 ^{(11)/21}	3.9	3.7	3.3	2.8	2.3	2.5	3.9	Stockage suffisant pas de rejet				Stockage suffisant pas de rejet

Ainsi les concentrations résiduelles potentielles en cyanures totaux au point de rejet dans le milieu naturel (rejet uniquement en pleine saison des pluies, de janvier à juillet) seront très faibles et largement conformes aux normes relatives aux rejets aqueux contenant des cyanures, dans le milieu naturel (Arrêté du 02/02/1998).

Elles seront même inférieures au seuil de potabilité des eaux (Arrêté du 11/01/2007).

1.5 Evolution des concentrations en polluant en aval

1.5.1 Estimation des débits moyens dans les criques avales 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	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	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

1.5.2 Estimation de facteurs de dilution et de la concentration potentielle en cyanures totaux dans le Yaou

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 du PARU2+3+4 :

Composantes du bilan hydrique	n°	Formule de calcul	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Débit moyen de rejet (m3/j)	12	$((9) \times 31j - (10)) / 31j$	40	177	363	619	934	771	95	Pas de rejet				
Concentration en CN totaux dans l'effluent final après destruction naturelle des cyanures, sur la base d'une demi-vie de 3 semaines ou 21 j ($\mu\text{g/L}$)	15	$1000 \times (14) / 2^{(11)/21}$	3.9	3.7	3.3	2.8	2.3	2.5	3.9					
Débit de la crique Yaou en aval de l'UMTMA (d'après l'étude hydraulique) (en L/s)	16		82	111.6	146.5	182.7	222.9	216.7	144.6					
Facteur de dilution au niveau du rejet de l'effluent final dans le Yaou	17	$(12) / ((16) \times 3,6 \times 24)$	0.6%	1.8%	2.9%	3.9%	4.9%	4.1%	0.8%					
Concentration potentielle en cyanures totaux dans le Yaou (en $\mu\text{g/L}$)	18	$(17) \times (14)$	0.022	0.068	0.094	0.108	0.111	0.103	0.029					

1.6 Conclusion

Le rejet d'effluent aqueux à partir des bassins d'eau claire des parcs à résidus décyanurés n'aura lieu :

- ✓ Qu'à partir du parc à résidus PARU2+3+4, le PARU1 présentant un bilan hydrique négatif (recyclage des eaux claires dans l'usine supérieur aux apports) ;
- ✓ Qu'en pleine saison des pluies, entre janvier et juillet.

Les **concentrations en cyanures totaux** (cyanures libres et cyanures facilement dissociables, les cyanures fortement complexé n'étant pas mobiles et restant donc dans les résidus) estimées **après rejet dans le Yaou seront de 0,022 à 0,108 µg/L, soit inférieur à très proches de la PNEC (predicted no effect concentration) eau douce de 0,114 µg/L.**

En cas de pluie décennale, le débit lié à l'impluvium sur le PARU2+3+4 est de 4,3 m³/s, le débit de rejet est de 1,9 m³/s, le débit du Yaou est de 7,6 m³/s. Dans ces conditions, la concentration en cyanures totaux du rejet est extrêmement faible et déjà inférieure à la PNEC, elle est estimée à 0,023 µg/L.

Le rejet d'eau claire des parcs à résidus miniers, lorsqu'il aura lieu sera sans effet sur le milieu naturel.

Le graphique suivant illustre les variations mensuelles du débit d'entrée du bassin d'eau claire du parc à résidus miniers PARU2+3+4, du débit de rejet dans le Yaou après stockage et des concentrations en cyanure totaux au point de rejet et après rejet dans le Yaou.

