



BILAN ENVIRONNEMENTAL

Sites miniers uranifères du Maine-et-Loire

AREVA

DRES / Direction de l'Après-Mines

Etablissement de Bessines

Préambule

Le présent bilan environnemental a été prescrit par l'arrêté préfectoral DDID-2010 n°423 du 5 août 2010. Il a été rédigé conformément à l'article 2 de cet arrêté préfectoral et aux dispositions prévues dans la circulaire n°2009-132 du 22 juillet 2009, cosignée entre le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer et l'Autorité de Sureté Nucléaire (ASN), portant sur la gestion des anciennes mines d'uranium.

Ce bilan porte sur l'ensemble des sites miniers uranifères figurant dans l'arrêté préfectoral. Les travaux miniers « Anjouerie Ouest », « Anjouerie Centre » et « Couraillère » ont été regroupés pour former un seul site minier nommé « L'Anjouerie ».

Ainsi, ce bilan a pour objectif de dresser un état des lieux des connaissances sur l'ensemble des sites miniers uranifères du département de la Loire-Atlantique. Il est à noter la présence, dans ce département, d'un stockage de résidus de traitement du minerai classé Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, sur le site de l'Ecarpière.

Ce bilan comporte onze chapitres répondant successivement aux exigences énumérées dans l'axe 2 « Améliorer la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et la surveillance » de la circulaire du 22 juillet 2009 susvisée. Les chapitres de ce bilan concernent :

- Chapitre 1 : une présentation générale des activités minières du Maine-et-Loire en les replaçant dans leur contexte géographique et historique.
- Chapitre 2 : une présentation générale des sites dans leur environnement géologique, climatique, hydrologique et hydrogéologique.
- Chapitre 3 : le cadre réglementaire passé et actuel décrivant les différentes polices applicables aux sites miniers et les plans d'actions édictés au niveau national.
- Chapitre 4 : les techniques d'exploitation minières et le traitement du minerai d'uranium.
- Chapitre 5 : une présentation des sites miniers par bassins versants et leur situation administrative.
- Chapitre 6 : une description des résidus et déchets d'exploitation (stériles miniers).
- Chapitre 7 : une évaluation des impacts en terme de sécurité publique (risques liés aux travaux miniers souterrains, aux mines à ciel ouvert et aux verses à stériles).
- Chapitre 8 : une évaluation des impacts sur l'environnement et la population, via les trois vecteurs suivants : eau, air et chaîne alimentaire.
- Chapitre 9 : une évaluation de la dose efficace ajoutée annuelle.
- Chapitre 10 : les mesures prises pour réduire les impacts listés dans les chapitres 7 et 8.
- Chapitre 11 : les conclusions de l'analyse environnementale des sites du Maine-et-Loire, accompagnées de propositions d'actions complémentaires à mettre en œuvre et de la description du programme de gestion des stériles mis en place par AREVA NC dans le cadre de l'axe 3 de la circulaire du 22 juillet 2009.

Avertissement

Les développements ci-après présentent parfois un caractère technique, dû à la complexité de la matière et du contexte.

Afin de faciliter la lecture du présent document, un développement concernant des généralités sur la radioactivité a été établi à la page 11. De plus, un glossaire général et une liste des sigles et abréviations utilisés sont présentés aux pages 195 et 201.

Le lecteur est invité à s'y reporter en tant que de besoin.

Sommaire

Généralités concernant la radioactivité	11
1 PRESENTATION GENERALE DES ACTIVITES MINIERES ET INDUSTRIELLES DU MAINE-ET-LOIRE	15
1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	15
1.2 HISTORIQUE	15
2 PRESENTATION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT DES SITES	17
2.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE	17
2.1.1 Géologie des terrains uranifères	17
2.1.2 Tectonique	18
2.1.3 Caractéristiques des minéralisations	18
2.1.4 Fond radiologique régional	20
2.2 ENVIRONNEMENTS PAYSAGERS ET DEMOGRAPHIQUES	20
2.2.1 Relief et paysage à l'échelle départementale	20
2.2.2 Démographie du département	20
2.3 CONTEXTE CLIMATIQUE	21
2.3.1 Pluviométrie	22
2.3.2 Températures	22
2.3.3 Vents	22
2.4 CONTEXTE HYDROLOGIQUE	23
2.4.1 Bassins versants	23
2.4.2 Débits des cours d'eau	23
2.4.3 Utilisation des eaux	24
2.5 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	27
2.5.1 Généralités	27
2.5.2 Site de l'Ecarpière	28
2.5.3 Site de La Baconnière	34
3 CADRE REGLEMENTAIRE	39
3.1 REGLEMENTATION EN VIGUEUR	39
3.1.1 Polices sectorielles	39
3.1.2 Polices transversales	47

3.1.3	Tableau de synthèse des polices applicables aux sites miniers	48
3.2	PLANS D' ACTIONS DE L' ETAT	49
3.2.1	Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR)	49
3.2.2	MIMAUSA	50
3.2.3	Circulaire du 22 juillet 2009 sur la gestion des anciennes mines d' uranium	50
4	EXPLOITATION MINIERE ET TRAITEMENT DES MINERAIS	53
4.1	LES METHODES D' EXPLOITATION	53
4.1.1	Les travaux de reconnaissance par petit chantier	53
4.1.2	Exploitation souterraine	53
4.1.3	Exploitation à ciel ouvert	54
4.2	LE TRAITEMENT DU MINERAI	55
4.2.1	Le traitement dynamique	57
4.2.2	Le traitement statique ou lixiviation	58
4.2.3	Le traitement des effluents pendant l' exploitation	59
5	PRESENTATION DES SITES MINIERS	61
5.1	GENERALITES	61
5.2	SITUATION REGLEMENTAIRE DES SITES ET INSTALLATIONS ARRETEES	63
5.2.1	Titres miniers	63
5.2.2	Situation administrative relative à la fermeture des sites	63
5.3	SITES MINIERS ET BASSINS VERSANTS	64
5.4	PRESENTATION DES SITES	65
5.4.1	Site de l' Ecarpière	65
5.4.2	Site de La Baconnière	69
5.4.3	Site de l' Anjouerie	71
5.4.4	Site de La Bonnière	72
5.4.5	Site du Retail	72
5.4.6	Site des Quatre-Chênes	74
6	RESIDUS ET DECHETS D' EXPLOITATION	75
6.1	LES STERILES MINIERS	75
6.1.1	Généralités – Teneurs en uranium	75
6.1.2	Caractérisation minéralogique et géochimique	76
6.1.3	Réaménagement des verses à stériles	77
6.1.4	Réutilisation particulière des stériles	78
6.2	LES RESIDUS DE TRAITEMENT DU MINERAI	79
6.2.1	Les résidus de traitement statique	80

6.2.1.1	Généralités et activités.....	80
6.2.1.2	Gestion des résidus de traitement statique	80
6.2.2	Les résidus de traitement dynamique	81
6.2.2.1	Généralités et activités.....	81
6.2.2.2	Gestion des résidus de traitement dynamique	83
6.3	LES PRODUITS DE DEMANTELEMENT.....	85
6.3.1	Origine des produits movimentés pendant le réaménagement	85
6.3.2	Démantèlement de l'usine SIMO de l'Ecarpière.....	86
6.3.3	Boues de station de traitement des eaux	86
7	EVALUATION DES IMPACTS EN TERME DE SECURITE PUBLIQUE.....	89
7.1	INTRODUCTION.....	89
7.2	LES RISQUES LIES AUX TRAVAUX MINIERES SOUTERRAINS.....	90
7.2.1	Les ouvrages de liaison fond-jour	91
7.2.2	Les infrastructures et chantiers souterrains.....	94
7.3	LES RISQUES LIES AUX MINES A CIEL OUVERT.....	99
7.4	LES RISQUES LIES AUX VERSES A STERILES.....	100
7.5	LES RISQUES LIES AUX DIGUES DE RETENUE DE STOCKAGE.....	100
8	EVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	103
8.1	IMPACT SUR LE VECTEUR EAU.....	103
8.1.1	Voies de contamination sur le milieu aquatique	103
8.1.2	Valeurs de référence « milieu naturel ».....	105
8.1.3	Analyse par bassin versant de l'impact réel sur le milieu aquatique.....	106
8.1.3.1	Site de La Bonnière	106
8.1.3.2	Site des Quatre-Chênes	107
8.1.3.3	Site du Retail	107
8.1.3.4	Site de l'Anjouerie.....	108
8.1.3.5	Site de La Baconnière.....	110
8.1.3.6	Site de L'Ecarpière	122
8.1.4	Bilan sur le milieu aquatique.....	136
8.2	IMPACT SUR LE VECTEUR AIR.....	139
8.2.1	Voies de contamination de l'air	139
8.2.2	Surveillance de la qualité radiologique de l'air	139
8.2.3	Résultats de la surveillance de la qualité de l'air.....	141
8.2.3.1	Site de l'Ecarpière.....	141
8.2.3.2	Site de la Baconnière.....	146

8.3	IMPACT SUR LA CHAÎNE ALIMENTAIRE ET LES SOLS	148
8.3.1	Voies de contamination de la chaîne alimentaire	148
8.3.2	Contrôles de la chaîne alimentaire.....	148
8.3.3	Résultats des contrôles de la chaîne alimentaire	149
9	EVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTÉE	151
9.1	PRINCIPES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES	151
9.2	RISQUES RADIOLOGIQUES	151
9.3	LA NOTION DE DOSE EFFICACE.....	152
9.4	MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTÉE DANS L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES SITES	153
9.4.1	Voies d'exposition à considérer	153
9.4.2	Détermination des groupes de références	154
9.4.3	Calcul de la dose efficace annuelle ajoutée	155
9.4.4	Résultats de la dose efficace annuelle ajoutée	156
9.4.4.1	Site de l'Ecarpière.....	156
9.4.4.2	Site de la Baconnière.....	162
9.4.4.3	Autres sites.....	163
10	MESURES PRISES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS.....	167
10.1	RÉDUCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR EAU	167
10.1.1	Le site de l'Ecarpière	167
10.1.2	Le site de La Baconnière	175
10.2	RÉDUCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR AIR.....	177
10.2.1	Les résidus de traitement.....	177
10.2.2	Les stériles miniers	180
11	CONCLUSIONS.....	185
11.1	CONCLUSIONS DE L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE ET PROPOSITIONS D'ACTI COMPLÉMENTAIRES A METTRE EN ŒUVRE	185
11.2	GESTION DES STÉRILES MINIERS	188
11.3	INFORMATION DU PUBLIC	190
	Références bibliographiques.....	191
	Liste des figures, annexes et plans.....	193
	Glossaire	195
	Sigles et abréviations.....	201

Généralités concernant la radioactivité

Quelques définitions concernant l'atome

La matière est constituée à partir d'atomes ou d'assemblages d'atomes (molécules...). Ceci est vrai à la fois pour le monde vivant et pour les objets inanimés (roches, air, eau...). Ces atomes, que l'on pensait, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, être les constituants élémentaires de la matière, peuvent être décomposés en deux parties :

- un noyau central qui est un assemblage de protons et de neutrons, l'ensemble de ces particules étant appelé nucléons
- un nuage périphérique d'électrons tournant autour de ce noyau

Les protons portent une charge électrique positive, les électrons une charge électrique négative et les neutrons ne portent pas de charge électrique. Dans leur état fondamental (état stable, donc de plus basse énergie), les atomes ont une charge électrique globale nulle ; ceci implique que les atomes à l'état fondamental possèdent autant de protons que d'électrons.

Un élément chimique est un ensemble d'atomes comportant le même nombre de protons (et donc le même nombre d'électrons). Les atomes d'un élément chimique peuvent cependant comporter des nombres différents de neutrons ; ils sont alors appelés isotopes de cet élément.

Exemple :

L'élément carbone, noté C, est caractérisé par un nombre de protons égal à 6. Naturellement, on observe trois isotopes particulièrement abondants pour cet élément : le carbone 12 contenant 6 neutrons (soit 12 nucléons), le carbone 13 contenant 7 neutrons (soit 13 nucléons) et le carbone 14 contenant 8 neutrons (soit 14 nucléons).

La radioactivité : un phénomène naturel

Deux interactions fondamentales sont à l'œuvre au sein des noyaux d'atomes : l'interaction forte (ou force nucléaire) et l'interaction électromagnétique.

La force électrique agit à longue distance, en attirant les particules de charge opposée et en repoussant les particules de même charge. Ainsi, cette force tend à éloigner les protons les uns des autres, au sein du noyau atomique (force déstabilisante).

En revanche, la force nucléaire agit à très courte distance en faisant fortement s'attirer les nucléons. Elle constitue donc une force stabilisante pour le noyau.

Pour des très courtes distances, l'interaction forte est beaucoup plus intense (100 à 1 000 fois plus) que la force électrique. Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont donc stables.

Cependant, certains atomes sont instables du fait d'un excès de protons ou de neutrons, voire des deux, qui rompt l'équilibre des interactions assurant la cohésion de leur noyau. Ils sont dits radioactifs et sont appelés radio-isotopes ou radionucléides.

Naturellement, ces noyaux d'atomes radioactifs tendent à retrouver un état d'équilibre. Ils se transforment alors spontanément en d'autres noyaux d'atomes, eux-mêmes radioactifs ou non. Cette transformation irréversible d'un atome en un autre atome est appelée désintégration et s'accompagne de l'émission de différents types de rayonnements.

On peut donc noter qu'un même élément chimique peut présenter à la fois des isotopes radioactifs et des isotopes non radioactifs.

Les différents types de désintégrations

- *Le rayonnement alpha* est émis par des atomes dont les noyaux possèdent un trop grand nombre de nucléons (neutrons et protons). Ils se transforment en un autre élément chimique dont le noyau est plus léger en émettant un noyau d'hélium (He), c'est-à-dire un noyau constitué de 2 protons et 2 neutrons. Ce rayonnement a une pénétration très faible dans l'air et est arrêté par une simple feuille de papier.
- *Le rayonnement bêta* résulte de l'instabilité des noyaux dont le nombre de protons ou de neutrons est en excès. Pour se stabiliser, le proton en surplus se transforme en neutron avec émission d'un positon (*rayonnement bêta plus*) ou bien le neutron en surplus se transforme en proton avec émission d'un électron (*rayonnement bêta moins*). Dans les deux cas, la désintégration implique une transformation de l'élément initial en un autre élément chimique. Les électrons du rayonnement bêta moins ont une pénétration faible dans l'air et sont arrêtés par une feuille d'aluminium de quelques millimètres d'épaisseur. Les positons du rayonnement bêta plus sont pratiquement absorbés sur place : ils fusionnent avec des électrons pour former deux photons gamma, ce qui ramène le problème au cas du rayonnement gamma.
- *Le rayonnement gamma* suit souvent une désintégration alpha ou bêta. Il provient d'une simple désexcitation du noyau nouvellement formé ; il s'agit d'une onde électromagnétique, de même nature que la lumière visible ou les rayons X, mais en plus énergétique. Ce rayonnement a une très grande pénétration et n'est arrêté que par une forte épaisseur de béton ou de plomb.

Ces trois types de rayonnements font partie des rayonnements ionisants car, du fait de leur haute énergie, ils sont capables d'arracher des électrons aux atomes des matières qu'ils traversent, formant ainsi des ions. Ils sont donc nocifs pour les organismes vivants.

Caractérisation d'une source radioactive

Une source radioactive peut être caractérisée à l'aide de trois paramètres :

- *son activité*, c'est-à-dire le nombre de noyaux radioactifs qui se désintègrent par unité de temps. Cette activité est liée au nombre de radionucléides initialement présents et s'exprime en becquerels noté Bq ; 1 Bq équivaut à une désintégration par seconde.

On a donc :

- 1 Bq = 1 désintégration par seconde
- 1 000 Bq = 1 kilobecquerel (1 kBq)
- 1 000 000 Bq = 1 mégabecquerel (1 MBq)
- $1 \cdot 10^9$ Bq = 1 gigabecquerel (1 GBq)
- $1 \cdot 10^{12}$ Bq = 1 térabecquerel (1 TBq)

- *sa période (ou demi-vie)*, c'est-à-dire la durée au bout de laquelle son activité a diminué de moitié. En effet, l'activité d'un échantillon radioactif diminue avec le temps du fait de la disparition progressive par désintégration des noyaux instables qu'il contenait initialement.

La période radioactive est une propriété intrinsèque des radionucléides et peut aller de quelques fractions de seconde (0,000164 seconde pour le polonium 214) à plusieurs milliards d'années (4,47 milliards d'années pour l'uranium 238).

- *l'énergie du ou des rayonnements qu'elle produit* et notamment l'énergie que ces rayonnements cèdent à la matière qu'ils traversent. La quantité de rayonnements absorbés (ou dose absorbée) par un organisme ou un objet est exprimée en gray noté Gy.

Une valeur de 1 Gy équivaut à un joule par kilogramme de matière irradiée. On utilise également le débit de dose absorbée qui correspond à la quantité d'énergie reçue par la matière irradiée par unité de masse et par unité de temps ; il s'exprime en gray par heure (noté Gy/h).

La notion d'activité

Mis à part le becquerel que nous avons déjà vu, il existe une autre unité plus ancienne permettant d'exprimer les valeurs d'activité : le Curie, noté Ci.

Une activité de 1 Curie représente l'activité d'un gramme de radium c'est-à-dire le nombre de noyaux contenus dans 1 gramme de radium 226 qui se désintègrent en 1 seconde.

Cette activité est beaucoup plus grande que le becquerel car, dans un gramme de radium, il se produit 37 milliards de désintégrations par seconde.

On a donc : $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$

Il est difficile de se représenter des valeurs aussi élevées. On peut donc user d'un exemple concret développé par l'ANDRA afin de mieux évaluer à quoi correspond une activité de 1 GBq.

Supposons que vous creusiez une excavation de la taille d'une piscine d'environ 4 m x 10 m x 2 m. Vous allez extraire un volume de terre d'environ 80 m³. Si votre terrain est situé en pays cristallin (granitique...), en Bretagne par exemple, il est probable que ces 80 m³ contiennent une radioactivité d'environ 1 GBq.

Cela signifie que ce volume de terre « émet » une radioactivité naturelle correspondant à un milliard de désintégrations par seconde (10⁹), due essentiellement aux éléments uranium, thorium, radium et potassium 40 qui rentrent dans la composition de cette terre.

Exemples de valeurs de radioactivité naturelle pour différents milieux

70 éléments parmi les 340 existant dans la nature présentent un (ou des) isotope(s) radioactif(s). Ils sont présents dans tout l'environnement, y compris dans le corps humain.

On peut ainsi estimer les valeurs moyennes d'activité naturellement associées à différents types de milieux (sources des données : ANDRA, CEA) :

Eau de pluie	0,5 Bq/l
Eau de mer	13 Bq/l
Eau minérale naturelle	2 à 6 Bq/l dont 0,01 à 0,9 Bq/l d'U238 et 0,02 à 1,8 Bq/l de Ra226
Terre	500 à 5 000 Bq/kg selon la nature du sol
Pomme de terre	150 Bq/kg
Lait	40 Bq/l
Poisson	100 Bq/kg
Corps humain	130 Bq/kg soit 8 000 à 10 000 Bq pour un adulte

1 PRESENTATION GENERALE DES ACTIVITES MINIERES ET INDUSTRIELLES DU MAINE-ET-LOIRE

1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le périmètre concerné par le présent bilan environnemental couvre l'ensemble des activités minières uranifères passées, sur le département du Maine-et-Loire (cf. plan n°1). Ces activités sont présentes principalement au Sud-Ouest du département et concernent les communes figurant dans le tableau suivant :

Communes	Sites concernés
Saint-Crespin-sur-Moine	L'Ecarpière*
Montfaucon – Montigné-sur-Moine	La Baconnière
Torfou	
Roussay	
La Romagne	l'Anjouerie
Saint-Christophe-du-Bois	La Bonnière et Le Retail
	Quatre-Chênes

* La majeure partie du site de l'Ecarpière est située en Loire-Atlantique, sur la commune de Gétigné.

Le département du Maine-et Loire comporte 6 sites d'extraction de minerai d'uranium, dont l'un est une ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) : l'Ecarpière. Ce site est une ancienne usine de traitement accompagnée d'un stockage de résidus de traitement d'uranium et de produits de démolition.

1.2 HISTORIQUE [1]

Le département du Maine-et-Loire a vu l'exploitation, de 1952 à 1990, d'un ensemble de gisements uranifères granitiques qui ont produit 4 963 tonnes d'uranium métal à partir de 5 985 722 tonnes de minerai d'une teneur moyenne de 0,83 ‰ (0,83 kg d'uranium par tonne).

En 1945, le Général de Gaulle créa le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA). La prospection des zones granitiques des régions de l'Ouest de la France commença en 1950, avec la création de la Mission Volante de Vendée-Bretagne (M.V.V.B). En 1952, le premier indice important de la région fut découvert à l'Ecarpière. Cette même année, un travers-banc fut creusé pour reconnaître plus précisément ce gisement qui devint l'un des plus importants de la région des Pays de la Loire.

La Division Minière de Vendée fut créée en 1954. Suite à la découverte de nombreux gisements dans la région, le projet d'implantation d'une usine de traitement à l'Ecarpière fut confié à la Société Industrielle des Minerais de l'Ouest (SIMO), société créée par le CEA et les Etablissements Kuhlmann. La construction de l'usine commença en 1956, et les premières tonnes de minerais furent traitées dès 1957.

Au cours des années 60, d'importantes campagnes de prospection furent lancées dans le secteur Roussay et La Romagne : réalisation de plans-compteurs et de sondages, visant à affiner les premiers relevés d'indices minéralisés découverts à la fin des années 50. Les résultats encourageants mirent ainsi en évidence les principaux gisements d'uranium, qui furent ensuite exploités, à partir de 1974, dans le département du Maine-et-Loire.

En 1976, la COmpagnie GENérale des MATières nucléaires (COGEMA) succéda au CEA dans le secteur des mines uranifères.

A partir de 1980, la chute du cours de l'uranium entraîna progressivement la fermeture des sites miniers du département. En février 1990, la production de la mine de l'Ecarpière, jusqu'alors encore en activité, fut arrêtée.

La Division Minière de la Vendée ferma en 1991. Les réaménagements furent réalisés par la « Section Gérée de Vendée », c'est-à-dire par le personnel de l'ancienne Division de Vendée, géré administrativement par la Division Minière de la Crouzille (Limousin).

Depuis 2005, le suivi environnemental des sites est assuré par AREVA, au travers de la Direction de l'Après-Mines (DAM), situé à Bessines-sur-Gartempe (87).

2 PRESENTATION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT DES SITES

2.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE [1]

Le contexte géologique régional s'inscrit dans l'histoire du Massif Armoricain et plus particulièrement à sa partie sud-est. Les différents massifs granitiques, renfermant les minéralisations uranifères visées par ce bilan environnemental, sont liés à la mise en place de trois domaines (cf. carte géologique régionale en annexe 5.1) :

- le domaine de l'Anticlinal de Cornouaille, présent au Sud de la Bretagne et se prolongeant selon un axe NW-SE jusque dans la région des Pays de la Loire.
- le domaine Ligérien présent au Nord de l'Anticlinal de Cornouaille.
- et le domaine Ouest Vendéen, situé au Sud de l'Anticlinal de Cornouaille.

La structure actuelle de ces trois domaines s'est mise en place il y a environ 300 – 350 millions d'années, lors de la rencontre entre les plaques tectoniques Aquitaine et Armorique, qui entraîna la mise en place de grandes failles de cisaillement. La plus importante de ces failles sépare le domaine Ligérien et celui de l'Anticlinal de Cornouaille. Cette faille à décrochement dextre est appelée « zone broyée sud-armoricaine » (ZBSA).

C'est également à cette époque que se sont mis en place différents massifs ou batholites granitiques comme le batholite de Mortagne, situé en bordure nord de la ZBSA dans le domaine Ligérien.

2.1.1 Géologie des terrains uranifères [2]

Les principaux indices uranifères exploités, et visés par ce bilan environnemental, sont répartis au sein de trois formations principales :

- le batholite granitique de Mortagne,
- la formation de la Tessouale,
- le massif granitique de Château-Thébaud (également appelé massif granitique de Roussay).

Le batholite granitique de Mortagne (annexes 5.2 et 5.4) :

Quatre sites sont localisés au sein de ce batholite : L'Ecarpière au Nord, à bordure du contact avec les micaschistes des Mauges et les sites de La Bonnière, Le Retail et Quatre-Chênes, à l'Ouest du batholite. Il est constitué par un granite rose clair porphyroïde à gros grains, contenant de la biotite et de la muscovite. Les contacts entre le batholite de Mortagne et les terrains encaissants situés au Nord sont faillés et mylonitisés.

La formation de la Tessouale (annexe 5.3) :

Deux sites (La Baconnière et L'Anjouerie) sont localisés au sein de cette formation, constituée de gneiss quartzo-feldspathiques à biotite, de teinte gris-bleuté, finement grenu et d'aspect rubané à l'échelle centimétrique. Le contact entre la formation de la Tessouale et le batholithe granitique de Mortagne est souligné par la présence de mylonites intégrées dans les gneiss.

Le massif granitique de Château-Thébaud (annexe 5.3) :

Seul le site de La Baconnière, et plus précisément les fosses n°1 et 2, est localisé au sein de ce massif, constitué de granodiorites, de teinte grise, et à faciès grenu.

2.1.2 Tectonique [1] et [2]

Les principales structures faillées de la région sont liées à la mise en place de la ZBSA (Zone Broyée Sud-Armoricaine). Cette faille majeure à décrochement senestre, orientée NW-SE, a engendré la création de plusieurs failles conjuguées orientées E-W, comme la faille de Cholet-Izernay.

Dans la région du batholite de Mortagne, la mise en place de la faille de Cholet-Izernay, également appelée « faille de la Moine », s'est accompagnée de la formation d'une zone mylonitisée. Cette faille majeure est localisée en bordure Nord du site de l'Ecarpière et en bordure Sud des sites de La Baconnière et l'Anjouerie (cf. annexes 5.2 et 5.4).

Au niveau du site de l'Ecarpière, une autre série de failles, de direction N-S à NW-SE et à fort pendage ouest sont également présentes. D'Ouest en Est, ces failles ont été nommées : faille de Hautegente, faille de la Baudrière et faille des Forges.

La formation de la Tessouale dans laquelle se sont développés les gisements de la Baconnière et l'Anjouerie, est également encadrée au Nord par une faille orientée E-W, la séparant du massif granitique de Château-Thébaud.

2.1.3 Caractéristiques des minéralisations

Les caractéristiques des minéralisations et gisements rencontrés sur les différents sites sont présentés dans le tableau ci-après.

Terrains encaissants	Sites miniers	Caractéristiques des minéralisations et des gisements
Batholite granitique de Mortagne	L'Ecarpière	<p>Le gisement s'étend sur près de 3 km (entre le hameau de la Mortière à l'Est et celui du Tail à l'Ouest) et est localisé en bordure sud de la faille de la Moine, le long de laquelle le granite est mylonitisé. La majorité des filons exploités est contenue dans le granite de Mortagne, mais ces filons peuvent déborder dans le gneiss encaissant (visible en surface au Nord de la Moine). L'ensemble de ces filons ont été exploités sur 6 quartiers : Mortière, Ecarpière, Braudière, Hautegente, Fromont et Tail.</p> <p>Minéralisation constituée de pechblende et de produits noirs, très souvent accompagnée de fluorine, de pyrite et de marcassite.</p>
	La Bonnière	<p>La minéralisation (produits secondaires : chalcopite, autunite, gummites – en dessous de la zone d'altération : produits noirs et pechblende) est liée à une formation bréchique argileuse et orientée N155°E, subverticale et recoupée par des failles transverses N60° à N80°E.</p>
	Le Retail	<p>La minéralisation (autunite, produits noirs et pechblende) est liée à de fines fractures dans des brèches quartzo-feldspathiques orientées N110°E, à pendage 80°S.</p>
	Quatre-Chênes	<p>La minéralisation est localisée à une intersection entre la structure du site de la Bonnière, orientée SE-NW, et une structure orientée N-S.</p>
Formation de Tessouale (gneiss) et massif granitique de Château-Thébaud	La Baconnière	<p>La minéralisation de type filonien (pechblende et parfois coffinite) est localisée au sein d'un réseau faillé orienté NW - SE (N120 à N160°E à pendage 50 à 70°S) accompagné des failles secondaires (N70 à N80°E à pendage 70°S).</p>
	L'Anjouerie	<p><u>MCO Anjouerie Ouest</u> : les filons minéralisés se sont développés au sein d'une structure faillée orientée N60°E à pendage 80°SE accompagnée de nombreuses failles en relais, d'orientation N30°E à N80°E.</p> <p><u>MCO Anjouerie Centre</u> : la structure minéralisée est orientée N160°E à pendage 60°S.</p> <p><u>MCO Couraillère</u> : la minéralisation est liée à une structure faillée orientée N60°E à pendage 75°S, au contact entre le gneiss et les mylonites de contact avec le granite de Mortagne.</p> <p>Minéralisation constituée de pechblende et de produits noirs.</p>

2.1.4 Fond radiologique régional

Les visites de terrain de 2011 ont permis d'évaluer le fond radiométrique naturel, qui est lié aux différenciations pétrographiques des terrains.

Dans le Maine-et-Loire, pour les secteurs visés par une ancienne exploitation uranifère, l'ordre de grandeur du fond radiométrique est 80 à 120 chocs/seconde SPP γ , quelque soit la nature des terrains encaissants (granite de Mortagne, granite de Château-Thébaud et gneiss de la Tessouale).

2.2 ENVIRONNEMENTS PAYSAGERS ET DEMOGRAPHIQUES

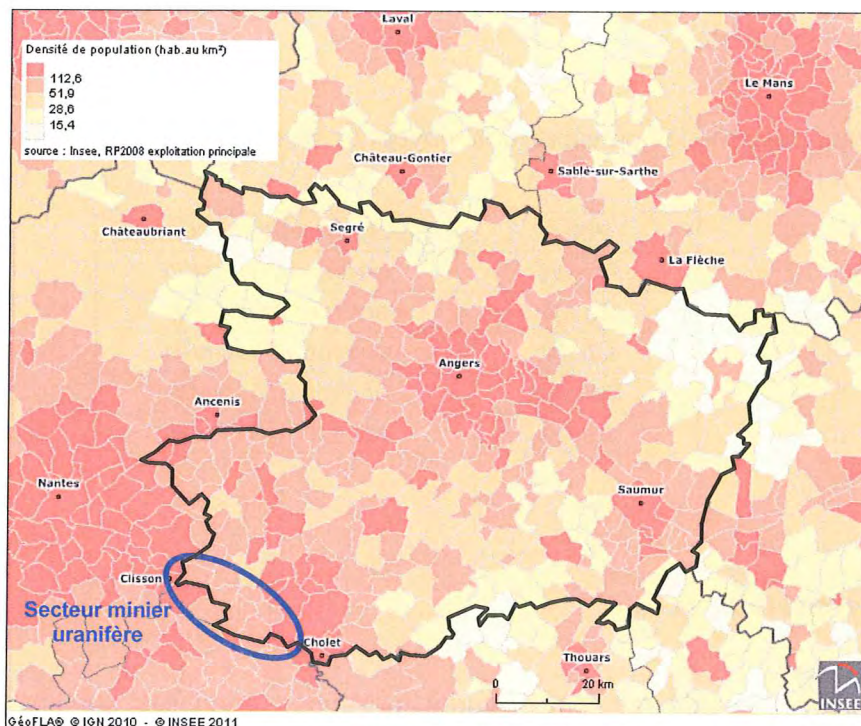
2.2.1 Relief et paysage à l'échelle départementale [3]

La figure 1 présente le relief et les paysages du Maine-et-Loire. Le département est composé de quatre ensembles paysagers principaux :

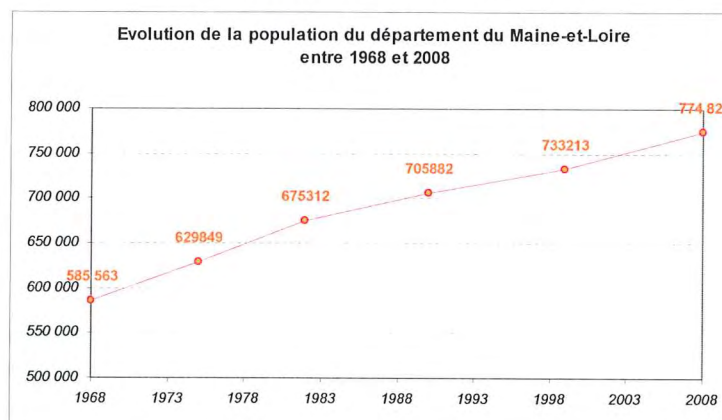
- **Le Segréen**, qui correspond au quart Nord-Ouest du département et qui est limité à l'Est par la rivière La Mayenne. Le relief est légèrement vallonné et les paysages rencontrés sont de type bocage, où se pratique une agriculture dédiée majoritairement à l'élevage bovin et à la polyculture. Par le passé, le segréen a également connu une activité minière importante (mines de fer et d'ardoises).
- **Les Mauges**, aussi appelées Anjou Noire, correspondent au quart Sud-Ouest du département sont limitées à l'Est par la vallée du Layon. Les Mauges présentent un réseau hydrographique dense qui a modelé le relief en formant des vallées relativement encaissées. Le paysage est également de type bocage avec une agriculture tournée vers l'élevage bovin et la polyculture. La viticulture est également présente à l'Ouest des Mauges et dans la vallée du Layon.
- **Le Saumurois**, est délimité au Nord par la rivière l'Authion et à l'Ouest par le Layon. Il correspond à un paysage de plaines dont les terrains sont principalement dédiés aux cultures céréalières et aux vignobles, avec la présence de quelques bois et massifs forestiers.
- **Le Baugeois**, correspond au quart Nord-Est du département. Près d'un quart de sa surface est occupé par des forêts. Sa partie nord et nord-est présente un relief plus plat et destiné à des cultures céréalières tandis que la partie ouest présente un relief plus vallonné et constitué de coteaux qui dominent les vallées de la Loire et de l'Authion.

2.2.2 Démographie du département [4]

La carte ci-dessous présente la densité de population par commune, sur l'ensemble du département du Maine-et-Loire :



Globalement, les communes les plus peuplées sont situées autour des principales villes (Angers, Saumur, Cholet et Segré) et dans le quart sud-ouest du département du fait de la proximité de Nantes. La population du département du Maine-et-Loire comptait 774 823 habitants en 2008. La population augmente régulièrement depuis 1968, comme le montre le graphique suivant :



2.3 CONTEXTE CLIMATIQUE [5]

Le département du Maine-et-Loire possède un climat tempéré de transition entre le climat océanique de part la présence de la côte Atlantique à l'Ouest et un climat semi-continentale (climat tempéré de la Touraine).

2.3.1 Pluviométrie

Le tableau suivant présente les précipitations moyennes des principales villes du département :

Villes	Précipitations moyennes
Angers	environ 630 mm/an
Baugé	environ 650 mm/an
Cholet	environ 740 mm/an
Saumur	environ 570 mm/an
Segré	environ 670 mm/an

2.3.2 Températures

Le tableau suivant présente les températures moyennes annuelles sur les principales villes du département :

Villes	Températures moyennes
Angers	11,8°C
Cholet	10,9°C
Saumur	11,8°C
Ensemble du département	11,3°C

2.3.3 Vents

Le département du Maine-et-Loire est soumis à des vents dominants d'ouest liés aux dépressions cyclonales de l'Océan Atlantique. Leur direction est généralement de nord, nord-ouest et d'ouest. Les vents de sud-ouest et nord-est sont plutôt rares.

Dans le secteur des sites miniers uranifères (mesures effectuées près de Clisson en Loire-Atlantique), près de 30 % des vents présente une vitesse inférieure à 2 m/s. Ils possèdent deux directions prépondérantes :

- SSW à WNW pour 33 % du temps,
- NE à SE pour 21 % du temps.

Les vents forts, de vitesse supérieure ou égale à 10 m/s, se produisent sur une période de très courte durée (mois de 2% du temps) et leur direction est SW à WNW.

2.4 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

2.4.1 Bassins versants

Les gisements uranifères exploités en Maine-et-Loire sont localisés sur un seul bassin versant : celui de la rivière La Moine (cf. figure 2), affluent de La Sèvre Nantaise.

Le bassin versant de la Moine possède une superficie totale d'environ 390 km². Le tronçon de la Moine visé par les anciennes exploitations uranifères, traverse, de l'amont vers l'aval, les communes de Saint-Christophe-du-Bois, La Romagne, Roussay, Montfaucon-Montigné, Saint-Germain-sur-Moine et Saint-Crespin-sur-Moine.

Ce tronçon, d'une longueur d'environ 31 km, est alimenté par plusieurs ruisseaux dont :

- le ruisseau de la Bégaudière, dont le bassin versant englobe les sites miniers de la Bonnière, Le Retail et Quatre-Chênes.
- le ruisseau de l'Ergulière, dont le bassin versant comporte le site de l'Anjouerie.
- le ruisseau de la Baconnière, qui prend sa source à proximité immédiate du site minier du même nom.

Seul le site de l'Ecarpière possède un rejet direct dans la rivière La Moine, qui elle-même longe le site sur environ 3,5 km.

2.4.2 Débits des cours d'eau

Les données sur l'écoulement des cours d'eau sont fournies par des mesures de débits effectuées par des stations hydrométriques. Sur le secteur concerné par les exploitations minières, seule la rivière La Moine possède une station de mesures [6].

Les valeurs des paramètres caractéristiques des débits, sont présentées dans le tableau suivant :

Bassin versant	Localisation	Surface du BV km ²	Débits moyens m ³ /s	Débits d'étiage		Crues		Débits maxi journaliers m ³ /s	Débits maxi instantanés m ³ /s
				QMNA2 m ³ /s	QMNA5 m ³ /s	QIX biennal m ³ /s	QIX décennal m ³ /s		
La Moine	Cholet	178	1,36	0,42	0,30	22	38	33,7*	41,7*
	Roussay	292	2,19	0,48	0,35	39	75	60,10	124*
	Saint-Crespin-sur - Moine	373	3,15	0,56	0,37	55	110	95,1	120

* valeur estimée (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine.

Ces paramètres sont variables et propres à chaque cours d'eau. Ils sont à mettre en relation avec :

- le relief environnant (monts, plateaux, plaines, embouchure,...),
- le couvert végétal (forêts, prairies, ...),
- le régime d'écoulement du cours d'eau,
- la pluviométrie (elle-même liée au relief),
- l'atténuation des débits due aux nappes superficielles.

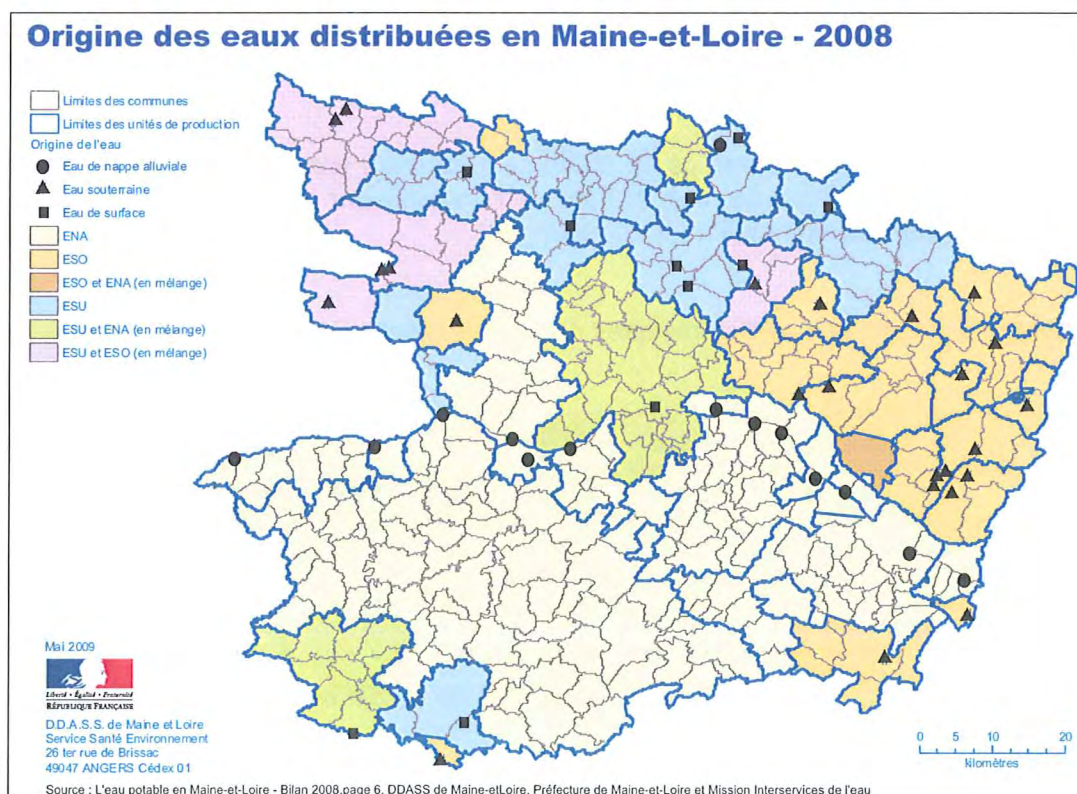
2.4.3 Utilisation des eaux

Barrages et production d'hydroélectricité

Pour les cours d'eau concernés par ce bilan environnemental, il n'existe aucun barrage, avec production d'hydroélectricité ou non, en aval des sites miniers.

Alimentation en eau potable [7]

En Maine-et-Loire, il existe 102 captages d'alimentation en eau potable répartis sur 53 sites de pompages. La production d'eau potable se fait majoritairement par les eaux superficielles (41%) et la nappe alluviale de la Loire (47%), les nappes souterraines (12%) du département étant plus vulnérables aux pollutions et offrant des débits peu importants. La carte suivante présente l'origine de l'eau potable sur le département en fonction des communes :



Un positionnement précis de ces captages AEP par rapport aux sites miniers uranifères du département (amont ou aval hydraulique, emprise du champ captant,...) sera réalisé en collaboration avec l'ARS du Maine-et-Loire (anciennement DDASS).

Irrigation [8]

L'irrigation consomme environ 53 millions de m³ d'eau par an dans le département. La répartition des prélèvements est la suivante :

Origine des prélèvements	Pourcentage sur l'ensemble du département
Réserves d'irrigation déconnectées du milieu (en particulier en période d'étiage)	40 %
Prélèvements en rivière	5 %
Eaux souterraines	55 %

Remarque : L'eau des mines à ciel ouvert « Couraillère » (site de l'Anjouerie) et du Rétail est utilisée à des fins d'irrigation par les propriétaires et/ou locataires actuels des sites. La lettre DRIRE du 03/11/1992 actant de la déclaration de délaissement de la MCO Couraillère, et l'arrêté préfectoral D3- 96 n°492 du 13/05/1996, actant de la déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers du Rétail, ne mentionnent aucune servitude relative à d'éventuel pompage sur le site.

Le tourisme et les loisirs [8]

Le département du Maine-et-Loire bénéficie d'un réseau hydrographique dense qui lui confère un tourisme orienté vers les domaines de l'eau. La présence de la Loire, classée au patrimoine mondiale de l'UNESCO, mais aussi d'autres cours d'eau comme Le Louet, La Sarthe, Le Thouet, Le Loir ou La Mayenne permettent la pratique de loisirs tels que la pêche, les bateaux-promenades, la baignade et de sports nautiques comme le canoë, le kayak, l'aviron,....

De part sa diversité des paysages rencontrés, l'Anjou offre également un grand nombre de circuits de randonnées pédestres, à cheval ou VTT... (Circuits du bord de Loire, route du vignoble, GR3 des châteaux, chemin de Compostelle...).

La capacité d'hébergement touristique du département du Maine-et-Loire comprend principalement :

- des résidences secondaires,
- des locations de vacances (meublés, gîtes d'étapes),
- des établissements destinés à des séjours de courte durée (hôtel de tourisme et chambres d'hôtes),
- des terrains de camping.

Les SDAGE et les SAGE [9]

Les bassins versants, concernés par ce bilan environnemental, appartiennent au bassin Loire-Bretagne, qui est soumis à un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Les orientations fondamentales et les dispositions du SDAGE 2010-2015 sont :

- Repenser les aménagements de cours d'eau
- Réduire la pollution par les nitrates
- Réduire la pollution organique
- Maîtriser la pollution par les pesticides
- Maîtriser les pollutions dues aux substances dangereuses
- Protéger la santé en protégeant l'environnement
- Maîtriser les prélèvements d'eau
- Préserver les zones humides et la biodiversité
- Rouvrir les rivières aux poissons migrateurs
- Préserver le littoral
- Préserver les têtes de bassin versant
- Réduire le risque d'inondations par les cours d'eau
- Renforcer la cohérence des territoires et des politiques publiques
- Mettre en place des outils réglementaires et financiers
- Informer, sensibiliser, favoriser les échanges

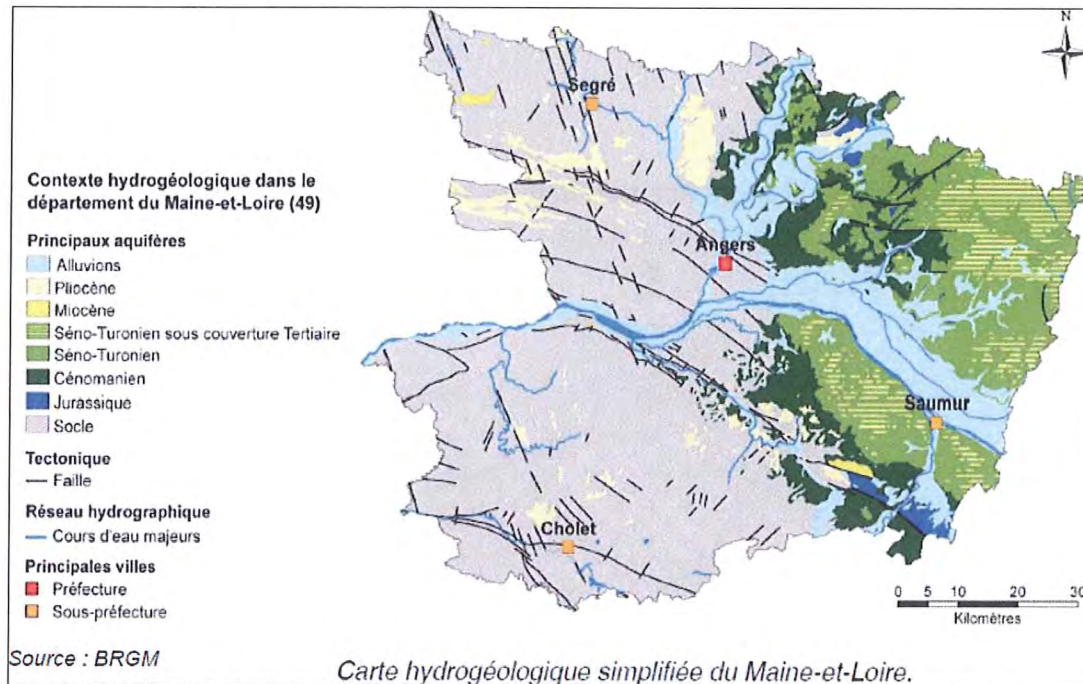
De plus, sur l'ensemble du département, il existe des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), dont les objectifs sont en adéquation avec le SDAGE Loire-Bretagne. Le secteur visé par le présent bilan environnemental est intégré au SAGE « Sèvre Nantaise » (Etat d'avancement au 31/12/2011 : en première révision), dont les principaux objectifs sont les suivants :

- *« reconquérir la qualité de l'eau brute par la maîtrise des rejets ponctuels et des pollutions diffuses ;*
- *maintenir, préserver, développer la diversité de la ressource en eau (qualité, quantité, continuité hydraulique) ;*
- *maintenir, préserver, développer la diversité des milieux aquatiques, du patrimoine biologique et du patrimoine bâti et historique lié à l'eau ;*
- *sensibiliser, informer, former et responsabiliser ;*
- *prévenir et gérer les risques d'inondations ;*
- *favoriser la concertation autour des sites touristiques (équilibre entre les différents usages). »*

2.5 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

2.5.1 Généralités

Les aquifères sont liés à la nature même du sol et du sous-sol. La carte suivante présente le contexte hydrogéologique du département :



Dans le département du Maine-et-Loire, il existe trois ensembles d'aquifères distincts [8] :

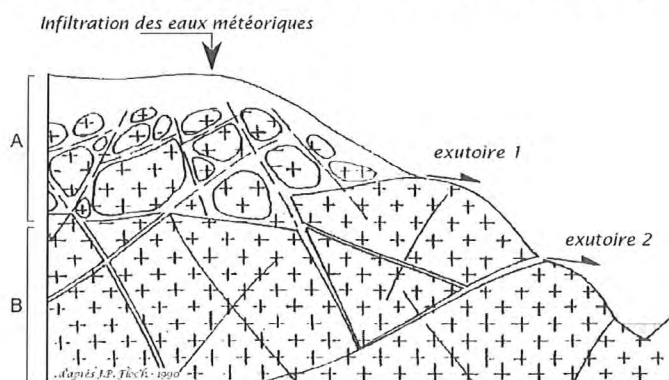
- **Les formations sédimentaires appartenant à la bordure du Bassin parisien**, situées à l'Est du département, et constituant des aquifères intéressants à l'échelle du Maine-et-Loire (principalement dans le Cénomaniens)
- **Les alluvions de la Loire**, localisées dans l'axe central du département, et formant un aquifère constitué de sables et graviers, à forte perméabilité et dont le fonctionnement est largement dépendant du régime de la Loire.
- **Les terrains du Massif armoricain**, situés dans la partie Ouest du département, constituant des aquifères fissurés dits de socle avec des ressources en eau limitées.

Le secteur concerné par les sites miniers uranifères correspond à des roches cristallines (socle) ne comportant que de petites réserves dans les zones altérées et fissurées.

En effet, au sein de ces roches, deux types d'aquifères peuvent être rencontrés :

- les aquifères superficiels [A], dans la zone arénisée, dont l'épaisseur peut dépasser une dizaine de mètres sur les plateaux, où les eaux vont s'accumuler. Ces aquifères constituent des « poches » au niveau des interfluves, appelées « nappes d'arènes ». Elles sont souvent isolées et d'extension limitée, exploitées par des puits fermiers creusés jusqu'au substratum rocheux.
- les aquifères profonds [B], où, à la faveur de fractures plus ou moins ouvertes, ou dans le cas de l'environnement de chantiers souterrains, l'eau peut s'accumuler par gravité et constituer des réserves en général peu productrices.

Ces deux types d'aquifères peuvent être schématisés de la manière suivante :



A : Aquifère superficiel - B : Aquifère profond

En théorie, on va donc observer, au-dessous de la nappe perchée superficielle, un aquifère profond discontinu où l'eau s'accumule par gravité dans les fractures ouvertes. Dans le milieu naturel, les exutoires de ce système se situent à deux niveaux (cf. schéma précédent) :

- sur les versants de vallons, c'est à dire au point de rencontre de l'interface — nappe perchée - substratum sain – topographie (exutoire 1) ;
- à l'intersection d'une fracture profonde drainante, de la surface libre de l'aquifère et de la topographie (exutoire 2).

2.5.2 Site de l'Ecarpière

Dans le cadre des travaux de réaménagement du site de l'Ecarpière, il a été demandé au BRGM, la réalisation d'une étude hydrogéologique sur l'ensemble du site minier - stockage de résidus de traitement du minerai compris (janvier 1992).

Les objectifs de cette étude sont de :

- déterminer les conditions de circulation des eaux souterraines au droit du site et leur relation avec les eaux superficielles ;
- évaluer l'étanchéité des bassins de stockage de résidus de traitement ;
- évaluer l'incidence de la remontée des eaux des travaux miniers souterrains après l'arrêt du pompage.

La méthodologie employée comprend quatre parties :

- « **une description qualitative de l'hydrogéologie** du site non influencée par les travaux miniers, la nappe retrouve son régime permanent d'équilibre après l'arrêt de l'exploitation minière.
- **un modèle hydrologique global** permettant de calculer l'alimentation de la nappe superficielle à partir de la pluie.
- **une analyse des historiques d'exhaure et de rejet** en fonction des composantes de l'écoulement afin de déterminer l'influence des bassins d'épandages (NDLR : stockage de résidus de traitement).
- **un modèle hydrodynamique** dont le but est de démontrer que le bilan des écoulements de la zone influencée par les travaux miniers suffit ou non à expliquer les débits d'exhaure mesurés et la remontée d'eau observée après l'arrêt de l'exploitation. [...] »

DESCRIPTION QUALITATIVE DE L'HYDROGEOLOGIE DU SITE

L'étude du BRGM rappelle les caractéristiques hydrogéologiques des terrains du site minier et des spécificités du système hydrogéologique, qui ont été observées pendant l'exploitation :

- L'arène granitique, présente au dessus du granite sain, est argileuse et peu perméable. Les puits fermiers localisés dans l'environnement du site n'ont pas été visiblement influencés au cours de l'exploitation minière.

Sous les arènes peu épaisses, le granite sain fissuré est relativement plus perméable que l'arène de surface.

Il n'existe pas de perte d'eau significative par infiltration souterraine : de nombreuses mares quasi-permanentes montrent la faible perméabilité de l'arène granitique.

- La rivière La Moine a creusé une vallée de type incisif du fait de la présence d'une faille majeure sous son lit, les autres cours d'eau marquent moins le paysage.

Sa nappe alluviale est sans relation directe avec les eaux profondes circulant dans le réseau de fractures ouvertes recoupées par les travaux miniers souterrains.

Le système hydrogéologique de surface n'a pas été affecté par les travaux souterrains.

- Le site présente de faibles pentes et un réseau de drainage moyennement développé.

- Avant la mise en exploitation de la mine, la majeure partie de la pluie efficace (pluie totale ôtée de l'évapotranspiration) était drainée par le ruisseau de l'Ecarpière (situé à l'emplacement actuel du stockage) et rejoignait La Moine. La partie infiltrée devait rester dans la nappe superficielle sauf localement où le manque d'arène rendait possible l'infiltration directe dans le granite sain fissuré.
- En surface, le système hydrogéologique initial a été modifié par l'implantation du stockage de résidus, d'une surface totale d'environ 72 ha, à l'emplacement de l'ancien ruisseau de l'Ecarpière. Les dépôts de fines, de limons alluviaux et l'arène granitique sous-jacente rendent le soubassement du stockage quasi-imperméable ($K \approx 10^{-10}$ m/s – coefficient déterminé en laboratoire).
- Au cours de l'exploitation des travaux miniers souterrains, les eaux souterraines ont été rabattues par pompage jusqu'à 520 mètres de profondeur. L'arrêt de l'exploitation a conduit à un retour à l'équilibre du niveau piézométrique jusqu'à une côte supérieure au niveau de la Moine, c'est-à-dire proche de la surface, mais les eaux profondes restant séparées des eaux contenues dans les nappes d'arènes.

MODELISATION DE LA REALIMENTATION DE LA NAPPE SUPERFICIELLE PAR LES PLUIES

L'outil de calcul utilisé par le BRGM est le programme « GARDENIA » qui permet, après calage du modèle, de « *simuler des infiltrations vers la nappe à partir d'une série quelconque d'années de pluviométrie connues et de reproduire les variations interannuelles de la piézométrie ou du débit en fonction des variations climatologiques.* »

Les données d'entrées sont présentées dans le tableau suivant :

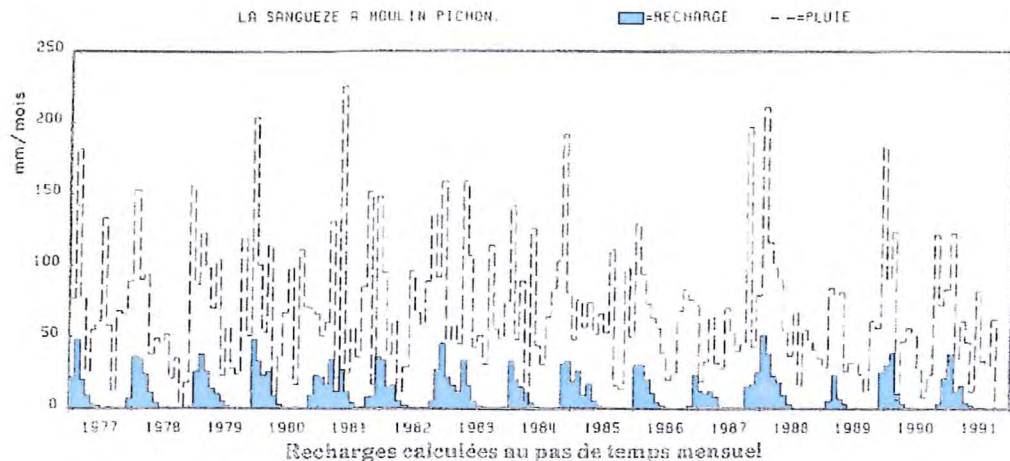
	Stations de mesures la plus proche du site	Plage de données utilisée pour la modélisation
Pluie	La Haie Fouassière située à 16 km à l'Ouest de l'Ecarpière	Série journalière sur 17 ans (1975 à 1991)
Evapotranspiration potentielle (ETP) (mesures de l'insolation et de la température)	Nantes	Série décadaire continue de 1975 à 1991
Débits	Moulin Pichon à Tillières sur la rivière Sanguèze (rivière possédant un contexte hydrogéologique comparable à celui de la Moine)	Débits journaliers de 1982 à 1989

Le calage du modèle hydrologique comporte deux parties :

- la fonction « production », déterminant la quantité d'eau apportée au modèle et la quantité évaporée ou infiltrée.
- la fonction « transfert », déterminant quand l'eau qui n'a pas été évapotranspirée, ressortira à l'exutoire du bassin versant (ruissellement) ou arrivera à la nappe (recharge).

Le calage du modèle hydrologique est obtenu par comparaison des débits simulés avec les débits observés : il est d'assez bonne qualité (coefficient d'ajustement = 0,906).

Le graphique suivant présente les recharges calculées au pas de temps mensuels :



Il met en évidence :

« Les précipitations moyennes pour la période 1975-1990 sont de 803 mm à la Haie Fouassière et la recharge moyenne calculée sur la même période est de 121 mm soit 15 % d'infiltration à la nappe par rapport à la pluie totale.

La part de l'infiltration par rapport à la pluie totale diminue lors des années déficitaires en pluie : 9 % en 1989 soit 63 mm pour des précipitations de 694 mm et à l'inverse une année excédentaire en pluie accroît l'importance de la recharge : 18 % en 1981 soit 178 mm pour 1000 mm de pluie. Si les précipitations sont trop faibles, la reconstitution de la réserve du sol utilise une part importante de la hauteur d'eau tombée. »

Concernant la représentativité des résultats, l'étude du BRGM mentionne : « Le calcul de la recharge est bien représentatif de la situation sur le site de l'Ecarpière ; les différentes hypothèses prise en comptes sur la lithologie, la superficie du bassin versant, la climatologie et l'historique des mesures, sont transposable du site du Moulin Pichon à celui de la mine. »

ANALYSE DES DEBITS D'EXHAURE ET DES REJETS DU SITE

Cette analyse a consisté en une comparaison des débits d'exhaure et les rejets de la mine, **pendant l'exploitation**. Le tableau suivant présente les données d'entrées :

	Périodes	Fréquence des mesures	Moyenne en m ³ /h	Remarques
Débits d'exhaure	01/1977 à 12/1979	Mensuelle	243	Les débits d'exhaure augmentent au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux miniers souterrains
	01/1987 à 08/1989	Mensuelle	301	
Rejets de la mine	01/1977 à 12/1979	Quotidienne	227	Les bassins du stockage recevaient les eaux d'exhaure minière et les précipitations. Une partie de l'eau est directement évaporée : avec une ETP moyenne de 788 mm/an sur 72 ha le débit moyen évaporé est 65 m ³ /h. En été, le débit moyen évaporé est 120 m ³ /h avec une ETP moyenne égale à 120 mm/an.
	01/1987 à 12/1989	Quotidienne	252	

L'analyse a donc montré que :

- les rejets sont généralement bien inférieurs à l'exhaure sauf pendant les périodes de plus fortes précipitations.
- la différence entre les débits rejetés et les débits d'exhaure s'explique par « l'évaporation sur les bassins d'épandage sans avoir besoin de faire intervenir une réinfiltration de l'eau, le fond des bassins étant quasi-étanches ».

BILAN HYDROGEOLOGIQUE DES ECOULEMENTS DANS LA MINE : DEFINITION D'UN MODELE HYDRODYNAMIQUE

Le BRGM a modélisé le comportement hydrodynamique du système aquifère de la mine en le représentant à l'aide modèle tridimensionnel aux différences finies dans le logiciel « MARTHE », développé par le BGRM. Ce logiciel permet la réalisation de « *calculs en régime permanent ou transitoire dans les milieux poreux ou assimilés. Le maillage est constitué de rectangles de dimensions variables, avec éventuellement des liaisons étanches et des zones équipotentielles (galeries, gravières...). Il est possible de calculer les écoulements dans les aquifères en nappe libre ou captive, avec débordement éventuel et de déterminer les surfaces libres. Les conditions aux limites peuvent être : un potentiel imposé (niveau d'un cours d'eau...), une limite étanche, une cote de débordement.* »

La figure 3 présente l'emprise du maillage du modèle hydrodynamique en surface (réseau de mailles irrégulières de 3 km en Est-Ouest représentant l'extension des travaux miniers souterrains et de 3 km en Nord-Sud pour atteindre la ligne de partage des eaux entre le bassin de la Moine et celui de la Sèvre Nantaise).

« Pour représenter les différents niveaux de galeries, il a été défini 15 couches de mailles de 0 à -520 mètres. Les galeries sont considérées comme des zones équipotentielles à très fort emmagasinement de manière à obtenir un volume des vides correspondant à celui estimé par la COGEMA, soit environ 1 300 000 m³ au total. »

Les paramètres hydrodynamiques, basés sur les caractéristiques lithologiques des formations et des observations effectuées durant l'exploitation de la mine, sont les suivants :

	Perméabilité K	Emmagasinement S
Arènes	1.10^{-9} m/s	2.10^{-4}
Granite	$2,5.10^{-8}$ m/s	5.10^{-5}

Les autres hypothèses de calculs sont présentées dans le tableau suivant :

Piézométrie	La vallée de la rivière Moine a été considérée comme le niveau de base avec un écoulement du Sud vers le Nord.
Alimentation de l'aquifère	La pluie tombant sur le site s'infiltré peu en profondeur et est drainée par la Moine, l'eau contenue dans le massif granitique provient en fait d'une alimentation à l'échelle régionale. La recharge moyenne calculée est de 123 mm par an.
Conditions aux limites	Les limites Nord (la Moine) et Sud sont à charges imposées. Les limites Est et Ouest perpendiculaires à l'écoulement sont à flux nul (étanche)

Le modèle va permettre de simuler la vidange de la mine puis après arrêt de l'exhaure (simulation sur 550 jours) et la remontée du niveau de l'eau (simulation sur 800 jours).

CONCLUSIONS DE L'ETUDE

« L'étude a mis en évidence les points suivants :

- *La recharge de la nappe par infiltration de la pluie est en moyenne de 121 mm, ce qui représente 15 % des précipitations totales.*
- *Pendant la période d'exploitation de la mine, la comparaison des débits d'exhaure et de rejets démontre l'importance de l'évaporation à partir des bassins d'épandage. Lorsque l'évapotranspiration est forte (mois d'été), les rejets sont nettement inférieurs à l'exhaure. Les débits ainsi évaporés correspondent globalement à la différence entre les débits d'exhaure et les débits de rejets à la Moine. Cette différence entre les débits d'exhaure et les rejets ne s'explique donc pas par des réinfiltrations provenant des bassins d'épandage. On confirme ainsi les valeurs de très faible perméabilité fournies à partir des essais réalisés antérieurement en laboratoire par le CEBTP sur les sédiments déposés, dans ces bassins.*
- *L'analyse du bilan des écoulements pendant l'exploitation montre que le débit d'exhaure d'environ 300 m³/h nécessaire pour maintenir la mine hors d'eau provient pour l'essentiel de l'ensemble du massif granitique et de son encaissant, moins de 20 % au plus vient de la nappe superficielle des arènes.*

La première partie de cette étude a consisté en une présentation du contexte hydrologique et hydrogéologique du site. Les parties suivantes présentent les mesures et résultats d'analyses effectuées afin d'évaluer l'impact du site sur la qualité des eaux dans l'environnement, ainsi que les préconisations de Géoarmor quant au maintien ou à la suppression des différentes mesures mises en œuvre par AREVA en 2006. Ces dernières parties seront développées dans le chapitre 8.1.3.5 : Analyse par site de l'impact réel sur le milieu aquatique – site de La Baconnière.

CONTEXTE HYDROLOGIQUE DU SITE :

Pour le secteur visé par l'étude, le cours d'eau principal est la rivière La Moine, qui « reçoit peu d'affluents (réseau hydrographique peu dense). Les flancs de la vallée sont incisés par des petits vallons partiellement secs la plupart du temps, récoltant les ruissellements en période humide. »

« Le site de La Baconnière fait partie du bassin versant du ruisseau de la Baconnière qui draine une superficie d'environ 490 ha pour rejoindre la Moine à environ 1,5 km au Nord du plan d'eau de la mine à ciel ouvert. Le ruisseau reçoit les eaux de deux vallons occupés par :

- à l'Ouest, le ruisseau de la Boissière,
- à l'Est, le ruisseau de la Poblère. »

Un bilan hydrique du secteur a été effectué à partir des formules suivantes :

$$P = ETR + PE \quad \text{avec} \quad PE = R + I$$

avec :

- P = pluviométrie moyenne (mm)
- ETR = évapotranspiration réelle (mm) appréciée à partir de l'ETP et des caractéristiques des sols
- PE = pluie efficace (mm)
- R = ruissellement (mm)
- I = infiltration (mm)

Dans un premier temps, le bilan hydrique a été réalisé à l'échelle de la région (année moyenne) : la station de référence utilisée pour les précipitations moyennes mensuelles et les capacités d'évapotranspiration potentielle (ETP) est Nantes sur la période 1971-2000. Ensuite, le bilan hydrique a été affiné à l'échelle du site, en prenant pour station de référence Cholet sur la période 2008-2009.

Ce bilan hydrique permet d'estimer les pluies efficaces sur le site et ses environs, dont les résultats (valeurs moyennes sur une période donnée) sont présentés dans le tableau suivant, pour chacune des stations de référence :

Station de référence	NANTES	CHOLET
ETP	847,0 mm	773,2 mm
P	796,6 mm	694,3 mm
R	80,0 mm	64,6 mm
I	117,2 mm	168,9 mm
ETR	599,3 mm	605,9 mm
PE	197 mm/an	233,5 mm
Part infiltrée ou ruisselée par an	≈ 2000 m ³ /ha	2335 m ³ /ha

Après délimitation et estimation du bassin versant du plan d'eau de la MCO Bastille (superficie d'environ 67 ha), Géoarmor a procédé à cinq campagnes de mesures de débits sur le réseau hydrographique proche du site : une trentaine de points ont été répartis sur les ruisseaux de La Baconnière, La Poblère et La Boissière. « *Seules les campagnes du 02/02/2009 et du 05/05/2009 ont été réalisées en période de fonctionnement du rejet avec des débits de rejet respectifs de 14 et 12 m³/h.* » La figure 4 présente la localisation des points de mesures de débits.

A l'issue de ces campagnes, Géoarmor a estimé les débits moyens annuels des cours d'eau (module annuel) et leurs surfaces drainées à partir d'un cycle hydrologique (année 2008-2009). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Point de suivi	Module annuel (l/s)	Débit annuel (m3)	Débit de rejet de la MCO (m3)	Débit total écoulé (m3)	Superficie drainée (ha)	
					calculée à partir du débit et du bilan hydrique	estimée sur plan
RUBCN Baconnière amont	≈ 3	≈ 93 000	110 000	203 000	87	95
9 Baconnière amont confluence Poblère	≈ 17	≈ 544 000	110 000	654 000	280	246
7 Boissière aval	≈ 5	≈ 163 000	0	163 000	70	48
11 Poblère aval	≈ 21	≈ 670 000	0	670 000	288	207
19 Baconnière amont confluence Moine	≈ 39	≈ 1 250 000	170 000	1 320 000	582	490

« *Les surfaces estimées à partir du bilan hydrique sont, dans l'ensemble, équivalentes aux surfaces calculées sur plan, ce qui montre que le débit de rejet de la mine à ciel ouvert comprend peu d'apport en eaux souterraines profondes extérieures au bassin versant topographique.* »

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE LOCAL :

Dans le cadre de l'étude, la société Géoarmor a inventorié l'ensemble des points d'eau dans un rayon de 1 km autour du site. 9 ouvrages ont été répertoriés et correspondent soit à des puits ou des sources captées et des forages. « *Certains de ces ouvrages sont exploités pour l'eau potable privée [BCN 54] ou des élevages agricoles. D'après les informations collectées auprès de la D.D.A.S.S. 49, il n'y a pas de captage pour l'alimentation en eau potable publique dans ce secteur.* »

Cinq campagnes de mesures piézométriques ont été effectuées au cours du cycle hydrologique 2008-2009. Les premiers constats sont les suivants :

- « *seul le puits "BOISS" présente une piézométrie inférieure à la cote maximale du plan d'eau [79 m NGF] ;*
- *trois puits "BCN 54, BCN 58 et POB 1" ont une cote piézométrique inférieure à la cote de débordement du plan d'eau [83,45 m NGF] ;*
- *quatre puits "BCN 47, RABOT, BCN 52 et BCN 49" ont une cote supérieure à la cote maximale de débordement.* »

3 CADRE REGLEMENTAIRE

3.1 REGLEMENTATION EN VIGUEUR

Les différentes réglementations applicables à l'ensemble des activités minières (exploitation et fermeture des mines, stockage de résidus de traitement) s'organisent en deux grands types de police : les polices sectorielles et les polices transversales.

Les polices, dites « sectorielles » régissent les différentes activités afférentes aux mines telles que les autorisations d'exploitation, les conditions de fermeture d'une mine ou la gestion d'un stockage de résidus de traitement. Elles s'exercent de manière croisée avec les polices dites « transversales » qui correspondent notamment aux réglementations sur l'eau, la santé et les déchets.

3.1.1 Polices sectorielles

Les principales polices sectorielles, s'appliquant aux mines d'uranium et installations associées, sont la police des mines, complétée par un chapitre dédié aux rayonnements ionisants dans le Règlement Général des Industries Extractives, et la police des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

La police des mines :

La police des mines, qui gère les activités d'extraction du minerai, s'applique à l'ensemble des sites miniers, incluant les anciens travaux miniers (mine à ciel ouvert ou travaux miniers souterrains) et les dépôts associés. Elle est établie par le **Code Minier** et complétée par un chapitre dédié aux rayonnements ionisants dans le **Règlement Général des Industries Extractives (RGIE)**, qui émet des prescriptions sur la protection du personnel et de l'environnement contre les effets de la radioactivité.

La police des mines concerne principalement l'ouverture et l'exploitation d'une mine, les risques miniers classiques. Elle encadre également les conditions de fermeture des sites.

Remarque : L'ordonnance n° 2011-91 du 20 janvier 2011 porte codification de la partie législative du code minier. Elle entrera en vigueur le 1er mars 2011. Il s'agit d'une recodification de la partie législative du code minier en droit constant. Les modifications apportées par cette ordonnance ne concernent pas les activités évoquées dans le présent bilan environnemental.

Ouverture et exploitation d'un site minier :

Les travaux et installations d'extraction de minerais d'uranium relèvent du code Minier. Celui-ci a pour but de permettre l'extraction de substances minérales stratégiques renfermées dans le sous-sol. Une mine se définit comme un gîte reconnu pour contenir une substance concessible, indépendamment de la méthode d'extraction (mines souterraines ou mines à ciel ouvert).

Pour rechercher et exploiter ces substances minérales (dont l'uranium), le code Minier prévoit deux procédures d'autorisation :

- L'obtention d'un titre minier :
 - Permis exclusif de recherches ou permis d'exploitation¹ (à durée limitée)
 - Concession : avant 1977, les concessions étaient à durée illimitée. Après 1977, la durée d'une concession est limitée à cinquante ans, avec possibilité de prolongations successives, chacune d'une durée inférieure ou égale à vingt-cinq ans.

Il est à noter que l'article L.144-5 du code Minier précise que les concessions qui ont été octroyées avant 1977 et dont la durée était illimitée, expireront le 31 décembre 2018.
- L'obtention d'une autorisation préfectorale d'ouverture de travaux, qui en détermine les conditions techniques avant leur entreprise (Art. L.162-1 du code minier).

Les ouvertures des travaux miniers du département du Maine-et-Loire ont été autorisées au titre de la Police des Mines conformément à la législation minière en vigueur au moment de leur mise en chantier :

- Pour la période de 1909 à 1972 : décret du 14 janvier 1909.

Ont été mis en chantier les travaux miniers souterrains du site de l'Ecarpière et la mine à ciel ouvert « Ecarpière Est ».

L'article 6 du décret de police des mines prévoyait qu'avant d'ouvrir une mine, l'exploitant en avertissait l'ingénieur en chef des mines par courrier accompagné de plans et coupes utiles, et d'un mémoire exposant la méthode d'exploitation.
- Pour la période de 1972 à 1980 : décret n°72-645 du 04 juillet 1972.

Ce décret concerne les sites de la Baconnière, l'Anjougerie, Le Retail et Quatre-Chênes.
- Pour la période de 1980 à 1995 : décret n°80-330 du 07 mai 1980.

Ce décret concerne les mines à ciel ouvert dites « Le Moine », « Braudière », et « Le Tail » du site de l'Ecarpière.

Procédures de fermeture des sites :

Au fil des années, les procédures d'arrêt des travaux définis par le Code Minier se sont précisées. En fonction de la date de fin d'exploitation, il existe trois grands types de procédures.

¹ Il est à noter que la loi du 15 juillet 1994 modifiant certaines dispositions du code minier stipule que ne seront plus accordés de permis d'exploitation. L'exploitation d'un gisement doit alors être réalisée dans le cadre d'une concession.

→ Arrêt de l'exploitation avant mai 1980

Le décret du 14 janvier 1909, puis le décret n° 72-645 du 4 juillet 1972, prévoyaient, avant fermeture d'un site, que l'exploitant en informe la Préfecture.

De plus, il est à noter que, comme les travaux d'exploitation et de recherches étaient réalisés dans le cadre d'un permis exclusif de recherches et/ou d'exploitation, la poursuite de ces travaux et par conséquent la prolongation du permis étaient maintenues ou non en fonction de :

- une note justificative de l'Ingénieur des Mines. Cette note prenait en compte notamment les derniers résultats obtenus par l'exploitant, l'économie du marché de l'uranium... Le non-renouvellement du permis impliquait ainsi l'arrêt des travaux miniers. La conformité du réaménagement était contrôlée par une visite sur site de l'Ingénieur des Mines mais ne donnait pas lieu à un courrier de type compte-rendu de visite.
- la demande de renonciation au permis de recherches ou d'exploitation par l'exploitant.

Le code Minier tel qu'il a été modifié en 1970 apporte des précisions notamment sur l'arrêt des travaux. Ainsi, l'Article L.153-8 du code Minier indiquait : « *Après exécution des travaux, l'exploitant est tenu de remettre dans leur état antérieur les terrains de culture, en rétablissant la couche arable, et la voirie.* ».

→ Arrêt de l'exploitation à partir de mai 1980

Le **décret n°80-330 du 7 mai 1980**, relatif à la police des mines et des carrières, instaure, dans le cadre de la police des mines, deux procédures d'arrêt des travaux : le délaissement et l'abandon (Titre IV, Chapitre 1er : le délaissement et Titre IV, Chapitre 2 : l'abandon).

La procédure de délaissement correspondait à « *l'abandon volontaire des travaux avant le terme de validité du titre* ». L'exploitant qui voulait délaisser des travaux, en faisait la déclaration auprès du directeur interdépartemental de l'industrie (équivalent de l'actuel DREAL). Aussi longtemps que le titre minier restait en vigueur ou que ses effets juridiques n'étaient pas purgés au terme d'une procédure d'abandon, son titulaire était tenu de maintenir une surveillance sur les travaux délaissés. Dans le cas d'absence de prescription de travaux, le délaissement valait abandon.

La procédure d'abandon concernait les sites miniers dont le titre d'exploitation arrivait à terme. Cette procédure était l'équivalent de l'actuel arrêt des travaux et comprenait notamment les mesures de réaménagement envisagées par l'exploitant. Le préfet fixait par arrêté les travaux à exécuter et le délai d'achèvement. L'abandon effectif était subordonné à la réalisation des travaux prescrits par arrêté préfectoral.

→ Arrêt de l'exploitation à partir de mai 1995 [Le décret n°95-696 du 9 mai 1995 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines est abrogé par le décret du 2 juin 2006]

Le décret n°95-696 du 9 mai 1995 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines introduit la procédure actuelle d'arrêt définitif des travaux miniers (Titre VI, Chapitre III). Cette procédure est reprise et décrite dans les articles L.163-1 à L.163-12 du code Minier.

L'exploitant doit alors fournir un dossier dans lequel il présente « les mesures qu'il envisage de mettre en œuvre pour préserver les intérêts mentionnés à l'article L.161-1 [du code Minier], pour faire cesser de manière générale les désordres et nuisances de toute nature engendrés par ses activités, pour prévenir les risques de survenance de tels désordres, et pour ménager le cas échéant les possibilités de reprise de l'exploitation ».

Il dresse également « le bilan des effets des travaux sur la présence, l'accumulation, l'émergence, le volume, l'écoulement et la qualité des eaux de toute nature, évalue les conséquences de l'arrêt des travaux ou de l'exploitation sur la situation ainsi créée et sur les usages de l'eau et indique les mesures envisagées pour y remédier en tant que de besoin » (Article L.163-5).

Parmi les intérêts mentionnés à l'article L.161-1 du code Minier on trouve notamment :

- la sécurité et la santé du personnel,
- la sécurité et la salubrité publiques,
- les caractéristiques essentielles du milieu environnant, terrestre ou maritime,
- les intérêts énumérés par les dispositions de l'article 1er de la Loi n°76-629 du 10 Juillet 1976 relative à la protection de la nature,
- les intérêts énumérés à l'article L.211-1 du code de l'environnement,
- les intérêts agricoles des sites et des lieux affectés par les travaux et par les installations afférents à l'exploitation.

L'Article 44 du décret n°95-696 du 9 mai 1995, relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines a été abrogé par le décret n°2006-649 du 2 juin 2006. Néanmoins il reste applicable aux demandes d'autorisation et aux déclarations d'ouverture de travaux miniers ainsi qu'aux déclarations d'arrêt de travaux présentées avant la publication du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006. Cet article modifié notamment, par le décret 2001-209 du 6 mars 2001 décrit les documents accompagnant la déclaration d'arrêt des travaux miniers :

- plan d'ensemble des travaux d'exploitation avec plans et coupes relatifs à la description du gisement,
- mémoire décrivant les différentes méthodes d'exploitation ;
- exposé des mesures déjà prises et de celles envisagées pour l'application de l'article 91 (ancienne codification du code minier) : préservation des intérêts mentionnés à l'article 79 (ancienne codification du code minier), liste des désordres et nuisances de toute nature engendrés et susceptibles de se manifester du fait de l'activité minière. Il comprendra aussi les travaux à exécuter pour la fermeture des travaux, les ouvrages de traitement des eaux, les dispositifs de surveillance à maintenir ;

- bilan sur les eaux : réseau de surface et nappes avant exploitation, avant arrêt des travaux et étude prospective sur la modification du régime des eaux ;
- détermination des éventuels risques importants (au sens de l'article 93 (ancienne codification du code minier)) subsistant après le donné acte d'arrêt des travaux ;
- liste exhaustive de tous les désordres et nuisances existants ou susceptibles de se manifester dans l'avenir ;
- analyse de chacun de ses désordres afin de déterminer les mesures prises, avec les moyens humains et matériels nécessaires, et la liste des servitudes à mettre en œuvre.

Après instruction du dossier (avis des services techniques de l'Etat et des municipalités concernées), il est donné acte à l'exploitant de sa déclaration par arrêté préfectoral. Cet acte peut être accompagné, si nécessaire, de conditions ou mesures particulières ; dans ce cas, il s'agit du « premier donner acte ».

Lorsque toutes les conditions et mesures ont été respectées par l'exploitant, un procès verbal de récolement est réalisé par la DRIRE (devenue DREAL), chargée de la police des mines, et le Préfet prend un « deuxième donner acte » constatant la bonne réalisation des mesures. Ces formalités mettent fin à l'exercice de la Police des Mines (article L.163-9 du code Minier).

Toutefois des mesures peuvent encore être prescrites après ce donner acte lorsque des événements imputables aux anciens travaux miniers compromettent les intérêts mentionnés à l'article L161-1 du code Minier et ce tant que le titre minier demeure valide. Le concessionnaire pourra alors demander la renonciation au titre minier. Quand ce dernier n'est plus valide ou a été renoncé, c'est la police municipale de droit commun qui se substitue à la police des mines.

→ *Décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et stockages souterrains.*

Le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 encadre les dispositions relatives :

- aux déclarations et autorisations d'ouverture des travaux miniers et des travaux de stockage souterrain (constitution des dossiers et procédures d'instruction) ;
- à la surveillance administrative et à la police des mines et stockages souterrains (obligations générales des exploitants, rapport annuel d'exploitation,...) ;
- à l'arrêt définitif des travaux et d'utilisation d'installations minières et de stockage.

Ce décret fixe donc le cadre réglementaire actuel, **cependant il ne s'applique pas aux activités minières du Maine-et-Loire, puisque l'ensemble des sites ont été fermés antérieurement. Les réglementations applicables à ces sites sont celles correspondant à leur date de fin d'exploitation.**

→ *Tableau récapitulatif des procédures d'arrêt des travaux applicables en fonction de la date d'arrêt d'exploitation*

Date de fin d'exploitation	Textes réglementaires	Procédures applicables
Avant mai 1980	Décret du 14 janvier 1909 (modifié en 1970 – Art. 71-2) Décret n° 72-645 du 4 juillet 1972	Courrier à la préfecture Modification du code minier en 1970 précisant : « <i>Après exécution des travaux, l'exploitant est tenu de remettre dans leur état antérieur les terrains de culture, en rétablissant la couche arable, et la voirie.</i> »
Mai 1980 à mai 1995	Décret n°80-330 du 7 mai 1980	Procédures de délaissement et d'abandon
A partir de mai 1995	Décret n°95-696 du 9 mai 1995	Procédure d'arrêt définitif des travaux miniers
A titre indicatif : A partir de juin 2006	Décret n°2006-649 du 2 juin 2006	Procédure d'arrêt définitif des travaux et d'utilisation d'installations minières et de stockage.

Obligations de l'exploitant après la fermeture des mines :

L'Article L.163-4 du code Minier précise : « *Dans le cas où il n'existe pas de mesures techniques raisonnablement envisageables permettant de prévenir ou faire cesser tout désordre, il incombe à l'explorateur ou à l'exploitant de rechercher si des risques importants susceptibles de mettre en cause la sécurité des biens ou des personnes subsisteront après l'arrêt des travaux. Si de tels risques subsistent, il étudie et présente les mesures, en particulier de surveillance, qu'il estime devoir être poursuivies après la formalité mentionnée au premier alinéa de l'article L. 163-9.* ».

La nature des « *risques importants* » évoqués ici est précisée dans l'article L.174-1 du code Minier. Il s'agit uniquement des risques d'affaissement de terrain ou d'accumulation de gaz dangereux. Si de tels risques existent, l'exploitant doit alors mettre en place les équipements nécessaires à leur surveillance et à leur prévention et les exploiter.

Le RGIE : Règlement Général des Industries Extractives :

Outre le code Minier, il existe également un Règlement Général des Industries Extractives (décret n°80-331 du 7 Mai 1980 complété par le décret n°90-222 du 9 Mars 1990) qui complète la police des mines par un chapitre dédié aux rayonnements ionisants, qui émet des prescriptions sur la protection du personnel et de l'environnement contre les effets de la radioactivité.

Les réglementations édictées au niveau national sont ensuite appliquées à l'échelle locale par l'intermédiaire d'arrêtés préfectoraux, prescrivant la surveillance radiologique des sites miniers réaménagés du Maine-et-Loire. Ces arrêtés préfectoraux peuvent varier en fonction de la nature du site concerné (site avec ou sans résidus de traitement). Cependant, ils possèdent de nombreux points communs, notamment concernant les mesures prescrites en matière de contrôle des rejets et de surveillance de l'environnement.

Comme indiqué au paragraphe précédent, les arrêtés préfectoraux s'appliquant actuellement aux sites du Maine-et-Loire suivent les prescriptions du décret n°90-222 qui constitue la seconde partie, relative à la protection de l'environnement, du titre Rayonnements ionisants du RGIE.

En ce qui concerne les produits solides, de manière très générale, le décret n°90-222 précité dispose que « Les dépôts de minerais et de déchets ayant une teneur en uranium supérieure à 0,03%, de minerais lixiviés, de résidus des opérations de traitement, de produits provenant des bassins de réception des eaux ou de leur voisinage, doivent être établis conformément à un plan de gestion de ces produits qui précise les dispositions prises pour limiter, pendant la période de l'exploitation et **après son arrêt définitif**, les transferts de radionucléides vers la population. Un dépôt doit faire l'objet d'une surveillance par l'exploitant jusqu'à ce qu'il soit constaté que son impact radiologique sur l'environnement est acceptable. »

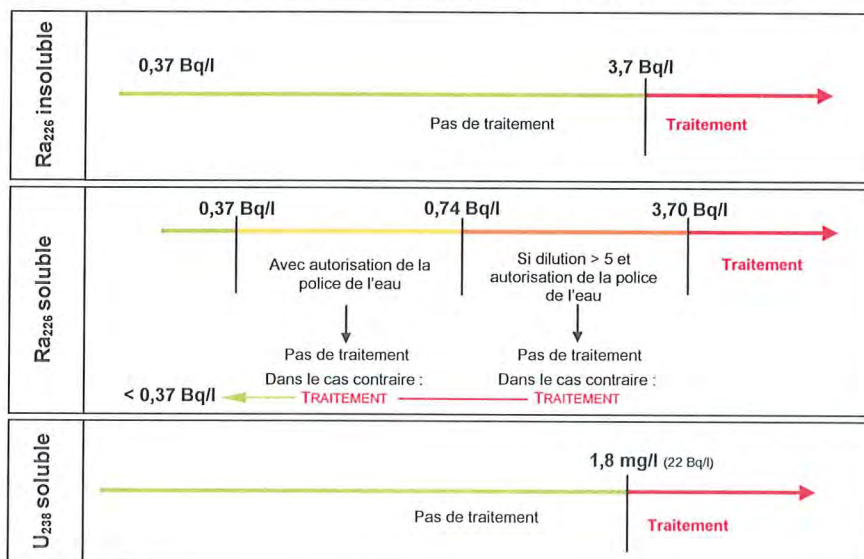
Concernant les produits liquides, le décret n° 90-222 précité, dispose que « toutes les eaux de l'exploitation, y compris les eaux de ruissellement, doivent être captées en vue d'une surveillance et d'un traitement éventuel ».

Les limites de rejets sont fixées par arrêtés préfectoraux, conformément aux limites fixées par le décret n° 90-222, soit en concentrations moyennes annuelles :

- 3,7 Bq/l pour le radium 226 insoluble,
- 1,8 mg/l (soit 1 800 µg/l ou 22 Bq/l) pour l'uranium 238 soluble,
- pour le radium 226 soluble :
 - 0,37 Bq/l si l'eau doit être traitée, c'est-à-dire si l'eau brute a une concentration en radium 226 soluble supérieure à 0,74 Bq/l,
 - 0,74 Bq/l si la dilution du rejet par le cours d'eau récepteur est inférieure à 5,
 - 0,37 Bq/l si la dilution du rejet par le cours d'eau récepteur est supérieure à 5.

En général, les arrêtés préfectoraux renaient la valeur de 0,74 Bq/l quelque soit le rapport de dilution.

Le schéma suivant synthétise ces autorisations de rejets dans l'environnement :



La police des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) :

La police des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement est codifiée aux articles L.511-1 à L.517-2 du code de l'environnement.

Au sens de ces dispositions, sont considérées comme ICPE « *les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique* » (art. L.511-1 C. env.).

Sont soumises à autorisation préfectorale, les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts précédemment énumérés (art. L.512-1 C. env.) ; sont soumises à déclaration, les installations, ne présentant pas de graves dangers ou inconvénients pour ces mêmes intérêts, mais qui doivent néanmoins respecter les prescriptions générales édictées par le préfet en vue d'en assurer la protection dans le département (art. L.512-8 C. env.).

La législation des ICPE définit une classification (nomenclature) des installations concernées par rubriques. Celles qui sont consacrées aux installations contenant des matières radioactives ont été réorganisées en 2006 et sont présentées dans le tableau suivant :

N°	A - Nomenclature des installations classées			B - Taxe générale sur les activités polluantes	
	Désignation de la rubrique	A, D, S C (1)	Rayon (2)	Capacité de l'activité	Coef.
1700	Substances radioactives (définitions et règles de classement des) Définitions : Les termes « substance radioactive », « activité », « radioactivité », « radionucléide », « source radioactive non scellée » et « source radioactive scellée » sont définis dans l'annexe 13-7 de la première partie du code de la santé publique. Règles de classement : 1° Les opérations visées à la rubrique 1715 font l'objet d'un classement au titre de la présente nomenclature dès lors qu'elles sont mises en œuvre dans un établissement industriel ou commercial, dont une installation au moins est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature. 2° A chaque radionucléide est associé un « seuil d'exemption » (en Bq), défini en application de l'article L. 1333-4 du code de la santé publique à l'annexe 13-8 de la première partie de ce code. Pour les besoins des présentes règles de classement, la valeur de 1 000 Bq est utilisée pour les radionucléides non mentionnés par les dispositions précédentes. 3° Pour une installation dans laquelle un ou plusieurs radionucléides sont utilisés, le rapport Q (sans dimension) est calculé d'après la formule : $Q = \sum (A_i / Ae_i)$ dans laquelle : A _i représente l'activité totale (en Bq) du radionucléide i Ae _i représente le seuil d'exemption en activité du radionucléide i				
1715	Substances radioactives (préparation, fabrication, transformation, conditionnement, utilisation, dépôt, entreposage ou stockage de) sous forme de sources radioactives, scellées ou non scellées à l'exclusion des installations mentionnées à la rubrique 1735, des installations nucléaires de base mentionnées à l'article 28 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire et des installations nucléaires de base secrètes telles que définies par l'article 6 du décret n° 2001-592 du 5 juillet 2001. 1. La valeur de Q est égale ou supérieure à 10 ¹ 2. La valeur de Q est égale ou supérieure à 1 et strictement inférieure à 10 ¹	A D	1	1. Le rapport Q tel que défini au 3°) de la rubrique 1700 de la nomenclature étant : a) supérieur ou égal à 10 ¹ b) supérieur ou égal à 10 ²	3 1
1735	Substances radioactives (dépôt, entreposage ou stockage de) sous forme de résidus solides de minéral d'uranium, de thorium ou de radium, ainsi que leurs produits de traitement ne contenant pas d'uranium enrichi en isotope 235 et dont la quantité totale est supérieure à 1 tonne	A	2	La quantité étant supérieure ou égale à 1 tonne	5

(1) A : Autorisation, D : Déclaration, S : Servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement

(2) Rayon d'affichage exprimé en kilomètres

Version 18 - Janvier 2010

Les stockages de résidus de minerai d'uranium relèvent ainsi de la législation des ICPE sous la rubrique 1735. Il convient cependant de souligner que ce rattachement étant récent, l'ensemble des stockages de résidus ont à l'origine été créés, selon la pratique en usage dans d'autres secteurs miniers, comme des dépendances des mines. Ils n'ont donc pas fait l'objet d'une autorisation selon les règles applicables aux ICPE, mais d'une création par acte administratif au titre du code Minier.

Il est à noter que le régime d'ICPE n'emporte pas de dispositions spécifiques applicables à la fermeture d'installations de stockage.

Remarque :

Le site de stockage de l'Ecarpière contient des résidus de traitement de minerais, et est ainsi classé à la rubrique 1735 des ICPE.

3.1.2 Polices transversales

Les prescriptions tirées des polices sectorielles applicables aux différents sites (code minier et ICPE) sont, dans la pratique, croisées avec l'application de polices dites transversales, visant des intérêts tels que la gestion des déchets ou la protection de l'eau.

La protection de l'eau :

L'article L.211-1 du Code de l'environnement vise à mettre en place une gestion équilibrée des eaux ayant pour but d'assurer notamment :

- la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides,
- la protection des eaux et la lutte contre toute pollution,
- la restauration de la qualité des eaux et leur régénération,
- le développement et la protection de la ressource en eau,

et de satisfaire ou concilier les exigences :

- de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable de la population,
- de la vie biologique du milieu récepteur, et notamment de la faune piscicole,
- de la conservation et du libre écoulement des eaux et de la protection contre les inondations,
- de toute activité humaine légalement exercée (pêche, sports nautiques, production d'énergie...).

La protection sanitaire :

Les textes fondamentaux en matière de radioprotection sont les articles L.1333-1 à 20 et R.1333-1 et suivants du code de la santé publique. Ces dispositions sont issues de la transposition des Directives Euratom 96/29 et 97/43, introduit en droit français les principes de justification, d'optimisation et de limitation des doses reçues par les personnes du fait de l'utilisation des rayonnements ionisants.

L'article R.1333-8 du code de la santé publique instaure également la limite annuelle de 1 mSv par an pour la dose ajoutée reçue par une personne du public du fait des « activités nucléaires ». Ces « activités nucléaires » sont définies comme étant « les activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants émanant soit d'une source artificielle, qu'il s'agisse de substances ou de dispositifs, soit d'une source naturelle lorsque les radionucléides naturels sont traités ou l'ont été en raison de leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles, ainsi que les interventions destinées à prévenir ou réduire un risque radiologique consécutif à un accident ou à une contamination de l'environnement ».

Les activités d'extraction et de traitement des minerais d'uranium rentrent donc parfaitement dans ce cadre.

La gestion des déchets radioactifs :

L'article L.542-1-1 du code de l'environnement définit les déchets radioactifs comme « des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ».

Au terme de cette évolution réglementaire, le statut des matières présentes en dépôts sur les sites des anciennes mines d'uranium apparaît en partie clarifié. Les résidus de traitement du minerai des stockages sont clairement des déchets radioactifs, dont la gestion est encadrée par la réglementation des ICPE et le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs.

3.1.3 Tableau de synthèse des polices applicables aux sites miniers

Le tableau suivant présente les principales polices applicables aux sites miniers (mines à ciel ouvert : MCO, travaux miniers souterrains : TMS, et stockage de résidus de traitement du minerai d'uranium)

Installations concernées	MCO – TMS	Stockages de résidus de traitement du minerai (à titre indicatif : usines de traitement du minerai)	MCO – TMS Stockage
Polices sectorielles	Police des Mines	Police des ICPE	RGIE
Domaines d'application	Titres miniers Ouverture et exploitation des mines Procédures d'arrêt des travaux	Classement des installations soumises à autorisation ou à déclaration Conditions d'ouverture et de remise en état d'une ICPE	Rayonnements Ionisants : Protection du personnel et de l'environnement
Polices transversales	<i>Protection de l'eau et de la nature, gestion des déchets</i>		
	<i>Radioprotection</i>		

3.2 PLANS D' ACTIONS DE L' ETAT

3.2.1 Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR)

L'article L.542-1-2 du code de l'environnement définit les objectifs du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) [10] :

- Dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et déchets radioactifs,
- Recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, et préciser les capacités nécessaires ainsi que les durées d'entreposage,
- Déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.

Le plan organise en particulier les recherches et études à mener sur la gestion des déchets radioactifs, et fixe les échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion et pour la création ou la modification d'installations.

La gestion à long terme des stockages de résidus miniers du traitement d'uranium est prévue dans le PNGMDR.

La loi prévoit ainsi, dans son article 4, un programme de recherche et d'études dont les objectifs inclus « *un bilan en 2008 de l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers d'uranium et la mise en œuvre d'un plan de surveillance radiologique renforcée de ces sites* ».

AREVA a présenté en janvier 2009, en application de cet article, un dossier comportant trois études, portant respectivement sur :

- l'impact dosimétrique à long terme sur la santé et sur l'environnement des stockages de résidus miniers d'uranium,
- l'évaluation de la tenue des digues de rétention des stockages de résidus,
- la caractérisation géochimique des résidus de traitement du minerai d'uranium et de leur évolution à long terme.

L'évaluation des impacts à long terme des sites est basée sur une étude d'impact dosimétrique qui constitue la première application de la méthodologie préconisée par la doctrine DPPR de 1999.

3.2.2 MIMAUSA [11]

Désirant acquérir une vision complète des activités minières uranifères sur le territoire français, le MEEDDM a confié à l'IRSN, une mission de collecte et de synthèse de l'information sur la localisation, la situation administrative, le contexte environnemental, l'historique d'exploitation, l'état de réaménagement et les éventuels dispositifs de surveillance radiologique de chacun des sites miniers uranifères.

Le Programme MIMAUSA (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) a été lancé en 2003 et s'articule autour de deux volets :

- Un volet « bilan des connaissances », destiné à rassembler les données existantes pour chacun des sites ; il se traduit aujourd'hui par *l'Inventaire national des sites miniers d'uranium et la base de données nationale des sites miniers d'uranium*.
- Un volet « études spécifiques » destiné à compléter la connaissance par des investigations de terrain sur certains sites identifiés par le comité de pilotage à l'issue du volet précédent.

Un premier rapport d'inventaire, sous forme d'éléments de contexte et de fiches synthétiques par sites, a été publié en 2004. Une deuxième version, enrichie de 30 sites et d'informations complémentaires, a été publiée en 2007. Cette publication a été suivie début 2009 par la mise en ligne, sur le site internet de l'IRSN, d'une section consacrée aux anciens sites miniers d'uranium proposant notamment un accès aux informations de l'inventaire MIMAUSA sous la forme d'une carte interactive donnant accès à une base de données.

Les informations collectées dans le cadre de MIMAUSA sont des informations descriptives sur la situation technique et administrative des sites qui n'apportent pas d'appréciation sur leur niveau de sécurité ou leurs impacts potentiels sur l'environnement.

3.2.3 Circulaire du 22 juillet 2009 sur la gestion des anciennes mines d'uranium

AREVA NC s'est engagé, par courrier du 12 juin 2009, à mettre en place un plan d'actions sur la gestion des anciennes mines d'uranium en France. La Circulaire du 22 juillet 2009, cosignée entre le MEEDDM et l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), et relative à la gestion des anciennes mines d'uranium, vise à donner un cadre coordonné à la mise en œuvre de ce plan d'actions.

Dans le prolongement des actions déjà réalisées dans certaines régions, la circulaire présente un plan d'action comportant quatre axes principaux :

- **AXE 1 : le contrôle des anciens sites miniers** : « *Vérification des dispositions visant, selon les cas à interdire ou limiter l'accès à certains sites et à limiter leur impact sanitaire et environnemental* » (accessibilité des sites (clôtures), réutilisation des stériles, modalités de surveillance de l'environnement, état général des sites, modalités de confinement,...) ;

- **AXE 2 : l'amélioration de la connaissance de l'impact environnemental et sanitaire des anciennes mines d'uranium et la surveillance** : Réalisation d'un « état des lieux environnemental de tous les sites dont [la société AREVA NC] est titulaire d'une autorisation administrative ou d'un acte de propriété » avec une attention particulière pour les stockages de résidus de traitement et pour les sites n'ayant pas été exploités directement par AREVA NC mais dont elle a hérité de leur gestion ;
- **AXE 3 : la gestion des stériles, visant à mieux connaître leurs utilisations et à réduire leurs impacts si nécessaire** : « Recensement des lieux de réutilisation des stériles [...] dans le cadre d'une démarche concertée associant les CLIS, ainsi que la population et les élus locaux ». Vérification de la compatibilité d'usages des sols au plan environnemental et sanitaire, avec mise en place d'actions de remédiation si nécessaire (études au cas par cas).
- **AXE 4 : le renforcement de l'information et de la concertation** : Mise en place de panneaux d'affichage signalant la présence de sites miniers, création de Commissions Locales d'Information et de Surveillance (CLIS), réalisation de « porter-à-connaissance » du suivi radiologique des sites.

NB : Seuls les stockages de résidus de traitement du minerai et les sites faisant l'objet d'une surveillance par voie d'arrêté préfectoral sont à ce jour équipés de panneaux d'information.

Le bilan environnemental du Maine-et-Loire, prescrit à AREVA par arrêté préfectoral n° DIDD- 2010 n°423 du 5 août 2010 (Annexe 6), s'inscrit parfaitement dans le cadre de l'axe 2 de cette circulaire.

4 EXPLOITATION MINIERE ET TRAITEMENT DES MINERAIS

4.1 LES METHODES D'EXPLOITATION

La partie des filons la plus proche de la surface a été généralement exploitée par mine à ciel ouvert. La limite, en profondeur, entre exploitation à ciel ouvert et exploitation souterraine a généralement été une limite économique. Dans d'autres cas, ce sont occasionnellement des conditions particulières qui ont conduit à extraire en souterrain ce qui, sur les seuls critères économiques, aurait pu être exploité à ciel ouvert.

4.1.1 Les travaux de reconnaissance par petit chantier

Les travaux de reconnaissance par petit chantier sont réalisés afin d'estimer la faisabilité d'une exploitation future par des travaux de plus grande ampleur. Ils peuvent être regroupés en deux catégories :

- les tranchées, consistant principalement à étudier les indices mis en évidence par la prospection de surface et le cas échéant à en extraire les minéralisations (cas des sites du Retail et des Quatre- Chênes).
- les travaux miniers souterrains de faible ampleur, ayant consisté soit à creuser un puits de faible profondeur (10 à 15 m), accompagné, ou non, d'une galerie de longueur inférieure à une vingtaine de mètres, soit à creuser un travers-banc à flanc de coteau (galerie horizontale pouvant atteindre une centaine de mètres de longueur). Aucun site n'est concerné par ce type de travaux dans le département du Maine-et-Loire.

4.1.2 Exploitation souterraine

L'infrastructure d'accès aux mines souterraines, dans le département du Maine-et-Loire, était constituée :

- soit d'un puits vertical et de niveaux de galeries horizontales tous les 20 à 60 mètres ;
- soit d'une entrée à flanc de coteau, correspondant à l'entrée d'un travers-banc, desservant un réseau de galeries plus ou moins importants
- soit d'un plan incliné d'accès, nommé descenderie, desservant également un réseau de galeries plus ou moins importants.

Un même site pouvait posséder un ou plusieurs types d'accès, comme le site de L'Ecarpière qui possédait trois travers-bancs, deux descenderies et trois puits d'accès.

Le creusement de ces galeries, qui permettaient l'accès aux chantiers, se faisait sur une section de 4 à 10 m².

L'aération des travaux souterrains était assurée par des montages (souvent équipés de ventilateurs pour accélérer la circulation d'air frais) qui reliaient le réseau souterrain et la surface.

Un siège minier était constitué en général d'un carreau minier sur lequel étaient implantés les bureaux, ateliers, stations de traitement des eaux et bassins de décantation, aires de stockage des minerais, etc.

Le tableau suivant présente les différentes méthodes d'exploitation en souterrain utilisées sur le département du Maine-et-Loire :

Sites miniers	Période d'exploitation	Méthodes d'exploitation
L'Ecarpière	1952 - 1990	Creusement de 3 puits, 2 descenderies, 3 travers-bancs et 1 galerie d'accès, accompagnés d'un réseau de galeries sur 11 niveaux (N-25 à N-500) et de 28 montages ou ouvrages d'aérage. Différentes méthodes de dépilages utilisées suivant les périodes : <ul style="list-style-type: none"> • 1952-1959 : Chambres magasins • 1960-1966 : Chambres vides et sous-niveaux abattus (abattage et soutirage) • 1966-1990 : Tranches montantes remblayées, chambres charpentées et lixiviation in-situ (pour les minerais pauvres)
La Baconnière	1976 - 1988	Creusement d'une descenderie et de 2 montages, accompagnés de deux niveaux de galeries (N-50 et N-100). Exploitation par tranches montantes remblayées sur remblai hydraulique (mise en place de sables cyclonés provenant des résidus de traitement du minerai en comblement des vides générés par l'exploitation).
Le Retail	1978 - 1983	Creusement d'une descenderie, d'un puits et d'un montage, accompagné de 3 niveaux de galeries (N-25, N-50 et N-100). Exploitation par tranches montantes remblayées (remblayage avec des stériles ou des sables cyclonés provenant des résidus de traitement du minerai) avec pose d'une dalle béton de 45 cm d'épaisseur après l'exploitation de chaque première tranche.

4.1.3 Exploitation à ciel ouvert

La grande diversité des gisements rencontrés sur le secteur a conduit à des projets de fosses de taille variable, depuis la tranchée de quelques centaines de tonnes, jusqu'à la mine à ciel ouvert de plusieurs milliers de tonnes brutes.

Sur les sites les plus importants et les plus récents, les zones minéralisées étaient délimitées par des mesures de la radioactivité dans les trous de tir d'abattage. Après le tir, un contrôle radiométrique était fait au chargement des camions, suivi d'un contrôle en sortie de fosse par portique équipé d'un scintillomètre pour un tri des minerais selon leurs teneurs. Pour les sites les plus anciens, les zones minéralisées étaient délimitées par mesures de la radioactivité à même la paroi et en sortie de mine.

Cette méthode d'exploitation à ciel ouvert générait un ratio tonnes de minerai / tonnes brutes important, de l'ordre de 1/10 (1/1 pour les travaux souterrains).

Le tableau suivant présente les sites ayant fait l'objet d'une exploitation à ciel ouvert et les tonnages bruts associés (minerai + stériles) :

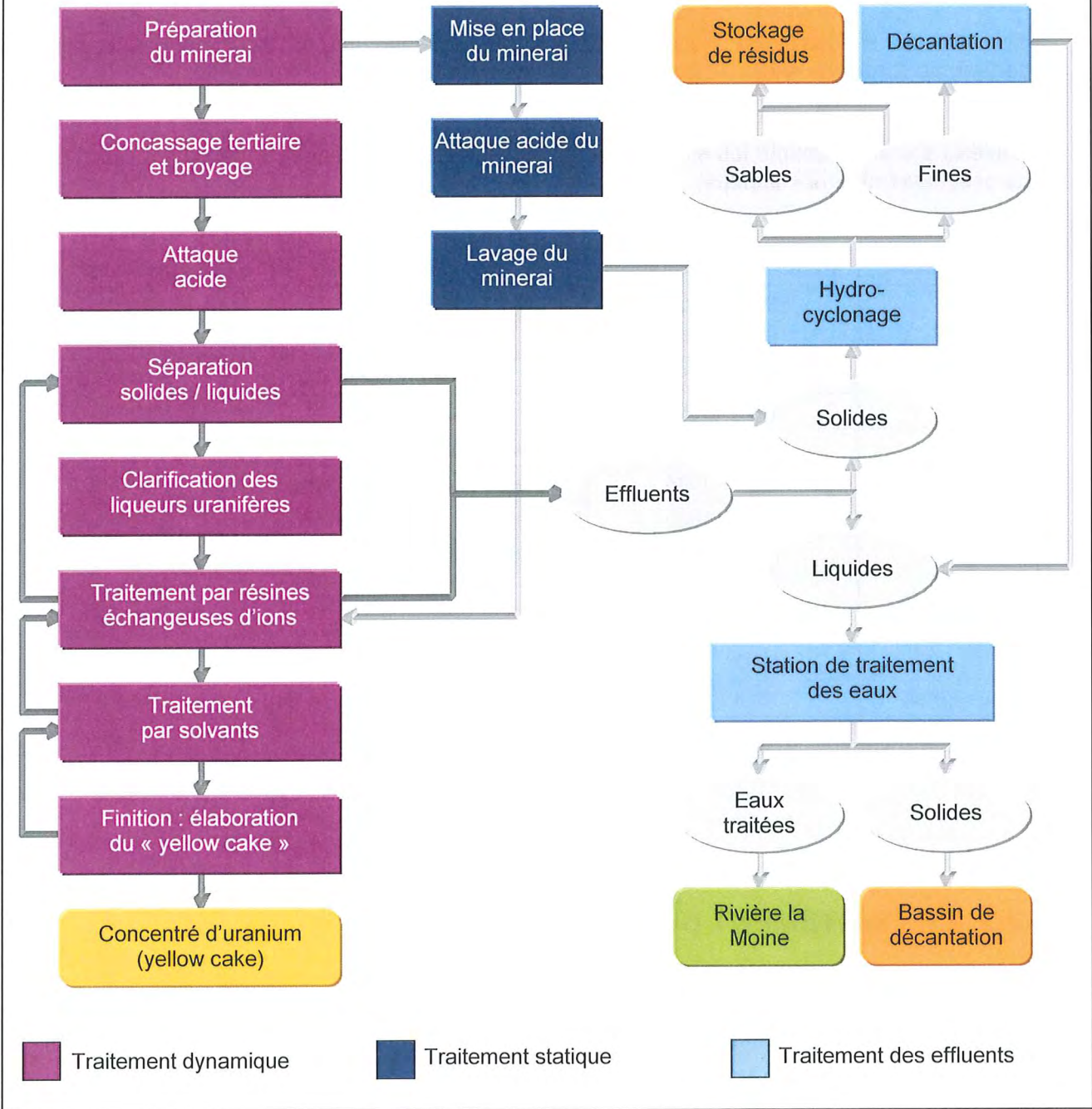
Sites miniers	Période d'exploitation	Nom du chantier	Tonnage brut extrait
L'Ecarpière	1962 - 1966	MCO Est	630 000 t
	1985 - 1987	MCO le Moine	585 000 t
	1986 - 1990	MCO Braudière	2 202 000 t
	1987 - 1989	MCO Le Tail	3 130 000 t
La Baconnière	1983 - 1984	Fosse 1 (Basse Boissière)	138 644 t
	1983 - 1984	Fosse 2 (Basse Boissière)	184 138 t
	1983 - 1985	Fosse 3-4 (Basse Boissière)	2 424 823 t
	1984 - 1988	Fosse 5-6 (Baconnière-Bastille)	6 941 000 t
L'Anjouerie	1974 - 1981	Anjouerie Ouest	1 105 000 t
	1979 - 1981	Anjouerie Centre	620 000 t
	1982 - 1983	Courailère	603 900 t
Le Retail	1978 - 1983	Le Retail MCO	109 587 t
La Bonnière	1979 - 1980	La Bonnière MCO	212 285 t

4.2 LE TRAITEMENT DU MINERAI [1]

L'usine de l'Ecarpière a fonctionné de 1956 à 1991. Deux types de traitement ont été mis en place : un traitement de type dynamique (chimique) et un traitement statique (lixiviation en tas).

Le schéma suivant synthétise les différentes étapes des procédés de traitements des minerais. Ces procédés sont décrits en détail dans les paragraphes suivants.

LES DIFFERENTES ETAPES DES PROCEDES DE TRAITEMENTS DES MINERAIS



4.2.1 Le traitement dynamique

Le traitement dynamique du minerai se déroulait selon plusieurs étapes, détaillées ci-après.

LA PREPARATION DU MINERAI

La préparation du minerai consistait à une première réduction de la taille des blocs de minerais.

Les minerais étaient dans un premier temps réduits à 350 mm dans un gros concasseur primaire à mâchoires, puis dans un second temps à 70 mm dans deux concasseurs secondaires à mâchoires en parallèle. Ils entraient ensuite dans un silo comprenant quatre « poches » de 500 tonnes, puis étaient repris au bas du silo au moyen d'un extracteur à soc.

LE CONCASSAGE TERTIAIRE ET LE BROUAGE

Le concassage tertiaire et le broyage du minerai avaient pour but de préparer mécaniquement le minerai aux traitements chimiques.

Les minerais étaient réduits à moins de 25 mm environ par un concasseur giratoire. Ils traversaient ensuite deux lignes parallèles de broyage humide. Chaque ligne était constituée d'un broyeur à barres (réduction de 25 à 2 mm) suivi de deux broyeurs à boulets en parallèle (réduction à 450 µm).

L'ATTAQUE PAR L'ACIDE SULFURIQUE

L'attaque acide avait pour objectif de solubiliser l'uranium.

Elle était réalisée dans deux lignes parallèles et indépendantes, chacune constituée de dix cuves en série. Cette attaque était effectuée à chaud, à une température de 60°C, par injection directe de vapeur vive. Le potentiel d'oxydoréduction était maintenu constant par addition de chlorate de sodium en solution.

Cette oxydation était nécessaire pour porter l'uranium à la valence 6.

LA SEPARATION SOLIDE/LIQUIDE

La séparation solide/liquide, ou lavage, était réalisée différemment suivant les fractions granulométriques. Après attaque, les minerais étaient partagés en deux fractions par des classificateurs à râteaux :

- la fraction supérieure à 0,15 mm appelée « sables ». Ces sables étaient lavés en trois étages de classificateurs à râteaux, à contre-courant avec des eaux acides (pH 1,5).
- et la fraction inférieure à 0,15 mm appelée « fines ». Après neutralisation partielle par addition de calcaire finement broyé, ces fines étaient, lavées dans six décanteurs épaisseurs à contre-courant avec des eaux acides (pH 1,5).

La pulpe des minerais épuisés était floculée avant d'être distribuée sur un filtre. Puis, le gâteau était lavé à pH 1,5. Après débâtissage, il était repulpé avec des eaux résiduaires et il rejoignait les sables neutralisés après leur lavage en classificateurs à râteaux.

LA CLARIFICATION DES LIQUEURS URANIFERES

Les liqueurs uranifères issues du lavage étaient ensuite clarifiées sur filtres clarificateurs à anthracite. Leur teneur moyenne en uranium est voisine de 500 mg/l d'uranium.

Les diverses eaux uranifères en provenance de la lixiviation en tas des minerais à faible teneur étaient introduites dans l'usine au niveau des décanteurs de lavage.

LE TRAITEMENT PAR RESINES ECHANGEUSES D'IONS

L'uranium étant solubilisé sous forme de sulfate d'uranyle et le résidu solide étant séparé, il s'agissait alors de concentrer et de purifier les solutions. La première étape utilisée était des résines échangeuses d'ions en lit fixe (résines anioniques faiblement basiques). Seize colonnes de résines étaient réparties en quatre lignes parallèles de quatre colonnes fonctionnant par roulement (trois colonnes en fixation, une colonne en élution). La colonne placée en tête de fixation, une fois saturée, subissait l'élution.

LE TRAITEMENT PAR SOLVANT

Une seconde étape de concentration et de purification utilisant un solvant a été mise en place en 1976. Ce solvant était constitué d'une amine tertiaire (alamine 336-0,1 M) diluée dans du kérosène et contenant environ 3 % d'alcool tri-décylique. La technique utilisée est celle de mélangeurs-décanteurs à contre-courant, équipés d'agitateurs-pompes.

Remarque : Le double traitement par résines et solvant permet d'obtenir des solutions d'uranium très pures, d'une teneur voisine de 20 grammes d'uranium par litre.

LA FINITION : L'ELABORATION DU CONCENTRE OU "YELLOW CAKE"

En phase finale, l'uranium était précipité à chaud sous la forme de diuranate d'ammonium, par addition d'ammoniaque. L'uranate était ensuite épaissi et lavé dans un décanteur puis sur filtre à tambour rotatif. Il était ensuite séché dans un séchoir atomiseur.

Remarque : Le rendement global de l'usine (U sortant/U rentrant) est compris entre 95 et 97 %.

4.2.2 Le traitement statique ou lixiviation

LA LIXIVIATION IN SITU

Le principe de la lixiviation statique est né de l'observation de la solubilisation, en conditions naturelles, de l'uranium, en particulier en milieu plutôt acide et oxydant (exemple : terrains pyriteux).

En 1962, un réseau est isolé au niveau de la mine souterraine de l'Ecarpière pour collecter les venues d'eau acide, légèrement chargées en uranium, à la fois pour éviter le désagrément de la corrosion dans les installations classiques d'exhaure et pour récupérer l'uranium spontanément libéré de son gisement.

En 1966, une collecte des Eaux Chargées en Uranium (ECU) fut aménagée et, en surface, une station de traitement par précipitation de l'uranium en uranate de chaux fut mise en place. Ce procédé permettait d'extraire l'uranium des parties du gisement non exploitable via des techniques d'extraction minière classiques.

Cette technique est abandonnée en 1977, au bénéfice de la lixiviation en tas, plus aisée à réaliser, et plus adaptée aux exploitations par mines à ciel ouvert alors privilégiées.

LA LIXIVIATION EN TAS

A partir 1967, des essais de lixiviation de minerais pauvres sur deux aires étanches expérimentales en surfaces furent réalisés, et s'avérèrent fructueux. La station de lixiviation fut mise en place en 1976, puis fut agrandi en 1982 et 1983. Le procédé consistait à extraire l'uranium contenu dans le minerai, concassé à 80 mm et placé sur une aire étanche, par solubilisation grâce à un mélange d'eau et d'acide sulfurique.

Le cycle de traitement se décompose en quatre phases :

- La mise en place du minerai : le minerai était mis en place sur une aire étanche, légèrement inclinée avec un chargeur sur pneus, en une seule couche de 3 à 4 m de hauteur, en évitant tout compactage par roulage. Le dispositif d'arrosage était ensuite installé ;
- L'attaque du minerai : une liqueur d'attaque à l'acide sulfurique, était envoyée au-dessus du minerai par le réseau d'arrosage. Cette solution était recyclée systématiquement. Son acidité libre baissait peu à peu jusqu'à 10 g/l et, parallèlement, son titre en uranium s'élevait ;
- Le lavage du minerai : le lavage était ensuite opéré avec des liqueurs de pH encore inférieur à celles utilisées la phase d'attaque (à pH 1,2). Le soutirage était simultané. Les liqueurs, une fois le processus de lavage achevé, étaient envoyées à l'usine de traitement dynamique pour subir le traitement par résines échangeuses d'ions, le traitement par solvants, et la phase de finition, selon les procédés décrits au paragraphe 4.2.1 « Le traitement dynamique » ;
- L'évacuation des résidus de traitement : les résidus sont évacués par camion et mis en verse sur le coteau de l'Ecarpière.

4.2.3 Le traitement des effluents pendant l'exploitation

L'usine de traitement des minerais uranifères ont conduits à la production de deux types d'effluents :

- Des résidus solides : étant donné les teneurs en uranium (de l'ordre de 1 ‰), ces résidus représentaient le même tonnage que celui du minerai entrant. En fin de procédé, ils se présentaient sous forme d'une pulpe que l'on neutralise par additions successives d'un lait de calcaire et d'un lait de chaux,
- Des résidus liquides : ces résidus étaient produits dans des quantités à raison de 3 à 4 m³ par tonne de minerai traité, et étaient également neutralisés à la chaux.

Les résidus solides et liquides étaient mélangés et pompés en direction du champ d'épandage. Les produits solides y étaient déposés en stockage définitif, tandis que les jus y étaient décantés. Une fois clarifiés, les jus étaient repris et traités. Les eaux traitées étaient alors rejetées dans la rivière la Moine.

Le traitement des eaux avant rejet dans la Moine permettait de diminuer la concentration en radium et en matières en suspension, afin de respecter les normes de rejet alors en vigueur. Les teneurs en radium étaient diminuées par ajout de chlorure de baryum et formation d'un co-précipité de sulfate de baryum et de radium. Les matières solides en suspension étaient traitées et stockées en bassin de décantation.

5 PRESENTATION DES SITES MINIERES

5.1 GENERALITES

Les activités minières uranifères du département du Maine-et-Loire comprennent 6 sites d'importance inégale. Les petits sites correspondent à des travaux de recherche réalisés par tranchées. Les deux sites les plus importants ont consisté en l'exploitation :

- Sur le site de l'Ecarpière :
 - de 4 mines à ciel ouvert d'importance inégale (585 000 à 3 130 000 tonnes brutes extraites),
 - de travaux miniers souterrains (creusement d'environ 43 km de galeries),
 - d'une usine de traitement (traitement dynamique et aires de lixiviation en tas),
 - d'un stockage de résidus de traitement du minerai ;
- Sur le site de la Baconnière :
 - de 4 mines à ciel ouvert d'importance inégale (138 644 à 6 941 000 tonnes brutes extraites),
 - de travaux miniers souterrains (creusement d'environ 3 km de galeries).

L'emprise des terrains concernés par les sites miniers du Maine-et-Loire représente une surface totale d'environ 332 hectares, dont 240 hectares pour le site de l'Ecarpière.

Afin d'établir ce bilan environnemental des sites miniers du Maine-et-Loire, le système de documents établi pour l'ensemble des bilans départementaux a été repris. Ont été définis préalablement aux travaux :

La notion de chantier :

On dénomme chantier, toute zone géographique restreinte sur laquelle se sont déroulés des travaux miniers. Exemple : des travaux souterrains liés au même puits d'accès ou une mine à ciel ouvert dont l'exploitation s'est poursuivie en travaux souterrains ...

La notion de site minier :

Un site minier est un chantier ou un ensemble de chantiers dont la proximité géographique, l'exploitation conjointe, la couverture réglementaire, l'unité de production ou l'histoire en font une entité cohérente et indépendante. Les sites, arrêtés après 1980, ont fait l'objet d'un dossier de déclaration d'arrêt des travaux (ou de délaissement, ou d'abandon) séparé, au titre de la Police des Mines.

Le détail de la production (minerai et pseudo minerai, stériles) est présenté sur la figure 5.

Pour chaque site, une fiche synthétique a été établie. Ces fiches permettent une lecture rapide :

- de la nature des travaux engagés et de la période d'exploitation,
- du contexte géographique, géologique, démographique, environnemental,
- de la situation administrative au regard de la réglementation locale depuis l'origine des travaux,
- du plan d'occupation des sols, des contraintes ou des engagements pris vis-à-vis des parties prenantes,
- des travaux de réaménagement ou de mise en sécurité,
- de la situation hydrologique et hydrogéologique (en faisant référence aux études qui s'y rapportent)
- des incidents connus survenus sur le site pendant ou après l'exploitation.

L'ensemble de ces fiches de sites constitue l'annexe 1. Elles ont été numérotées de 100 et 113 à 117 (les fiches 101 à 112 concernent les sites miniers uranifères de la Loire-Atlantique).

A chaque fiche de site sont rattachées des fiches de chantier. Ces dernières contiennent des informations plus techniques relatives à l'exploitation du chantier et des informations relatives à l'état actuel des sites.

Des planches photographiques, prises au cours des visites effectuées au cours des mois d'août et de novembre 2011, sont également présentées en annexe 2.

Une deuxième série de plans, présentés sur fonds cadastraux en annexe 4, font apparaître :

- l'emprise des terrains occupés par l'exploitation (stériles miniers, plates-formes, carreaux, verses, pistes ...),
- l'emprise des mines à ciel ouvert et leur mode de remblayage (partiel avec parements résiduels, total, en eau),
- une représentation schématique du réseau de galeries dans leur plus grande extension,
- les ouvrages de liaison fond-jour (puits, montages, descenderies),
- les périmètres et clôtures de sécurité.

5.2 SITUATION REGLEMENTAIRE DES SITES ET INSTALLATIONS ARRETEES

5.2.1 Titres miniers

Les sites miniers du Maine-et-Loire ont été exploités sur différents permis de recherche ou d'exploitation, comme montré dans le tableau ci-après.

Sites miniers	Périodes d'exploitation	Dernier titre minier auquel à appartenu le site à la fin de son exploitation
L'Ecarpière	1952 – 1990	Concession de Clisson
La Baconnière	1976 – 1988	Concession de Clisson
L'Anjouerie	1974 – 1983	Concession de Clisson
Le Retail	1978 – 1983	Concession d'Evrunes
La Bonnière	1979 – 1980	Permis de recherche de Saint-Christophe-du-Bois
Les Quatre-Chênes	1980	Permis de recherche de Saint-Christophe-du-Bois

L'échéance des concessions de Clisson et d'Evrunes a été fixée au 31/12/2018. L'emprise de ces concessions figure sur le plan n°1. Il n'existe aucun autre titre minier en cours de validité sur le département du Maine-et-Loire.

5.2.2 Situation administrative relative à la fermeture des sites

Sur les 6 sites miniers uranifères figurant dans ce bilan environnemental, 3 sites ont fait l'objet d'un dossier d'arrêt définitif des travaux, 2 d'une procédure de délaissement et 1 d'une procédure d'abandon. Seul le site des Quatre-Chênes ayant fait l'objet uniquement de travaux de recherches (tranchée) n'était pas soumis, conformément à la législation de l'époque, à une procédure particulière de fermeture administrative.

Le tableau suivant récapitule la situation administrative relative à la fermeture de l'ensemble des sites miniers du Maine-et-Loire.

Sites miniers		Procédures	Actes administratifs	Surveillance réglementaire	Servitudes
L'Ecarpière		Arrêt définitif des travaux	Arrêté inter-préfectoral du 15/04/2008 (1 ^{er} donné acte) Arrêté inter-préfectoral du 30/09/2009 (2 ^{ème} donné acte)	OUI • Arrêté préfectoral n°63 du 30/11/95 • Arrêté préfectoral n° 2008/ICPE/253 du 21/11/2008 • Arrêté inter-préfectoral du 30/09/2009	OUI
La Baconnière		Arrêt définitif des travaux	Arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30/11/2006 (1 ^{er} donné acte)	OUI	OUI
L'Anjouerie	Anj. Centre Couraillière	Délaissement	Lettre DRIRE du 03/11/1992	NON	OUI
	Anj. Ouest	Abandon	Arrêté préfectoral D3-92 n°869 du 17/11/1992	NON	OUI
Le Retail		Arrêt définitif des travaux	Arrêté préfectoral D3-96 n°492 du 13/05/1996	NON	OUI
La Bonnière		Délaissement	Lettre DRIRE du 23/07/1993	NON	OUI
Quatre-Chênes		<i>Ce site, considéré comme travaux de recherches de minime importance, n'a pas nécessité de procédure de fermeture.</i>			

5.3 SITES MINIERS ET BASSINS VERSANTS

L'emprise des sites miniers et la localisation des points d'exutoire (naturels ou forcés), permettent d'envisager le regroupement des sites miniers par bassins versants, en fonction des milieux récepteurs impactés.

Ces impacts potentiels ou identifiés sur le milieu aquatique peuvent avoir de multiples origines :

- **Eaux de surverse gravitaire ou pompées** après noyage de mines à ciel ouvert ou des travaux miniers souterrains. Leurs points d'exutoire peuvent être créés par :
 - la surverse du plan d'eau constituée par une mine à ciel ouvert isolée, ou le pompage de cette dernière (La Baconnière, L'Anjouerie, Le Retail et La Bonnière).
 - une émergence au niveau d'un ouvrage de liaison fond-jour de type puits, entrée de descenderie ou de travers-banc situé au point bas topographique du site (Sondage à l'Ecarpière)
- **Eaux de ruissellement avec un point de rejet identifié** : ces eaux peuvent éventuellement s'infiltrer dans les remblais stériles et réapparaître sous forme de sources de pied de vers. Leur débit est intermittent (L'Ecarpière).
- **Eaux de ruissellement ou écoulements souterrains avec points de rejets non identifiés** : leur impact est jugé potentiel. (La Baconnière, L'Anjouerie, Le Retail, La Bonnière et Les Quatre-Chênes).

Il faut également noter la présence de plans d'eau, hydrauliquement reliés à ces milieux récepteurs, qu'ils soient privés et de petites tailles, ou destinés comme réserve naturelle et de plus grande importance.

L'influence des sites miniers sur le réseau hydrographique local et les plans d'eau qui leur sont associés, est présentée sur la figure 2 et peut être résumée dans le tableau suivant :

Sites	Type d'écoulement	Plans d'eau en aval des sites	Cours d'eau secondaires		Cours d'eau principaux
L'Ecarpière	Identifié	/	----->		La Moine
La Baconnière	Potentiel	/	ruisseau de la Poblère	ruisseau de la Baconnière	
	Identifié		----->		
	Potentiel	Mare du village de la Basse Boissière	ruisseau de la Boissière		
L'Ajouerie	Potentiel	/	----->	ruisseau de l'Ergulière	
	Potentiel	/	ruisseau		
	Potentiel	/	ruisseau du Douet Aubert		
La Bonnière	Identifié	/	----->	ruisseau de la Bégauldière	
Quatre-Chênes	Potentiel	Etang localisé au Sud du village de la Saulnerie	ruisseau		
Le Retail	Potentiel	Trois étangs privés	----->		

5.4 PRESENTATION DES SITES

Afin d'améliorer les connaissances et d'effectuer un état des lieux, une visite des sites accompagnée d'une campagne de prélèvements (eau et sédiments) a été organisée en août et novembre 2011.

Pour des informations plus détaillées, il convient de se reporter aux fiches de sites et de chantiers en annexe 1.

5.4.1 Site de l'Ecarpière (Fiche 100 et Annexes n°2.1, 3.1, 4.1 et 5.2)

Le site de l'Ecarpière est localisé à 5 km au Nord-Est de Gétigné (44) et à 700 m au Sud de Saint-Crespin-sur-Moine (49). Le site est localisé à flanc de coteau le long de la rivière la Moine. Le paysage environnant est composé majoritairement de prairies et de champs.

Les travaux miniers ont été réalisés :

- En souterrain de 1952 à 1990 : ils ont consisté au creusement de 3 puits, 1 descenderie, 3 travers-bancs et 1 galerie d'accès, accompagnés d'un réseau de galeries d'environ 43 km, réparti sur 11 niveaux,
- Par mines à ciel ouvert, avec l'exploitation, de 1962 à 1990, de 4 MCO.

Une usine de traitement du minerai a fonctionné de 1956 à 1991. Deux types de traitement étaient réalisés : un traitement dynamique et un traitement statique (cf. chapitre 4.2). Les résidus de traitement ont été stockés à proximité.

Les travaux de réaménagement ont été réalisés comme décrit dans les paragraphes suivants.

LES TRAVAUX MINIERES :

La MCO Ecarpière Est a été totalement remblayée avec des produits stériles, et pour partie avec des produits résultants de la lixiviation statique. Au cours du réaménagement du bassin de stockage de résidus, elle a servi de zone d'emprunt de produits stériles de recouvrement : il en résulte une dépression à l'emplacement de l'ancienne fosse. Les produits de lixiviation statique demeurent néanmoins recouverts de produits stériles, assurant une bonne protection radiologique. Cette zone a été végétalisée par projection hydraulique. Elle est incluse dans un périmètre de sécurité clôturé.

La MCO la Moine a été remblayée avec des produits stériles pour permettre la mise en eau de la dérivation de la Moine. Elle est à l'aplomb de l'actuel lit de la Moine et ses abords sont boisés.

La MCO le Tail a été partiellement remblayée par du stérile en fond de fosse jusqu'à la cote NGF +20 m. La piste d'accès a été remblayée jusqu'à la cote NGF +40 m et les parements Sud et Est ont été confortés et remis en forme par talutage afin d'obtenir une pente plus douce. Les verses associées ont été remodelées avec des pentes identiques à celles du paysage environnant et recouvertes de terre végétale. L'ensemble a été ensemencé de manière traditionnelle pour les verses et par projection hydraulique pour les abords de la MCO. Actuellement, c'est un ensemble de prairies à bovins et un plan d'eau poissonneux clôturé sans utilisation. La MCO est clôturée et des panneaux indiquent le risque de noyade.

Creusée à flanc de coteau, la MCO la Braudière a été remblayée par des produits stériles jusqu'à la cote NGF +60 m et mise en forme de fils d'eau afin de collecter les eaux de ruissellement. L'extension ouest a été comblée avec remodelage, épandage de terre végétale et ensemencement. Le reste de cette zone n'a pas été recouvert de terre végétale et a fait l'objet de plantations réalisées par l'Office National des Forêts (6200 pins sur l'emprise de la MCO et en contrebas du village d'Hautegente, sur le bord Nord de la piste qui longe la Moine où 800 chênes ont été plantés). Une clôture grillagée a été mise en place en pied de parement sud pour prévenir d'éventuelles chutes de blocs. En 2008, une clôture agricole a été réalisée afin de cerner l'ensemble du parement sud de la mine à ciel ouvert. Des panneaux signalant le danger ont été mis en place à la périphérie de la clôture. Au Sud de la MCO, entre les villages de Braudière et Hautegente, une bande de terrain de 6 hectares a été réservée comme zone compensatoire de l'installation du champ photovoltaïque.

La mine souterraine a été noyée partiellement (cote NGF de l'exutoire : 57,45 m). Les ouvrages de liaison fond – jour ont été mis en sécurité (comblement avec des stériles, du sable et un bouchon de grave ciment). Les installations minières de surface ont été démantelées et leur emplacement réaménagé. La zone du carreau minier a été louée pour l'élevage de chevaux (2008 à 2011), actuellement ces parcelles sont inoccupées.

L'USINE DE TRAITEMENT DE MINERAIS ET SES INSTALLATIONS ANNEXES :

En 1992 et 1993, les installations ont été nettoyées. Le démantèlement s'est déroulé en deux phases. La première a été consacrée au démontage du matériel réutilisable, la seconde à la démolition des installations ayant contenu les liqueurs uranifères ou de l'uranium. Le bâtiment principal de fabrication et l'atelier de préparation des minerais ont été démolis. Les produits et matériels issus de cette démolition ont été stockés sur deux plateformes de 1 hectare chacune réalisées sur le stockage de résidus. Les bâtiments bureaux, vestiaire, ateliers et magasin, ainsi que le château d'eau industrielle alimenté par la station de pompage située en bordure de Moine ont été conservés.

En 2008 et 2009, les bâtiments techniques de l'ex-usine SIMO (excepté la salle formation/ex maison du gardien) ont été démolis. Les gravats de démolition ont été utilisés pour combler le vide laissé par l'enlèvement des stériles minières du parking extérieur, une clôture grillagée a été posée en limite de propriété. Une centrale photovoltaïque pour la production d'électricité est en projet sur l'ensemble de ces terrains.

Les anciennes aires de lixiviation statique ont été décapées jusqu'au terrain naturel et les produits ont été utilisés dans la couverture des résidus du site de stockage. L'ancien thalweg reconstitué permet l'évacuation des eaux de ruissellement vers la vallée de la Moine. L'ensemble a été recouvert de terre végétale et ensemencé.

Le stock de résidus de lixiviation statique, représentant 1 500 000 m³ et mis en verse sur le coteau durant l'exploitation de l'usine, ont été repris en totalité. Les résidus de lixiviation ont été utilisés dans la couverture des résidus du site de stockage. Le coteau a ainsi retrouvé une apparence proche de son état initial où la végétation naturelle a repris ses droits. Accroché au coteau, se trouve un chemin reconstitué, conformément à la convention passée entre la Commune de Gétigné et AREVA, il n'est pas actuellement ouvert au public mais appartient à la commune de Gétigné et relie l'Ecarpière au pont de Gaudu.

Le bassin Sud du stockage a été asséché par pompage des eaux libres, les pentes des digues ont été adoucies. Les produits de démolition des anciennes installations de traitement ont été stockés sur deux aires de un hectare chacune. L'ensemble du site de stockage a été recouvert :

- de un à huit mètres de produits de décapage et de résidus de lixiviation statique compactés pour remodeler la surface ;
- d'une couche de trente centimètres de matériaux compactés provenant de la carrière de gabbro (Aubron-Méchineau) de Gorges (44) ;
- de dix centimètres de terre végétale issus pour la majeure partie du site.

La revégétalisation par ensemencement de l'ensemble du site a permis de limiter les ravinements et de réaliser son intégration paysagère.

Deux alvéoles ont été créées à la surface du stockage pour accueillir les boues résiduelles de la station de traitement des eaux. Des cordons de remblais ont été préservés en bordure de bassins, en vue du recouvrement des alvéoles après arrêt de tout traitement.

En 2008, les stériles miniers retirés du parking extérieur de la SIMO ont été utilisés pour remettre à niveau les zones de tassement du site de stockage sur deux zones de la partie Nord. La terre végétale et le gabbro ont été « retroussés », les stériles ont été nivelés et compactés, le gabbro a été remis en place et compacté puis la terre végétale a été étalée. La végétalisation s'est faite de manière naturelle.

Le circuit des eaux du site est décrit en détail dans le paragraphe 10.1.1 « Réduction des impacts sur le vecteur Eau, Le site de l'Ecarpière » du présent bilan.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 80 à 100 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs		Valeurs radiométriques (mesurées en chocs/seconde SPP γ)
Travaux miniers souterrains	Ancien carreau minier	150 – 400
	A l'aplomb des travaux miniers souterrains	130 – 950
MCO Ecarpière Est	Chemin autour de l'ancienne mine à ciel ouvert	250 – 580
	Reste du site (parties accessibles)	130 – 950
MCO la Moine	Emprise de la mine à ciel ouvert	Aucune mesure possible
MCO la Braudière	Emprise de la mine à ciel ouvert	250 – 720
	Reste du site	130 – 950
MCO le Tail	Mesures prises autour de la mine à ciel ouvert	180 – 600
Usine de traitement	Emprise de l'ancienne zone usine	80 – 750
Stockage ICPE de résidus de traitement	Emprise du stockage	100 – 150

5.4.2 Site de La Baconnière (Fiche 113 et Annexes n°2.2, 3.2, 4.2 et 5.3)

Le site de la Baconnière est situé à 1,4 km au Sud-Ouest du village de Roussay. Le paysage environnant est constitué de bocages et de quelques bois.

L'exploitation du site a été réalisée :

- de 1976 à 1981 par travaux miniers souterrains, avec le creusement d'une descenderie et de deux montages, accompagnés d'un réseau de galeries sur deux niveaux ;
- de 1976 à 1988 par creusement de quatre mines à ciel ouvert (fosse 1, fosse 2, fosse 3-4 et fosse 5-6), de tailles très inégales, allant de 24 m à 80 m de profondeur.

Les travaux de réaménagement ont été réalisés comme décrit dans les paragraphes suivants.

LES TRAVAUX MINIERS :

Les ouvrages débouchant au jour ont été obturés de la manière suivante :

- Le montage M 110 a intégralement été remblayé par des produits tout-venant stériles. Une dalle béton a été mise en place en tête d'ouvrage. La tranchée d'accès située à la tête du montage, d'une profondeur de 10 m, a été comblée.
- Le montage M 102 a également été remblayé avec produits tout-venant stériles. Un bouchon de grave ciment a été mis en place en tête d'ouvrage sur 21 m, puis a été recouvert par du stérile.
- Concernant la descenderie L 100, un bouchon de grave ciment a été mis en place sur 20 m d'épaisseur à 52 m de l'entrée à l'aplomb d'environ 20 m de stot. L'entrée et la fosse d'accès à la descenderie L 100 ont été intégralement comblées par 25 000 tonnes de produits tout venant stériles.

Aucun désordre de surface lié aux travaux miniers souterrains n'a été constaté lors de la visite d'état des lieux de 2011.

LES MINES A CIEL OUVERT :

La remise en état du site a été réalisée au fur et à mesure de l'achèvement des différentes phases de travaux.

Les fosses n° 1 et 2 ont été intégralement remblayées par les stériles de la fosse n°3-4, qui a été, elle-même, totalement remblayée avec les stériles de la fosse n°5-6.

La fosse n°5-6 (dite fosse Baconnière-Bastille), de taille plus importante a été partiellement remblayée dans sa partie Est (fosse n°6) avec les stériles issus de l'exploitation de la partie Ouest (fosse n°5). Le reste de la MCO Baconnière-Bastille a été laissée en eau. L'excédent de stériles a été mis en verse à l'aplomb de la fosse n° 3-4 et au Nord-Est du site (verse « Bastille »).

Aucun tassement n'a été constaté dans l'emprise des MCO remblayées. La partie non-remblayée de la fosse 5-6 est actuellement en eau.

LES VERSES A STERILES ET LE CARREAU MINIER :

Les verses ont été remodelées au bulldozer pour en adoucir les pentes. Elles ont été recouvertes de terre végétale (préalablement stockées avant creusement des fosses) et engazonnées. Une pente maximum de 25 % leur assure une stabilité pérenne.

Les installations liées à l'exploitation des stériles (au Nord-Est du site) par les entreprises PLARD et MAUGES TP ont été démantelées en 1999. La zone d'emprunt de matériaux stériles a été remodelée.

En 2003, les bâtiments (atelier, hangar et bureaux) du carreau minier ont été déconstruits et/ou démolis. Seules des dalles béton, correspondant aux fondations des bâtiments et des aires goudronnées sont aujourd'hui en place.

En juillet 1995, une station de neutralisation des eaux de la fosse 5-6 a été mise en place au Nord-Ouest de la fosse. Son fonctionnement est décrit dans le paragraphe 10.1.2. Le ruisseau de la Baconnière, récepteur du rejet du site, longe l'ancien carreau minier à l'Ouest et se jette dans la rivière la Moine à 1,5 km au Nord de la fosse n° 5-6.

Le ruisseau de la Boissière prend sa source à l'Ouest et au SE de la fosse n°1 du site. Le ruisseau de la Poblère prend quant à lui sa source à 100 m au Nord de la fosse n° 5-6 puis longe la partie Est de la verse à stériles. Ces deux ruisseaux se jettent dans le ruisseau de la Baconnière.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 100 à 120 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs		Valeurs radiométriques (en chocs/seconde SPP γ)
Fosse 1	Emprise de la MCO	110 – 140
	Au Sud de l'ancienne entrée de la MCO et à proximité de la mare	250 – 400
Fosse 2	Emprise de la MCO	130 – 150
	Carrière exploitée par les agriculteurs, en contrebas et au Sud de la MCO	400 – 500
Fosse 3-4	Emprise de la MCO	130 – 180
Fosse 5-6	Mesures prises autour de la mine à ciel ouvert 5-6	180 – 1800
	Ancienne entrée de la MCO 5-6	6200 (valeur ponctuelle au sol)
Aire de stockage du minerai		450 – 650
Verse à stériles		300 – 450
Ancien carreau de la mine		150 – 400

5.4.3 Site de l'Anjouerie (Fiche 114 et Annexes n°2.3, 3.2, 4.3 et 5.3)

Le site de l'Anjouerie, situé à 1 km au Sud-Est de Roussay, est localisé dans un paysage de bocage. De 1974 à 1983, le site a connu l'exploitation de trois mines à ciel ouvert, d'une quarantaine de mètres de profondeur.

Les travaux de réaménagement ont consisté en :

- un remblayage total de la MCO Anjouerie Centre avec les stériles extraits de la MCO la Couraillère. Une couche de terre végétale a été mise en place ;
- un remblayage partiel de la MCO Anjouerie Ouest. La partie non remblayée constitue un plan d'eau, utilisé comme centre de plongée subaquatique ;
- une purge des têtes de parement de la MCO la Couraillère. Cette MCO a été conservée en eau et est aujourd'hui utilisée pour la pêche (loisirs) et l'alimentation en eau de bétail.

Aucun tassement n'a été constaté dans l'emprise des MCO remblayées.

Les bassins de décantation ont été curés et comblés. L'ensemble des installations du carreau minier ont été déménagées.

La verse à stériles est située au Nord-Ouest du site et est fortement végétalisée.

Le ruisseau de Douet Aubert longe le site, à l'Ouest de la MCO Anjouerie Ouest. Un second ruisseau prend sa source entre la MCO Centre et la MCO Anjouerie Ouest. Ces deux cours d'eau se jettent dans le ruisseau de l'Ergulière. Ce dernier s'écoule à environ 100 m à l'Ouest de la MCO de Couraillère et se jette dans la rivière la Moine.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 90 à 110 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs		Valeurs radiométriques (en chocs/seconde SPP γ)
Anjouerie Ouest	Autour de la mine à ciel ouvert	200 – 650
Anjouerie Centre	Emprise de la mine à ciel ouvert	150 – 200
	Chemin au SW de la MCO	250 – 600
La Couraillère	Autour de la mine à ciel ouvert	200 – 650
Verse à stériles		150 – 380 (valeur ponctuelle : 860)
Ancien carreau de la mine (parking du centre de plongée)		250 – 350
Ancien carreau de la mine (à proximité des mobilhomes)		250 – 350

5.4.4 Site de La Bonnière (Fiche 116 et Annexes n°2.5, 3.3, 4.4 et 5.4)

Le site de la Bonnière est situé à 3,3 km de la Romagne, dans un paysage de prairies, de cultures et de quelques bois, présentant un vallonement très adouci.

Le site a connu l'exploitation d'une mine à ciel ouvert, d'une profondeur de 27 m. La verse à stériles a été partiellement exploitée et remodelée. La partie de la verse non exploitée a servi :

- au remblayage partiel (environ 33 000 m³ de stériles) de la partie la plus profonde de la fosse (au Nord-Ouest) ;
- au remodelage du parement Est, lui donnant une pente plus faible.

Subsistent des parements sur une hauteur d'environ 3 à 6 m. Le reste de la mine à ciel ouvert a été conservé en plan d'eau. Il est ponctuellement utilisé pour la pêche de loisir.

Les installations de surface ont été démenagées en fin de chantier. L'ancien carreau de la mine à ciel ouvert n'est aujourd'hui plus visible.

Le ruisseau de la Bégaudière longe le site au Sud, puis se jette dans la rivière Moine.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 80 à 90 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs	Valeurs radiométriques (en chocs/seconde SPP γ)
Mesures prises autour de la mine à ciel ouvert	160 – 350
Ancienne aire de stockage du minerai	250 – 400
Ancienne verse à stériles remodelée	150 – 250

5.4.5 Site du Retail (Fiche 115 et Annexes n°2.4, 3.3, 4.4 et 5.4)

Le site, situé dans un paysage de bocages légèrement vallonné, est localisé à 3,7 km de la Romagne.

L'exploitation a été réalisée :

- par travaux miniers de 1979 à 1983, avec le creusement d'une descenderie et d'un montage, localisés en fond de MCO, accompagnés d'un réseau de galeries sur trois niveaux.
- par mine à ciel ouvert en 1978 puis en 1983, avec le creusement d'une fosse d'une profondeur de 23 m et d'une tranchée de reconnaissance.

À la fin de l'exploitation, en 1983, la descenderie et le montage ont été sécurisés :

- L'entrée de la descenderie a été condamnée par un bouchon de stériles miniers sur une dizaine de mètres de longueur.
- Le montage a été obturé par un bouchon de béton à sa base puis remblayé avec du sable et pose d'une plaque en acier en tête.

La mine à ciel ouvert a été partiellement remblayée. La partie non-remblayée est actuellement en eau et est utilisée pour l'arrosage de cultures et l'alimentation du bétail. Aucun tassement de surface n'a été repéré sur les terrains situés à l'aplomb des anciens travaux miniers souterrains ou dans la partie remblayée de la MCO.

La verse à stériles a été utilisée en partie pour le remblayage des anciens bassins de décantation des eaux d'exhaure et de l'ancienne tranchée de reconnaissance. La partie restante de la verse a été étalée sur le carreau et recouverte d'une couche de terre végétale.

Les installations de surface ont été déménagées, seule une ancienne cabane a été maintenue. En 1993, l'ancienne aire de stockage du minerai a été décapée et les déblais ont été transportés sur le site de la Baconnière. Après décapage, des produits stériles ont été mis en place puis ont été recouverts de terre végétale.

Il est à noter qu'une petite carrière de stériles miniers (3 m de hauteur et 10 m de largeur) a été exploitée par le propriétaire actuel. Cette petite exploitation a cessé il y a environ 10 ans.

Le ruisseau de la Bégaudière longe le site au Sud, puis se jette dans la rivière Moine. Le site est entouré d'étangs privés, utilisés pour la pêche, au Nord, au Sud et à l'Est. Ces étangs ne sont pas reliés à l'ancienne mine à ciel ouvert en eau.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 90 à 100 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs	Valeurs radiométriques (en chocs/seconde SPP γ)
Autour de la mine à ciel ouvert	250 – 350
Valeurs ponctuelles à l'ancienne entrée de la MCO.	350 – 950
Petite carrière exploitée par le propriétaire	350 – 450
Aire de stockage du minerai	180 – 320
Verse à stériles	250 – 660 (moyenne : 300)
Petite carrière exploitée par le propriétaire	350 – 450

5.4.6 Site des Quatre-Chênes (Fiche 117 et Annexes n°2.6, 3.3, 4.5 et 5.4)

Le site des Quatre-Chênes est situé à 3 km à l'Ouest de Saint-Christophe-du-Bois. Il est localisé dans un paysage de bocages vendéens.

Les travaux de reconnaissance ont eu lieu en 1980, avec le creusement d'une tranchée de 10 m de profondeur environ.

Cette tranchée a été intégralement remblayée à la fin des travaux. Les terrains de surface ont retrouvé leur vocation agricole d'origine (pâturages).

Un ruisseau saisonnier s'écoule à 50 m à l'Ouest du site et se jette dans le ruisseau de la Bégaudière, affluent de la rivière Moine.

Des mesures au SPP γ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 80 à 90 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Secteurs	Valeurs radiométriques (en chocs/seconde SPP γ)
Emplacement de l'ancienne tranchée (environ 200 m ²)	150 – 450
Chemin d'accès	100 – 140

6 RESIDUS ET DECHETS D'EXPLOITATION

Les résidus et déchets d'exploitation issus des anciens sites miniers uranifères sont :

- les stériles miniers,
- les résidus de traitement du minerai d'uranium,
- les produits de démantèlement (ferrailles, gravats et terres provenant du démantèlement des usines de traitements).

6.1 LES STERILES MINIERS

6.1.1 Généralités – Teneurs en uranium

Suivant la position du gisement et ses caractéristiques géométriques, le minerai a été extrait par mines à ciel ouvert ou par travaux souterrains.

Dans tous les cas, la réalisation d'accès au minerai a conduit à l'extraction d'une première catégorie de produits : ce sont les stériles francs. Il s'agit exclusivement de la roche encaissante du gisement qui fait partie du contexte géologique régional : les granites uranifères du Batholite de Mortagne ont des teneurs comprises entre 7 et 20 ppm (7 à 20 g/t). L'essentiel de l'uranium est porté par des oxydes et des phosphates.

Dans la pratique, en auréole du minerai ou à l'intérieur même du gisement, il est fréquent de trouver des roches ayant une teneur supérieure à celle des stériles francs, mais inférieure à une teneur de coupure définie selon les critères économiques du moment. Le tri radiométrique avait pour objet de les extraire séparément, pour éviter de « salir » le minerai. Elles constituent les stériles de sélectivité, dont la définition est avant tout économique et fonction du gisement et de sa situation géographique. Elle a donc évolué dans le temps et dans l'espace.

En règle générale, dans la région des Pays de la Loire, cette teneur de coupure était fixée à 300 ppm pour les travaux miniers souterrains, mais a été ramenée à 150 ppm à compter de 1986 pour les mines à ciel ouvert de Baconnière et de l'Ecarpière. L'ensemble de ces stériles (« francs » et dit « de sélectivité ») ont été mis en verses à proximité des lieux d'extraction.

Afin d'estimer la teneur moyenne, minimum et maximum en uranium des stériles stockés sur les sites, un échantillonnage régulier a été réalisé de 1984 à 1996 sur les zones d'emprunt dans le cadre de la cession de stériles dans le domaine public (cf. paragraphe 6.1.4).

Les résultats pour les sites des Pays de la Loire figurent sur le tableau suivant :

PROVENANCE	Période de cession	Radiométrie moyenne (en c/s SPP2)	TENEUR (ppm)		
			Min	Max	Moy
ECARPIERE (44 / 49)	1984 - 1990	577	15	106	59
BACONNIERE (49)	1984 - 1996	408	-	-	49
ANJOUGERIE (49)	1984 - 1988	366	-	-	33
BONNIERE (49)	1984 - 1985	498	16	87	26
CHARDON (44)	1984 - 1989	737	2	106	59
PEN AR RAN (44)	1984 - 1990	462	24	211	71
CORMIER (44)	1984 - 1992	230	13	38	24
CONCESSION DU HAUT-MORA (44)	1985 - 1991	343	21	39	30
COMMANDERIE (79 / 85)	1984 - 1996	482	5	150	71
POITOU-LA-GABRIELLE (85)	1986 - 1987	484	37	93	69
BEAUREPAIRE (85)	-	-	60	60	60
DORGISSIERE (79)	1989	585	-	-	-

- Les valeurs radiométriques (chocs par seconde) résultent de contrôles réalisés au SPP2 sur les zones d'emprunt à fréquence mensuelle pendant toute la période de cession de stériles,
- Les teneurs résultent d'analyses réalisées sur les stériles au moins une fois par an pendant toute la durée de cession de stériles.

Il apparaît ainsi que les stériles miniers échantillonnés présentent des concentrations en général inférieures à 150 ppm. Les moyennes, selon les sites s'établissent entre 24 et 71 ppm. La moyenne générale est de 50 ppm.

6.1.2 Caractérisation minéralogique et géochimique

La caractérisation minéralogique et géochimique a été définie par le Centre de Recherches sur la Géologie des Matières Premières Minérales et Energétiques (CREGU) de NANCY en novembre 1995, à partir d'un échantillonnage réalisé sur la couverture du stockage de résidus de traitement de minerai du site de l'Ecarpière.

Les fractions granulométriques de l'échantillon analysé sont décrites comme suit :

- la fraction fine (< 40 µm) représente près de 20 % de l'échantillon. Cette fraction, constituée de fines particules, présente une surface réactive très élevée, car elle est constituée de minéraux de grande surface spécifique (argiles, hydroxydes) ;
- la fraction intermédiaire (40 à 991 µm) est faiblement représentée (24 %). Sa nature minéralogique est constituée des mêmes assemblages minéraux que la fraction la plus grossière ;
- la fraction la plus grossière (1 à 100 mm) représente plus de 50 % du poids du matériau échantillonné.

Les stériles miniers sont donc hétérogènes à petite échelle (centimétrique et décimétrique) du point de vue de la répartition des minéraux et de leur granulométrie. Cependant, ils sont globalement constitués de minéraux identiques : quartz, feldspaths potassiques et sodiques, minéraux en feuillets (muscovite, biotite chloritisée), et minéraux accessoires (apatite, zircon, monazite).

A cette matrice, s'ajoutent des reliques de minéralisation, disséminées ou le plus souvent fissurales : pyrite altérée couverte d'hématite, chalcopryrite, pechblende (où seuls des boxworks sont encore observables) et ses produits d'altération dus aux attaques acides naturelles ou artificielles (coffinite, oxydes mal cristallisés, autunite (phosphate d'uranium)).

Sur ou entre les blocs, une paragenèse d'altération supergène liée au stockage en surface (verses) est observée : sulfates (U, Fe, Ca, Al), oxydes et hydroxydes (Fe, Mn). Les blocs de stériles sont ainsi souvent emballés dans une matrice boueuse très fine attribuable à des processus d'oxydo-réduction, d'aspect généralement rouille (hydroxydes de fer : goethite s.l) ou blanche (lessivage du fer ou zone de réduction en profondeur). Les principaux minéraux argileux constituant la fraction fine sont constitués de montmorillonite et interstratifiés illite / smectite (50 %), illite (25 %), kaolinite (15 %) et chlorite (5 %).

Du point de vue géochimique, ces stériles de type granitique se caractérisent par des enrichissements spécifiques en un cortège d'éléments typiques d'encaissant cristallin acide, Be, Bi, Cs, Nb, Rb, Sn, Ta, W et sont déprimés en Co, Cr, Ni, V.

6.1.3 Réaménagement des verses à stériles

Dans la région des Pays de la Loire, les stériles représentent entre 60 % et 95 % du volume total extrait, en fonction de la taille de la découverte initiale et du type d'exploitation (MCO et TMS). Ainsi, il est possible d'estimer la quantité de stériles extraits sur le département du Maine-et-Loire à environ 17 500 000 tonnes.

Il s'agit majoritairement de stériles extraits par mine à ciel ouvert (rapport minerai/stériles = 1/10), et dans une moindre mesure par travaux souterrains (rapport minerai/stérile = 1/1), avec respectivement 93 % et 7 % du volume extrait.

Une partie d'entre eux a servi, lors du réaménagement, au comblement des ouvrages de liaisons fond-jour et des mines à ciel ouvert. Une autre partie de ces stériles ont fait l'objet de cessions, comme décrit dans le paragraphe 6.1.4 « Réutilisation particulière des stériles ». Ces informations sont synthétisées dans le tableau suivant :

Sites miniers	Remblayage		Sites actuellement concernés par une verse à stériles	Verse à stériles ayant fait l'objet d'une cession
	MCO	TMS		
L'Ecarpière	Oui	Oui	Oui	Oui
La Baconnière	Oui	Oui	Oui	Oui
L'Anjouerie	Oui	Non Concerné	Oui	Oui
Le Retail	Oui	Oui	Oui	Oui
La Bonnière	Oui	Non Concerné	Oui	Oui
Quatre-Chênes	Oui	Non Concerné	Non	Non

De cette manière, sur les 6 sites présentés dans le présent bilan, 5 sites sont aujourd'hui concernés par la présence d'une verse à stériles : l'Ecarpière, la Baconnière, l'Anjouerie, Le Retail et la Bonnière.

Le tableau suivant met en évidence la nature du réaménagement effectué pour chacune des verses, et les mesures radiométriques réalisées au SPP γ au cours des visites de terrain de 2012.

Sites miniers	Aspect actuel de la (des) verse(s)	Réaménagements	Radiométrie en chocs/s SPP γ	Estimation du débit de dose en nGy/h ⁽¹⁾	Remarques
L'Ecarpière	Verses remodelées	<ul style="list-style-type: none"> • Verses remodelées selon la topographie avoisinante • Ont fait l'objet d'un ensemencement 	130 – 950	184 – 668	Remodelées selon la topographie avoisinante
Baconnière	Verses remodelées	<ul style="list-style-type: none"> • Verses remodelées et recouvertes de terre végétale • Ont fait l'objet d'un ensemencement 	300 – 450	284 – 373	Zone d'emprunt de stériles remodelée a posteriori Aujourd'hui fortement végétalisée
Anjouerie	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> • Remodelage de la verse 	300 – 450	284 – 373	Aujourd'hui fortement végétalisée
Le Retail	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> • Verse remodelée et recouverte de terre végétale 	250 – 660 (moyenne : 300)	255 – 497	Remodelée selon la topographie avoisinante
La Bonnière	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> • Remodelage de la verse 	150 – 250	196 - 255	Verse utilisée pour le remodelage du parement Est de la MCO

(1) Estimation du débit de dose à partir de la courbe établie par ALGADE (Figure 6). Les chocs par seconde expriment le rayonnement gamma mesuré et les grays (ou Joule par kg) l'énergie du rayonnement reçu.

6.1.4 Réutilisation particulière des stériles

Des cessions de stériles de mines ont été réalisées, soit en petites quantités dans le cadre d'une politique de bon voisinage, soit en quantités plus importantes dans le cadre de contrats de vente aux entreprises locales de carrière et travaux publics, lorsque ces matériaux étaient commercialisés par ces entreprises.

L'exploitation des stériles de mines par ces entrepreneurs locaux a fait l'objet de conventions de cessions avec COGEMA qui subordonnaient leur application à l'obtention par les intervenants des autorisations administratives nécessaires et précisaient les restrictions d'usage de ces stériles.

En mai 1984, l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) confirmait que le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (SCPRI) autorisait l'utilisation de ces stériles, et conseillait de mettre en place une procédure de cession.

Cette procédure a été, dès lors, mise en place avec établissement d'une fiche de renseignement indiquant :

- le lieu de stockage (nom du site minier),
- le nom et l'adresse du carrier,
- la teneur moyenne estimée en uranium du produit,
- la quantité approximative du matériau vendu (en quantité totale ou en quantité annuelle),
- l'usage prévu (parking, route, remblai ...),
- le lieu d'utilisation (commune et si possible repérage des routes).

Il était en outre précisé que ces stériles ne pouvaient être utilisés pour la construction d'habitations, entrepôts et bureaux, ni à leurs soubassements en tant que matériaux comme en tant qu'agrégats constitutifs. Ces fiches ont été envoyées, tel que préconisé par la procédure, au SCPRI.

Une synthèse des cessions de stériles apparaît sur un tableau récapitulatif sur la figure 7.

Les dernières cessions de stériles ont eu lieu sur le site de La Baconnière en 1996.

6.2 LES RESIDUS DE TRAITEMENT DU MINERAI

Les minerais, en fonction de leur teneur, ont été traités selon deux modes :

- le traitement par lixiviation statique pour des minerais à faible teneur (150 à 600 ppm d'uranium),
- le traitement par lixiviation dynamique pour les minerais à teneur plus élevée.

Les filières de traitement de ces deux catégories de minerai conduisent donc à des résidus de traitement de caractéristiques différentes.

6.2.1 Les résidus de traitement statique

6.2.1.1 Généralités et activités

Les résidus de traitement statique correspondent au minerai (brut ou concassé à 80 mm) résiduel après extraction de l'uranium (rendement 76 à 83 %) par lixiviation en stalles ou en tas, par arrosage avec une solution d'acide sulfurique (dosée de 10 à 300 g.l⁻¹). Les liqueurs uranifères, chargées à quelques centaines de mg.l⁻¹ étaient recueillies et dirigées vers l'usine de traitement. En fin d'opération, un lavage à l'eau était réalisé et arrêté quand la teneur en uranium des eaux devenait inférieure à 20 mg.l⁻¹.

Le procédé est décrit au paragraphe 4.2.2.

L'activité massique résiduelle demeure de l'ordre de 70 à 85 % de l'activité massique du minerai original en raison de la présence de l'uranium non extrait et de tous ses descendants qui n'ont pas été lixiviés. Elle reste donc faible (60 ppm d'uranium).

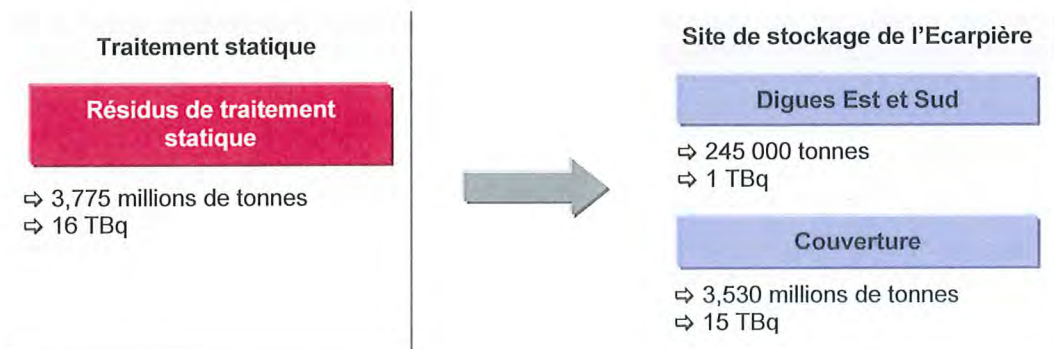
Seul un site du Maine-et-Loire a accueilli des installations de lixiviation statique en tas sur aire étanche : le site de l'Ecarpière, de 1967 à 1990, avec 3,8 millions de tonnes provenant de tous les sites exploités dans la région durant cette période.

6.2.1.2 Gestion des résidus de traitement statique

Les résidus de traitement statique de l'Ecarpière ont été utilisés :

- comme matériaux de construction des digues sud et est (245 000 tonnes avec une activité de 1 TBq de radium 226) du bassin de stockage de résidus de traitement dynamique du site de stockage de l'Ecarpière,
- comme matériaux de première couverture sur le stockage de résidus de traitement dynamique du site de stockage de l'Ecarpière (3,530 millions de tonnes avec une activité de 15 TBq de radium 226).

La gestion des produits de lixiviation peut être illustrée de la manière suivante (TBq en radium 226) :



6.2.2 Les résidus de traitement dynamique

6.2.2.1 Généralités et activités

Les résidus de traitement dynamique correspondent à la fraction de la roche broyée et rejetée après extraction, par procédé chimique, de la plus grande partie de l'uranium (rendement compris entre 95 et 97%).

Ce procédé n'a été appliqué que pour des minerais d'une teneur supérieure à 0,6 ‰. Les résidus de traitement se présentent sous la forme d'un sable fin argileux (granulométrie < 450 µm) ayant la même composition minéralogique que le minerai originel, auquel s'ajoutent des précipités chimiques, essentiellement des sulfates de chaux et des hydroxydes métalliques (Fe et Al) produits à différentes étapes du procédé (attaque à l'acide sulfurique, neutralisation à la chaux ...).

Ces résidus contiennent essentiellement les radionucléides non extraits appartenant aux deux familles de l'uranium naturel (U_{238} et U_{235}), avec notamment le radium, très insoluble, qui reste en quasi-totalité dans le résidu solide. Ils leur confèrent une activité résiduelle représentant un peu moins des trois quarts de l'activité initiale du minerai.

L'activité massique de ces résidus dépend de leur granulométrie et de la teneur du minerai traité au cours du fonctionnement de l'usine.

Les études minéralogiques ont permis de caractériser l'essentiel des phases minérales constitutives des différentes fractions granulométriques :

- l'une est composée de fragments de quartz, feldspaths, micas, sulfures très altérés qui sont le reflet du granite encaissant et de la minéralisation uranifère exploitée et traitée : il s'agit donc de minéraux hérités ou primaires ;
- l'autre correspond à un ensemble de minéraux qui constitue un ciment autour des minéraux hérités ; il s'agit d'une association de gypse, oxy-hydroxydes de fer, argiles (dont la smectite) qui se sont formés après le dépôt des résidus : il s'agit de minéraux néoformés ou secondaires.

La composition chimique des résidus issus du traitement est la suivante :

Elément	Fraction	
Silice	60 à 90 %	soit 99 % de produit radiologiquement inerte
Alumine	2 à 20 %	
Oxydes de fer	2 à 10 %	
Sulfates	5 à 8 %	
Oxydes de calcium	0,05 à 7 %	
Autres oxydes	0,3 à 7 %	
Uranium	20 à 100 g/t	soit 1%
Radium	0,0006 g/t	

ANALYSES DES RADIONUCLÉIDES DES RESIDUS DE TRAITEMENT DYNAMIQUE

Des analyses des radionucléides des résidus de traitement dynamique ont été réalisées par le laboratoire COGEMA des Sciences de la Terre sur des échantillons provenant de deux sondages carottés de 30 et 36 mètres, exécutés en 1993, sur toute l'épaisseur du stockage de l'Ecarpière.

Les analyses sur les radionucléides portent sur l'uranium 238, le radium 226 et le plomb 210 :

U₂₃₈ en Bq/kg		Ra₂₂₆ en Bq/kg		Pb₂₁₀ en Bq/kg		Teneur minéral équivalente (‰)	
Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum
1 320	6 630	20 300	54 610	24 175	70 700	1,65	4,44

On note :

- un équilibre entre le Ra₂₂₆ et Pb₂₁₀ non touchés par l'attaque acide et témoins de l'équilibre initial des minéraux,
- une activité en uranium liée à l'uranium résiduel non extrait (rendement usine de 95 à 97%).

PETROGRAPHIE DES RESIDUS DE TRAITEMENT DYNAMIQUE

Ces résidus se présentent sous forme de limons sableux composés d'éléments hérités des anciens minéraux : quartz – feldspath potassique – plagioclase (albite – oligoclase) – biotite fraîche ou remplacée par une chlorite ferromagnésienne – muscovite – calcite – minéraux accessoires (tourmaline, zircon, apatite, rutile) – oxydes de fer et de la pyrite.

Le ciment est constitué principalement de gypse néoformé en cristaux ou agrégats, calcite et hydroxydes de fer. On observe dans les échantillons les plus profonds une augmentation de la teneur en argile (smectite) indiquant une néoformation de cette dernière. Ce phénomène est le témoin de processus diagénétique dans le stockage de résidus qui participent à son confinement.

Par ailleurs, différentes études (lixiviation, pétrographiques...) ont été menées. Elles aboutissent au constat suivant :

- La proportion de minéraux secondaires (sulfates, argiles, hydroxydes) au sein des stockages et leur dimension augmentent peu à peu avec le temps,
- Le développement de ces minéraux secondaires a une grande influence sur les caractéristiques physico-chimiques des résidus ; ils entraînent une diminution sensible de leur perméabilité (déjà faible à l'origine : $< 10^{-8}$ m.s⁻¹), une augmentation de leur cohésion et l'établissement d'un équilibre chimique entre l'eau qui les imprègne d'une part, et les minéraux hérités du minéral et les minéraux secondaires d'autre part,

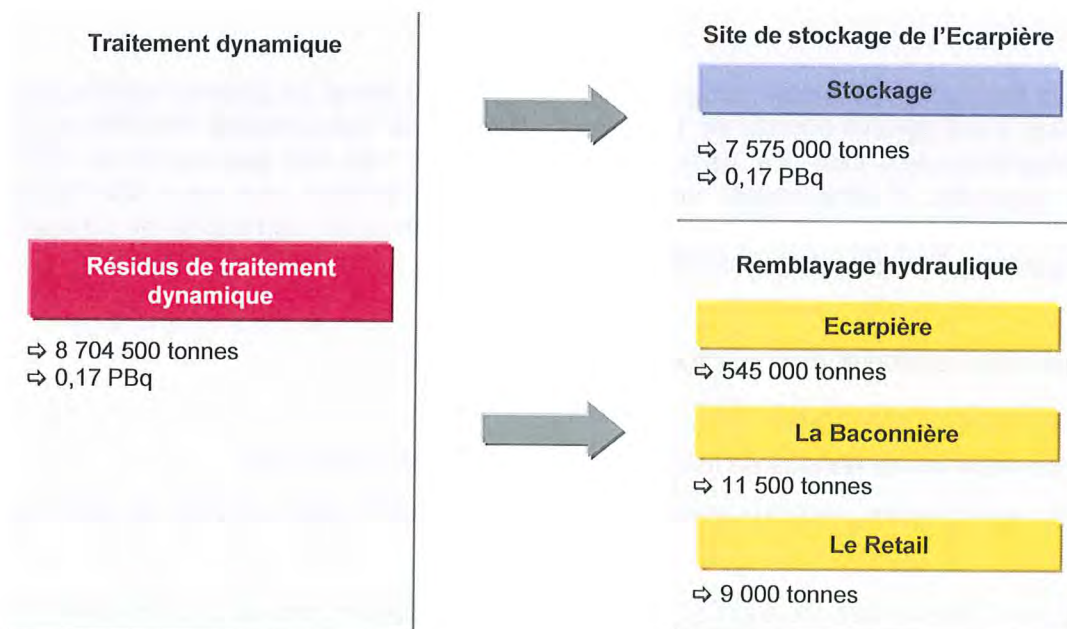
- Dans les stockages, ces minéraux secondaires représentent 5 % de la masse du résidu ; les 95 % restant correspondent aux minéraux primaires hérités. Les tests normalisés de lixiviation réalisés sur plusieurs types de résidus ont montré que l'essentiel des radionucléides et métaux est associé à ces espèces secondaires qui jouent ainsi le rôle de « piège ». C'est ainsi que les tests de lixiviation à l'eau montrent que seul 1 % du radium total contenu dans certains résidus est progressivement remobilisable et susceptible d'être transporté par l'eau. Les résultats sont obtenus dans des conditions beaucoup plus agressives que celles rencontrées dans la nature.

6.2.2.2 Gestion des résidus de traitement dynamique

Une partie des résidus ont subi, pour les besoins de l'exploitation souterraine, une séparation granulométrique par cyclonage en deux fractions de caractéristiques physico-chimiques différentes :

- La fraction grossière (0,15 à 0,50 mm) est un sable composé des minéraux résiduels ayant résisté à l'attaque chimique. On retrouve ici le cortège classique des minéraux primaires entrant dans la composition du granite uranifère local. L'activité massique de cette fraction sableuse est très inférieure à l'activité massique initiale des résidus. Ce sable a été utilisé en remblayage des travaux miniers souterrains pour la méthode dite « montante remblayée »,
- La fraction fine (< 0,15 mm) est principalement composée de minéraux argileux imprégnés de sulfates et d'hydroxydes générés par le traitement. Elle contient l'essentiel de la radioactivité résiduelle. Elle a été stockée (avec les résidus non cyclonés) dans le bassin aménagé du site de l'Ecarpière.

La gestion des résidus de traitement dynamique peut être illustrée de la manière suivante :



REMBLAYAGE HYDRAULIQUE DES CHANTIERS

Les vides créés après évacuation du minerai étaient comblés par des sables (granulométrie inférieure à 0,15 mm) en provenance de l'usine de traitement, et acheminés de façon hydraulique par un réseau de tuyauterie depuis des stations de remblayage situées en surface.

Le bilan de sable injecté, par site, est figuré dans le tableau suivant :

Site	Période de remblayage	Quantité de sables utilisées (tonnes sèches)
Ecarpière (44 - 49)	1966 - 1989	545 000
La Baconnière	1980	11 500
Le Retail	1979-1982	9 000
TOTAL		554 000

Estimation de l'activité massique :

L'activité massique en radium 226 pour la fraction grossière (150 à 500 µm) des résidus de lixiviation statique et dynamique est de l'ordre de 8 500 à 9 000 Bq par kilogramme.

STOCKAGE DES RESIDUS DE TRAITEMENT DYNAMIQUE

Le site de l'Ecarpière constitue le seul site de stockage de résidus de traitement dynamique pour l'ensemble des sites miniers exploités dans la région des Pays-de-la-Loire. La zone de stockage comprend 2 bassins (Nord et Sud) entourés par des digues, sa superficie totale est de 72 hectares dont 22 hectares de digues.

Le bassin Nord a été constitué par étapes successives. Au début, un premier bassin proche de l'usine est réalisé. Il est agrandi à partir de 1971 par l'adjonction de trois bassins vers l'Est en direction de la route départementale D60. En 1976, ces quatre bassins n'en font plus qu'un de 15,6 hectares de surface lagunaire. Il était utilisé comme bassin de décantation des eaux d'exhaure de la mine souterraine. Suite à sa saturation, une nouvelle extension a été demandée et autorisée en 1983. Il s'agit du bassin Sud qui représente 25 hectares.

Les digues qui ceinturent ces bassins sont de deux types :

- en sable pour le bassin nord,
- en sable ou en résidus de lixiviation statique pour le bassin sud.

Elles sont équipées en pied d'un système de drains s'écoulant dans un fossé de ceinture.

Les digues du bassin ont été édifiées au fur et à mesure des besoins en une trentaine d'années.

La digue nord, commence en 1958 par la mise en place d'un barrage en enrochement servant de digue d'ancrage sur le talweg du ruisseau de l'Ecarpière. Elle a été érigée selon la méthode amont (dépôt de sable sur la paroi interne). Elle s'est prolongée vers l'Est au début des années 1970.

Les autres digues sont construites selon la méthode verticale (dépôt des couches de sable les unes au dessus des autres, la crête s'élevant peu à peu au même emplacement) et suivant la méthode amont en phase finale.

Toutes les digues sont équipées d'un système de drainage.

Le bassin (hors digue) a ainsi une surface de l'ordre de 50 ha. L'épaisseur maximale des résidus stockés en tête de digue est de l'ordre de 40 mètres. 7 575 000 tonnes de résidus avec une activité de 0,17 PBq de radium 226 ($\approx 22 \text{ Bq.g}^{-1}$) ont ainsi été stockés (Fiche ANDRA N° PAY3).

Le drainage des eaux est assuré par un système de drains, les eaux sont collectées dans des fossés qui s'écoulent dans un bassin situé au point bas du site et renvoyées à la station pour y être traitées.

Les pentes des digues ont été adoucies pour en augmenter la stabilité.

Afin de diminuer l'impact radiologique résiduel et pour son réaménagement, l'ensemble du stockage a été recouvert par une couverture constituée d'une sous-couche de 1 à 8 mètres de résidus de traitement statique compactés surmontée par 30 centimètres de matériaux compactés provenant de la carrière de gabbro située à Gorges, et d'une dizaine de centimètres de terre végétale. L'ensemble de la surface constituée par les digues et le bassin a été revégétalisé.

Dans cette opération, 3,5 millions de mètres cubes de produits ont été mouvementés.

6.3 LES PRODUITS DE DEMANTELEMENT

6.3.1 Origine des produits mouvementés pendant le réaménagement

Le réaménagement du site de stockage de résidus est intégré dans le réaménagement de l'ensemble du site de l'Ecarpière ; les produits suivants ont donc été utilisés pour la mise en forme du site de stockage :

- le stock de résidus de lixiviation statique,
- les produits de décapage des anciennes aires à lixiviation statique,
- les produits de décapage du carreau de la mine souterraine,
- les produits du décapage de l'aire de l'ancienne usine SIMO.

Ces produits « à gérer » ont servi au recouvrement des bassins et donc à la mise en forme de la couverture pour permettre un bon écoulement des eaux météoriques. Ils ont été recouverts de 30 centimètres de matériaux provenant de la carrière de gabbro située à Gorges (département 44) et de 10 centimètres de terre végétale.

6.3.2 Démantèlement de l'usine SIMO de l'Ecarpière

Après nettoyage des installations entrepris à l'arrêt de l'usine, le démantèlement s'est déroulé en trois phases :

- Démontage du matériel réutilisable.
- Démolition des installations ayant contenu des liqueurs uranifères ou de l'uranium et non réutilisables.
- Démolition des bâtiments de production.

Un contrôle radiologique de ces matériaux a été effectué lors du démantèlement, l'activité en radium 226 est évaluée à 0,8 TBq, qui est comptabilisé dans les 0,17 PBq du site de stockage.

En application de l'arrêté préfectoral de 1983, tous les produits de démantèlement de l'usine ont été stockés sur deux plateformes de 1 hectare chacune, situées dans la partie sud du bassin de stockage de l'Ecarpière.

6.3.3 Boues de station de traitement des eaux

Le traitement physico-chimique habituel des eaux d'exhaure permet, par des phénomènes tels que précipitation, co-précipitation, adsorption, d'éliminer des éléments préalablement dissous (radium, uranium, métaux), autorisant ainsi un rejet dans l'environnement. Ce traitement génère des boues chimiques dont la composition dépend de la qualité des eaux à traiter et de la nature des réactifs utilisés.

Seul le site de l'Ecarpière est concerné par la production de boues chimiques dans la région des Pays de la Loire.

A l'Ecarpière, le radium 226 (radioélément majeur à traiter) est ainsi insolubilisé par ajout d'une solution de chlorure de baryum en présence d'ions sulfate (naturellement présents). Il est précipité sous forme d'un sulfate double de baryum et radium.

Les boues produites par le traitement et décantées dans les bassins de la station sont régulièrement pompées et stockées dans une des deux alvéoles, situées à l'aplomb des résidus de traitement dynamique à l'Ouest du bassin de stockage de l'Ecarpière.

La production de boues est de l'ordre de 800 à 1 000 m³ humides par an.

Une caractérisation des boues de traitement des eaux d'exhaure de l'Ecarpière a été réalisée entre 1995 et 1997 par le Service d'Etudes de Procédés et Analyses de COGEMA. Les résultats des deux prélèvements sont figurés dans les tableaux suivants :

Site	Date de prélèvement	H ₂ O %	Matière sèche g.l ⁻¹	U ₂₃₈ Bq.kg ⁻¹ ms	Th ₂₃₀ Bq.kg ⁻¹ ms	Ra ₂₂₆ Bq.kg ⁻¹ ms	Pb ₂₁₀ Bq.kg ⁻¹
Ecarpière	11/1995	89,6	109,4	7 200	< 100	3 470	1 180
Ecarpière	05/1996	90,7	99,3	3 720	1 900	2 960	2 110

1995 : la boue a été prélevée dans la lagune du bassin de stockage.

1996 : la boue a été prélevée en sortie de station de traitement.

L'analyse des éléments majeurs de la boue sèche est reportée ci-dessous :

Site	Si (%)	Al (%)	SO ₄ (%)	Ba (ppm)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	As (ppm)
Ecarpière	7,80	7,14	9,80	13 400	6,36	2,02	0,38	51
Ecarpière	7,92	3,76	9,14	11 500	6,30	10,40	13,40	72

Une analyse qualitative par balayage en fluorescence X a permis de noter, à l'état de traces, des métaux tels que Ni, Zn, Cu, Pb, Tl, As, Sr, Cr ...

Les échantillons sont similaires. On peut y noter des teneurs comparables sur plusieurs éléments (Si, Fe, SO₄, Ba, As, Ra....). Ils ne diffèrent que par leur taux d'humidité, l'échantillon prélevé en 1996 est plus humide et par conséquent moins chargé en matière sèche. L'uranium est aussi moins concentré.

Les tests de lixiviation normalisés ont montré qu'il faut 100 à 1 000 fois plus d'eau que de solide, avec six renouvellements d'eau, pour remobiliser de façon quantitative le radium (> 1 %).

7 EVALUATION DES IMPACTS EN TERME DE SECURITE PUBLIQUE

7.1 INTRODUCTION

L'abandon d'un site minier passe nécessairement par la mise en sécurité de l'ensemble des ouvrages miniers. Cette mise en sécurité, destinée prioritairement à assurer la sécurité du public et de l'environnement est prévue par le Code Minier, complété et modifié en particulier par :

- le décret n° 95-696 du 9 mai 1995 relatif à l'ouverture des travaux miniers qui, dans son article 44, précise que le document accompagnant la déclaration d'arrêt des travaux et installations devait comporter « *un document relatif aux incidences prévisibles des travaux effectués sur la tenue des terrains de surface* » ;
- le décret n° 2001-209 du 6 mars 2001, modifiant le décret n° 95-696 et en particulier l'article 44 du Code Minier, qui impose « *la réalisation d'une étude ayant pour objet de déterminer si des risques importants [...] subsisteront après le donner acte mentionné au neuvième alinéa de l'article 91 du Code Minier* » ;

Il est à noter que le décret n° 95-696 du 9 mai 1995 a été abrogé par décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains. Cependant, cet arrêté de 2006 stipule que le décret de 1995 « *demeure toutefois applicable aux demandes d'autorisation et aux déclarations d'ouverture de travaux miniers ainsi qu'aux déclarations d'arrêt de travaux présentées avant la publication du [...] décret [de 2006]* ».

- le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains impose que :

La déclaration d'arrêt des travaux prévue par l'article 91 du code minier [...] adressée au préfet par l'exploitant, [...] soit] accompagnée des documents et informations suivants selon la nature des travaux :

1° Des plans géoréférencés des travaux et installations faisant l'objet de la procédure d'arrêt, à des échelles adaptées, et de la surface correspondante ainsi que, notamment, s'il y a persistance de risques mentionnés au troisième alinéa de l'article 91 du code minier, les plans, coupes et documents relatifs à la description du gisement [...] et des travaux réalisés ; [...]

4° Pour les mines, une étude ayant pour objet de déterminer si des risques importants, notamment ceux mentionnés à l'article 93 du code minier, subsisteront après la décision mentionnée au neuvième alinéa de l'article 91 du code minier, mettant fin à l'exercice de la police des mines dans les conditions prévues à l'alinéa suivant ; cette étude doit préciser la nature et l'ampleur des risques, les secteurs géographiques affectés ainsi que les raisons techniques et financières pour lesquelles ces risques ne peuvent être supprimés ;

5° Pour les mines, dans le cas où l'étude mentionnée au 4° ci-dessus a révélé la persistance de tels risques, l'indication des mesures de surveillance ou de prévention mentionnées au troisième alinéa de l'article 91 et au premier alinéa de l'article 93 du code minier, accompagnée d'un document descriptif et estimatif des moyens humains et matériels correspondants ainsi que, s'il y a lieu, de la liste des servitudes nécessaires à leur mise en œuvre ; [...];

- la loi n° 99-245 du 30 mars 1999 relative à la responsabilité en matière de dommages consécutifs à l'exploitation minière et à la prévention des risques miniers après la fin de l'exploitation qui, dans la reprise de l'article 93 du Code Minier, dispose que « lorsque des risques importants d'affaissement de terrains [...] ont été identifiés lors de l'arrêt des travaux, l'exploitant met en place les équipements nécessaires à leur surveillance et à leur prévention et les exploite ».

Remarque : L'ordonnance n° 2011-91 du 20 janvier 2011 porte codification de la partie législative du code minier. Elle entrera en vigueur le 1er mars 2011. Il s'agit d'une recodification de la partie législative du code minier en droit constant. Les modifications apportées par cette ordonnance ne concernent donc pas les modalités de mise en sécurité des anciens sites miniers.

Les risques physiques en terme de sécurité publique sont liés à :

- Pour les travaux miniers souterrains :
 - l'existence d'ouvrages de liaison fond-jour (puits, galeries, montages ...),
 - les risques de fontis, d'affaissement en surface,
 - les risques de chute dans les ouvrages miniers non fermés,
- Pour les exploitations à ciel ouvert :
 - les risques de chutes de personnes à partir des têtes de parois,
 - les risques d'instabilité des parois,
 - les risques d'instabilité des verses à stériles,
- Pour les stockages de résidus de traitements du minerai :
 - les risques d'instabilité ou de rupture pour les digues de retenue de stockage.

7.2 LES RISQUES LIES AUX TRAVAUX MINIERES SOUTERRAINS

Les risques de chutes de personnes ou d'animaux, les risques d'intrusion dans les travaux souterrains ont conduit les exploitants à obturer ces ouvrages.

L'inventaire des ouvrages verticaux débouchant au jour a été réalisé sur la base des documents d'archives et de la connaissance des sites. Ils font l'objet d'un contrôle périodique, renforcé par l'analyse environnementale réalisée préalablement à la rédaction de ce présent bilan.

7.2.1 Les ouvrages de liaison fond-jour

LES OUVRAGES VERTICAUX

La mise en sécurité de ces ouvrages a consisté en un remblayage intégral sur l'ensemble de leur relevé selon des procédures adaptées à leur géométrie et à leurs caractéristiques propres :

➤ Pour le site de l'Ecarpière :

Ouvrages Raise boring de type Robbins, Ecofore, puits : Mise en sécurité de type 1 :

Ces ouvrages cylindriques présentent une surface intérieure régulière et ne comportant pas d'équipement. La mise en place des produits de remblayage a donc été aisée :

- à la base : bouchon en grave ciment dosée à 80 kg
- remblayage avec des stériles tout venant ou du sable
- bouchon en grave ciment sur 30 m (15 m en grave dosée à 80 kg puis 15 m dosée à 130 kg)

Ouvrages boisés hors d'eau : mise en sécurité de type 2 :

L'utilisation de remblais stériles tout venants a été exclue en raison des risques de colmatage liés à la présence de boisages anciens et en raison des risques d'entraînement dans le temps de produits non consolidés dans les recoupes latérales et recettes qui interceptent les ouvrages (vidange partielle avec tassement possible au jour). Un remblayage intégral en grave ciment dosée à 80 kg et à 130kg sur les 15 derniers mètres a donc été réalisé.

Ouvrages boisés avec eau : mise en sécurité de type 3 :

La présence d'eau n'a pas permis la mise en place directe de grave en fond d'ouvrage. Ainsi il a été procédé au :

- remblayage avec du sable jusqu'à mise hors d'eau
- remblayage en grave ciment dosée à 80 kg et à 130 kg sur les 15 derniers mètres.

La liste des ouvrages verticaux débouchant au jour, pour le site de l'Ecarpière, est figurée dans le tableau suivant :

Ouvrage	Section Diamètre	Profondeur (m)	Type de mise en sécurité	Observations
M 500	1,8	153	1	/
M 382	3,5 x 1,8	160	2	Eboulement à 51,7 m
M 581	2,4	158	1	/
M 882	2,4	173	1	/
M 884		318	2	Remblayé avant fin des travaux d'exploitation
ECO 2	0,9	106	2	Eboulement à 60,6 m
M 800	2,4	151	1	/
M 555 (1)	2,4	177	1	/
M 555 (2)	2,4	175	1	:
P3	2,0	177	3/1	Niveau d'eau à 157 m au moment des travaux
M 601	2,4	225	1	/
M 262			/	Têtes d'ouvrage prises par l'exploitation de la MCO Braudière
M 260			/	
M 260 bis		Liaison Niv 70	/	
M 258			/	
M 352			/	
ECO 1	0,9	66	2	/
M BRD	3,2 x 1,5	19	2	/
M 212	3,0 x 1,5	36	2	Creusement en tête d'ouvrage sur 10 m
M 308 bis	3,8 x 1,8	47	2	Remblayé avant fin des travaux d'exploitation
M 104		28	/	Remblayé par produits de lixiviation pendant les travaux d'exploitation
M 102		27	/	
P 1	3,7 x 2,6	278	3	Niveau d'eau à 242 m au moment des travaux
P 2	3,7 x 2,6	242	3	Niveau d'eau à 208 m au moment des travaux
M103			/	Têtes d'ouvrage prises par l'exploitation de la MCO Ecarpière Est
M 105			/	
M 105 bis			/	
M 108			/	
M 209 + R 209			/	Comblé avec lixi (R 209) et blocs (M 209)
M 339			2	Creusement en tête d'ouvrage sur 10 m

➤ Pour le site de La Baconnière :

Sur le site de La Baconnière, il existait deux ouvrages verticaux dont la mise en sécurité a été réalisée de la manière suivante :

- **Montage M110**, présentant une section rectangulaire de 2,40x1,40 m et une profondeur de 35 m : remplissage total par des produits tout-venant (0-500 mm) avec mise en place d'une dalle béton en tête d'ouvrage (cote 75). Comblement de la tranche d'accès à la tête du montage (profondeur 10 m).
- **Montage M102**, présentant une section circulaire de 1,80 m de diamètre et une profondeur de 41 m : remblayage avec des produits tout-venant (0-500 mm) et mise en place d'un bouchon de grave ciment dosé à 130 kg/m³ en tête d'ouvrage sur 21 m. Recouvrement de la tête d'ouvrage par du stérile.

➤ Pour le site du Retail :

Sur le site du Retail, il existait uniquement un montage d'aération, de diamètre 1,80 m, dont la mise en sécurité a consisté en (cf. schéma ci-dessous) :

- la mise en place d'un bouchon béton à sa base ;
- le remblayage total de l'ouvrage par du sable ;
- la pose d'une plaque en acier en tête d'ouvrage.

Ce montage est actuellement sous eau.

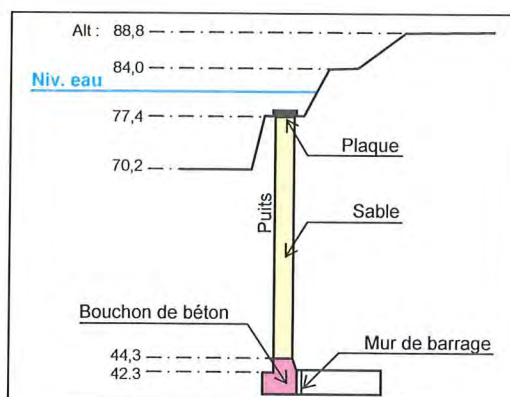


Schéma de mise en sécurité du montage du site de Retail

LES OUVRAGES HORIZONTAUX OU OBLIQUES

➤ Pour le site de l'Ecarpière :

Pour le site de l'Ecarpière, les ouvrages horizontaux ou obliques, ainsi que les modalités de mise en sécurité, sont listés dans le tableau suivant :

Ouvrage	Section	Profondeur de comblement	Type de mise en sécurité
Desc L 601	5 x5	110	450 t de stériles + 21 m de grave + 89 m de stériles (avec drainage du bouchon)
TB 1	5 x5	13	Obturation totale avec grave à 130 kg
TB 106	5 x5	8	Blocs de béton et tout venant stériles
TB 101	5 x5	/	Non traités car situés sous plus de 10 m de remblais
Accès D 237	5 x5	/	

➤ Pour le site de La Baconnière :

L'accès aux travaux miniers souterrains se faisait par une descenderie, nommée L100, d'une longueur totale de 920 m et possédant une section de 18 m². Les travaux de mise en sécurité ont consisté en :

- la mise en place d'un bouchon de grave ciment dosé à 130 kg/m³ sur 20 m d'épaisseur et à 52 m de l'entrée de la galerie, c'est-à-dire à l'endroit où la galerie présentait un stot de 20 m par rapport à la surface).
- le comblement total de l'entrée et de la fosse d'accès à la descenderie par 25 000 tonnes de produits tout-venant.

➤ Pour le site du Retail :

L'accès aux travaux miniers souterrains se faisait par une descenderie, localisée en fond de fosse, possédant une section de 3,5×4,0 m. Les travaux de mise en sécurité ont consisté en l'obturation de l'entrée, sur une dizaine de mètres, par des stériles. L'emplacement de l'entrée de la descenderie est actuellement sous eau.

7.2.2 Les infrastructures et chantiers souterrains

Dans le cadre d'abandon des exploitations, des problèmes de stabilité des anciens chantiers peuvent se poser, notamment par le fait de la remontée de l'eau, qui modifie les caractéristiques mécaniques des roches.

Dans les exploitations ayant assuré un traitement intégral des vides, il ne subsiste, après fermeture, que l'évolution possible des produits de remblayage ainsi que quelques vides liés aux galeries d'infrastructures pouvant donner naissance à des effondrements localisés.

S'agissant de la migration de produits fins de remblayage, elle n'est possible que sous l'action de l'eau soumise à une vitesse d'écoulement supérieure à celle d'une nappe, ce qui n'est le cas que lors de la phase de noyage.

Dans les exploitations permettant la persistance des vides résiduels, la résistance des anciens travaux peut être remise en cause par la fragilité du bâti minier. Du fait de la persistance de ces vides, ces exploitations peuvent être à l'origine d'affaissement de surface, dont les extensions dépendent de la configuration et de la taille du gisement exploité.

Pour les chantiers sous eau après noyage, on considère que les terrains sont déjaugés et les contraintes sur les anciens travaux deviennent de ce fait plus faibles.

L'analyse des effondrements passés, notamment sur les anciennes Divisions Minières de Vendée (Loire Atlantique, Maine et Loire, Deux-Sèvres, Vendée) et de la Crouzille (Haute-Vienne), a conclu, pour des exploitations de type « filonien » à deux types d'effondrements :

- des effondrements « classiques » par rupture progressive de la voûte,
- des effondrements en tiroirs (glissement complet du bloc situé au-dessus de la chambre exploitée).

LES EFFONDREMENTS « CLASSIQUES »

Ils concernent les chantiers exploités dans des amas laissés vides, sans épointes (structures subplanaires délimitant la minéralisation), ainsi que les galeries d'accès et d'infrastructures. Dans ces effondrements « en cloche », la voûte se déstabilise et se désagrège peu à peu. Il y a chute de blocs constituant un enchevêtrement de produits foisonnés, qui progressivement comble le vide minier.

Si l'on considère un coefficient de foisonnement F et une hauteur de vide H, la hauteur H₁ de terrain susceptible de tomber et de remplir le vide est donnée par la formule :

$$H_1 = \frac{H}{F - 1}$$

Pour différentes valeurs du coefficient de foisonnement F, on obtient :

F	H ₁
1,4	2,5 H
1,5	2,0 H
1,6	1,7 H

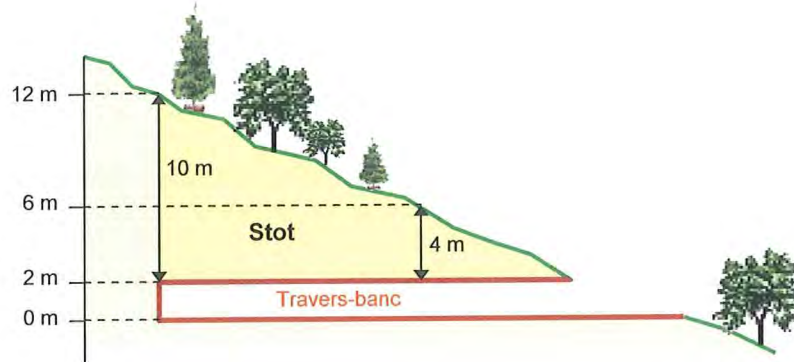
Si l'on veut avoir un coefficient de sécurité maximum, on appliquera comme critère la règle de TINCELIN (« La mécanique du foudroyage »... TINCELIN – FINE – BENYAKHLEF – 12ème congrès minier mondial – NEW DEHLI – novembre 1984) qui considère que la hauteur totale du vide disponible et du fontis (H et H₁) est environ égale à quatre fois la hauteur du vide initial (H) (F < 1,4).

Dans le rapport d'études DRS-06-51198/R01 du 4 mai 2006 relatif à l'évaluation des Plans de Prévention des Risques Miniers, l'INERIS estime que « lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement [...], elle se propage progressivement vers la surface et, si l'espace disponible au sein des vieux travaux est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par "autorembayage", la voûte peut atteindre la surface du sol ». « L'apparition de ce type de désordres en surface ne concernent que les travaux peu profonds. » « Le retour d'expérience disponible montre qu'au-delà d'une profondeur d'une cinquantaine de mètres, la prédisposition d'anciens travaux miniers aux remontées de fontis jusqu'en surface devient négligeable pour des galeries de hauteur habituelle (inférieure à 4 m) » (ndlr : Soit plus de 10 fois la hauteur de la galerie).

Les hauteurs de galeries de reconnaissance ou d'accès sont généralement limitées à 2 m de hauteur. L'application de la règle « Tincelin » écarte tout risque de désordre de surface au-delà d'un stot de 8 m. L'application de la règle « INERIS » porte ce stot à 20 m.

Les risques de désordres existent donc pour :

- des galeries à moins de 20 m de profondeur,
- des ouvrages de type travers-banc, qui correspondent à des galeries horizontales situées à flanc de coteau, où le stot au dessus varie en fonction de la longueur de la galerie, comme l'illustre le schéma suivant :



Il convient, également, de noter que l'autorembayage par foisonnement est un phénomène progressif qui limite l'ampleur de l'affaissement potentiel de surface au fur et à mesure de la progression de la déstabilisation de la voute vers la surface. Ainsi pour une galerie située à 10 m de profondeur, le fontis de surface ne peut excéder le mètre, pour une galerie située à 15 m, le fontis est limité à 0,5 m (application de la règle INERIS pour une galerie de 2 m de hauteur).

LES EFFONDEMENTS « EN TIROIR »

Ils concernent tous les chantiers exploités sur des structures filoniennes. Le phénomène est brutal, à l'inverse de l'effondrement « en cloche » qui est progressif. Il est lié au glissement, le long des épontes, du bloc non exploité, dans le vide généré par l'exploitation. Les répercussions en surface, observées sur des effondrements survenus sur les anciennes Divisions Minières de Vendée (Loire Atlantique, Maine et Loire, Deux-Sèvres, Vendée) et de la Cruzille (Haute-Vienne), ont confirmé qu'elles ne se situaient pas à l'aplomb du vide, mais bien à la trace en surface de la structure exploitée.

➤ Analyse des risques sur le site de l'Ecarpière

L'examen des risques liés aux travaux miniers souterrains a été réalisé par l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris 5 ans après l'ennoyage de la mine.

L'analyse des effondrements passés a conduit à identifier 4 évènements, d'emprise limitée au sol (200 à 500 m²) et à l'aplomb de chantiers dont le stot avec la surface était de 10 à 15 m pour des structures linéaires simples et de 45 m pour une zone plus complexe (jonction de chantiers). Elle a conduit à considérer que les chantiers dont le stot était inférieur à 30 m pour des chantiers isolés et dont le stot était inférieur à 50 m pour des zones plus complexe, nécessitaient une action de traitement ou de protection.

Après examen des plans de niveaux et coupes frontales par chantier, l'ENSMP a mis en évidence plusieurs zones où les risques d'affaissement en surface ne pouvaient être écartés. Ils sont tous situés dans le quartier Ecarpière Est :

- Dans la zone Ouest, où l'exploitation s'est développée dans un schéma tectonique complexe marqué par un champ filonien dense à structures sigmoïdales. Le stot avec la surface est de l'ordre de 10 à 25 m pour la plupart des chantiers. L'absence de données précises sur le taux de remblayage a conduit à considérer l'hypothèse majorante de chantiers non remblayés. L'exploitation de la MCO, postérieure aux travaux souterrains, a également pu fragiliser le bâti minier. Ont ainsi été retenus les amonts des chantiers D 104, D 106, D 130, D 221, D 101 et D 107.
- Dans la zone Centre, les risques existent pour 2 chantiers (D 227 et D 229) dont le stot avec la surface est de l'ordre de 15 m et dont le remblayage mécanique effectué au travers d'une cheminée a été considéré comme incomplet.
- Dans la zone Sud Est, les risques existent pour 2 chantiers non remblayés (D 223 et D 237) dont les stots avec la surface sont inférieurs à 30 m.

Pour le quartier Hauteigente Est, les chantiers initialement à « risques » ont été repris par l'exploitation de la MCO de Braudière. En dehors de cette zone, les stots avec la surface sont importants et par conséquent le quartier ne présente plus de risque d'instabilité.

Pour le quartier Braudière, le seul risque identifié concerne l'évolution de l'effondrement survenu dans les années 60 (jonction D 352 et D 348 avec un stot de 45 m). La reprise partielle de cet effondrement par l'exploitation ultérieure de la MCO et l'absence de mouvement de surface constaté à ce jour, plaide pour une stabilité de la zone.

Les secteurs identifiés par l'ENSMP, ne pouvant être traités depuis la surface ou à partir des travaux miniers souterrains, ont été inclus dans un périmètre de sécurité non accessible au public (clôture, panneaux) à l'intérieur de la propriété d'AREVA.

➤ Analyse des risques sur le site de la Baconnière

Le dossier d'arrêt définitif des travaux miniers du site de la Baconnière (Mars 2002) mentionne :

« En raison de la qualité géomécanique des terrains [...] et de la méthode d'exploitation employée dans les travaux miniers souterrains (ndlr : tranches montantes sous remblai hydraulique), la stabilité des chantiers de BACONNIERE est théoriquement assurée par le remblai fin, mis en place dans les vides au fur et à mesure de leur avancement.

Toutefois, selon un scénario maximaliste, un transport hydraulique de ce remblai non consolidé au travers des recoupes d'accès avec redépôt dans les galeries parallèles peut être envisagé. Il suppose un écoulement d'eau suffisant au moment du noyage et un volume de vide« d'accueil » assez important.

Ce risque peut être envisagé en amont du chantier D 102 W exploité à partir du niveau 50 dans la partie ouest du gisement (la partie centrale D 102 E a été totalement reprise par l'exploitation de la fosse n° 5). »

Ainsi, il a été évalué, dans l'hypothèse d'un effondrement en cloche (voûte en tête de chantier se déstabilisant et se désagrégant peu à peu), le stot nécessaire pour que le vide minier se comble progressivement par enchevêtrement des produits foisonnés résultant de la chute de blocs.

De cette manière, pour le chantier D 102 W, la relevée maximum exploitée est de 17 m, et le stot minimum de 31 m.

- « Avec un coefficient de sécurité important ($F = 1,4$), une vidange de plus de 3/4 des produits de remblayage est nécessaire pour qu'un effondrement du chantier se traduise par une répercussion en surface,
- Avec un coefficient de sécurité moins pénalisant mais plus réaliste ($F = 1,6$) une vidange totale du chantier est possible sans risque pour la surface. »

Les parcelles concernées sont actuellement à l'intérieur du périmètre de sécurité de la fosse 5-6 et ont fait l'objet, par mesure de précaution, de restrictions d'usage avec inscription au registre des Hypothèques.

➤ Analyse des risques sur le site du Retail

Le site du Retail possédait deux quartiers de dépilages (D101 et D102), dont l'emprise en surface se situe à l'intérieur de la fosse en eau.

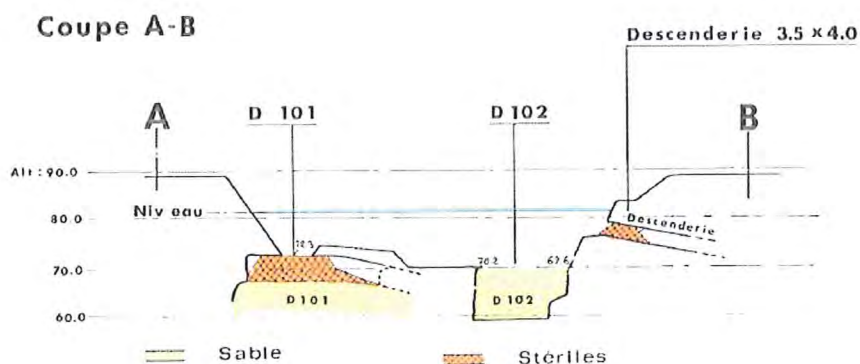
Le dossier d'arrêt définitif des travaux miniers du site du Retail (Juillet 1995) mentionne :

« La méthode d'exploitation utilisée fut la tranche montante remblayée. L'exploitation de la première tranche de chaque dépilage se terminait par la pose d'une dalle de béton de 0,45 m d'épaisseur.

A l'arrêt des travaux miniers, une consolidation des carrefours a été réalisée.

A la reprise de l'exploitation de la MCO, les stots laissés par les travaux souterrains lors de la prise de la dernière tranche du Niveau 25 ont été exploités. La dernière tranche du N 25 a été ensuite remblayée. »

La coupe suivante présente la mise en sécurité de ces dépilages :



L'ensemble des vides a donc été remblayé. Les risques d'effondrements du site du Retail peuvent être considérés comme négligeables.

7.3 LES RISQUES LIES AUX MINES A CIEL OUVERT

Ces risques sont liés à la présence de parements résiduels pour les fosses non remblayées ou mises en eau et accessibles au public (risques de chute ou de noyade). Les sites concernés sont présentés dans le tableau ci-après.

Site minier		Etat de la fosse	Observations
L'Ecarpière	Ecarpière Est	Entièrement remblayée Légère dépression visible Absence de parement	/
	La Moine	Entièrement remblayée Située dans le lit de la Moine Absence de parement	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de risques de chutes • Risque de noyade lié à la rivière la Moine, et non à la MCO
	Braudière	Partiellement remblayée Parement visible = 40 m	<ul style="list-style-type: none"> • Haut et pied du parement clôturé • Panneaux signifiant le risque de chutes de pierres
	Le Tail	Partiellement remblayée Parements résiduels visibles = 30 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une clôture • Panneaux signifiant le risque de noyade
La Baconnière	Fosse 1	Entièrement remblayée Absence de parement	/
	Fosse 2	Entièrement remblayée Absence de parement	/
	Fosse 3-4	Entièrement remblayée Absence de parement	/
	Fosse 5-6 (dite Bastille)	Partiellement remblayée Parements résiduels visibles = 10 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'un périmètre de sécurité • Panneaux signifiant le risque de noyade
L'Anjouerie	Anjouerie Ouest	Parements résiduels visibles = 1 à 3 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une clôture autour de la fosse • Accès réservé au centre de plongée
	Anjouerie Centre	Entièrement remblayée Absence de parement	/
	Courailière	Parements résiduels visibles = 8 à 10 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une clôture autour de la fosse sauf au niveau de la piste d'accès au plan d'eau
Le Retail		Parements résiduels visibles = 6 à 8 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une clôture autour de la fosse sauf au niveau de la piste d'accès au plan d'eau
La Bonnière		Parements résiduels visibles = 3 à 6 m	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une clôture autour de la fosse sauf au niveau de la piste d'accès au plan d'eau
Quatre-Chênes		Entièrement remblayée Absence de parement	/

7.4 LES RISQUES LIES AUX VERSES A STERILES

La déstabilisation d'une verse à stériles peut se traduire par une rupture d'un flanc de talus, lorsque les forces motrices (de pesanteur et hydraulique) qui tendent à le mettre en mouvement deviennent supérieures aux forces résistantes (résistance aux cisaillements des matériaux) qui s'opposent pour leur part aux déformations et aux glissements de terrain.

Comme décrit au chapitre 6.1, tous les sites, à l'exception du site des Quatre-Chênes, possèdent une verse à stériles. Ces verses sont décrites dans le tableau suivant :

Sites miniers	Aspect actuel de la (des) verse(s)	Réaménagements	Remarques
L'Ecarpière	Verses remodelées	<ul style="list-style-type: none"> Verses remodelées selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemcement 	Absence de risque de glissement (remodelage)
La Baconnière	Verses remodelées	<p><u>Verses des fosses 1, 2, 3, et 4 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Verses remodelées selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemcement <p><u>Verse de la fosse Bastille :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Remodelage de la verse 	Absence de risque de glissement (remodelage) Verse Bastille fortement végétalisée
L'Anjouerie	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> Remodelage de la verse. 	Absence de risque de glissement (remodelage) et couvert végétal dense
Le Retail	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> Verse remodelée selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemcement 	Absence de risque de glissement (remodelage)
La Bonnière	Verse remodelée	<ul style="list-style-type: none"> Verse remodelée selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemcement 	Absence de risque de glissement (remodelage)

7.5 LES RISQUES LIES AUX DIGUES DE RETENUE DE STOCKAGE

Le seul site du Maine-et-Loire possédant des digues est le site de l'Ecarpière.

Ces digues entourent le bassin de stockage de résidus d'une emprise au sol de 72 hectares. On distingue une digue principale et des digues de ceinture.

La digue principale (nord) était à l'origine un barrage en argile sur un vallon de l'affluent de la Moine puis a été construite en sable cycloné par la méthode semi-aval puis amont. Sa hauteur maximale est de 60 m avec une épaisseur à la base de 250 m. La pente globale du parement est de 18° à 24°. Sa construction a été amorcée en 1958 puis 3 extensions successives au sud ont été réalisées dans les années 70 et le grand bassin sud a été fermé en 1983.

Les digues de ceintures sont constituées de sables cyclonés (avec résidus de lixiviation dans la digue sud), érigées par la méthode verticale puis amont sur les derniers mètres. Leur longueur est de 3000 mètres avec des hauteurs allant de 3 à 30 m. Leur largeur en crête est de 10 m. La pente globale du parement aval est de 22°.

Les organes de gestion des eaux sont constitués pour :

- le drainage interne : ce drainage est réalisé par des drains présents dans la digue principale directement accessibles par 3 puits bétonnés. Les eaux d'essorage sont récoltées par des fossés de ceintures dirigées vers le bassin 16 000 m³.
- le drainage externe : les eaux superficielles, récupérées par un réseau Ouest et Est indépendant des eaux d'essorage, sont directement acheminées vers le milieu naturel.

Lors du réaménagement du site, le parement aval des digues de ceinture a été remodelé avec une pente de 21° (16° en moyenne pour la digue nord) pour améliorer la stabilité et la résistance à l'érosion.

La couverture est constituée de 2 à 8 m de produits de lixiviation statique ou de décapage et de 40 à 50 cm de stériles et de terre végétale.

Sur les bassins, une topographie artificielle a été créée avec point bas pour canaliser les eaux vers les fossés empierrés puis dans les deux collecteurs.

Tous les parements avals des digues sont équipés de larges pistes drainantes disposées tous les 10 m en altitude avec des fossés à contre-pente.

L'auto-surveillance est assurée par des inspections mensuelles (mesures piézométriques, contrôles visuels) renforcée en cas de fortes pluies et notifiée dans un registre. Un entretien annuel est assuré pour les digues, stockage et organes annexes.

Des visites par un consultant extérieur sont assurées depuis l'origine et font l'objet de comptes-rendus et rapports (2 visites par an de 1960 à 2000, bilan complet établi en 2001 (ANTEA), expertise 2010 (Coyne et Bellier)). Ces expertises sont à présent programmées tous les 5 ans.

La stabilité de la digue est évaluée à partir d'un dispositif de mesures piézométriques (9 piézomètres dans la digue principale, 3 puits visitables, 17 boîtes piézométriques dans les digues de ceinture) et topographiques (20 repères sur les digues et bassins), dont les interprétations sont énoncées comme suit :

- La nappe est stabilisée et reste basse. Elle est située à 10 m environ au dessus du fond du bassin,
- En cas de forte pluviométrie, le niveau reste très bas par rapport aux parements avals,
- Les boîtes piézométriques montrent qu'il n'y a pas de charge au pied des digues,
- Le débit des drains demeurent faibles,
- Les mesures topographiques indiquent une diminution des tassements en fonction du temps.

Les conclusions des experts peuvent être ainsi résumées :

- Quelques petits tassements ont été observés par le passé au niveau des petits bassins de stockage des boues : l'emprise des bassins déborde sur la zone où ont été enterrés les produits de démolition de l'usine de traitement. Toutefois, en aucun cas ces désordres ne sauraient remettre en cause la stabilité du stockage car les ouvrages sont peu importants et sont implantés en arrière des digues. Ils ont été comblés et font l'objet d'une surveillance attentive,
- Un affaissement à l'ouest de la digue principale, en relation avec les travaux miniers souterrains, est survenu en 1999. La dépression a été comblée et la surface est à présent stabilisée. Cet affaissement s'est produit suffisamment loin des crêtes des anciennes digues pour ne pas les déstabiliser. Cette zone est sous surveillance,
- Aucune déformation sur les parements avals des digues n'a jamais été observée.

La stabilité des digues peut être considérée comme tout à fait satisfaisante. La création d'une couverture à faible perméabilité sur le stockage et la collecte des eaux météoriques ont entraîné un abaissement de la nappe dans les anciens bassins qui ne peut que favoriser la stabilité déjà satisfaisante des digues.

8 EVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

8.1 IMPACT SUR LE VECTEUR EAU

8.1.1 Voies de contamination sur le milieu aquatique

Voies de contamination de l'eau

Après l'arrêt des activités minières et industrielles, le marquage potentiel du vecteur eau peut se faire de deux manières différentes :

- Lorsque le niveau d'eau remonte dans les travaux miniers (TMS ou MCO), il est possible que les eaux émergent en surface, comme à l'entrée des descenderies ou des travers-bancs ou encore à l'emplacement de certains ouvrages de liaison fond-jour (puits, montages). Durant leur parcours souterrain, ces eaux peuvent en effet se charger au contact des minéralisations encore présentes dans l'encaissant granitique.
- Les eaux météoriques peuvent également se charger par lixiviation des métaux contenus dans les stériles miniers et les résidus de traitement, lorsque ces eaux percolent à travers ces derniers. Elles peuvent aussi être marquées par entraînement de particules en suspension sur lesquelles sont adsorbés des éléments toxiques.

Pour les sites du Maine-et-Loire, les possibilités de marquage du vecteur eau sont résumées dans le tableau suivant :

Sites	Possibilités de marquage du vecteur eau
L'Ecarpière	<ul style="list-style-type: none">- Passage d'une rivière à travers la MCO de la Moine- Ecoulements des eaux de la MCO du Tail en souterrain vers la nappe- Surverse du plan d'eau du Tail en cas de très fortes pluies- Ecoulement des eaux souterraines dans les fosses remblayées vers la nappe- Percolation des eaux météoriques dans les fosses des MCO remblayées- Captage des eaux minières (TMS) au niveau d'un sondage- Ecoulement des eaux souterraines des TMS vers la nappe- Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verses remodelées, MCO remblayées)- Percolation des eaux météoriques dans le stockage- Drainage du stockage

Sites	Possibilités de marquage du vecteur eau
La Baconnière	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verses remodelées, MCO remblayées) - Ecoulement des eaux souterraines des TMS vers la nappe - Ecoulement des eaux de la fosse Bastille vers la nappe via des fractures - Percolation des eaux météoriques dans les fosses des MCO remblayées - Rejet du site dans le ruisseau de la Baconnière ou surverse du plan d'eau an cas de dépassement de la cote autorisée (79 m NGF)
L'Anjouerie	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verses remodelées) - Ecoulement des eaux des fosses en eau vers la nappe via des fractures - Surverse éventuelle des plans d'eau
Le Retail	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verses remodelées) - Ecoulement des eaux souterraines des TMS vers la nappe - Ecoulement des eaux de la fosse vers la nappe via des fractures - Surverse éventuelle du plan d'eau - Pompage des eaux de la MCO à des fins d'irrigation
La Bonnière	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoulement des eaux de la fosse vers la nappe via des fractures - Surverse du plan d'eau - Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verse remodelée)
Quatre-Chênes	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval (verse remodelée et tranchée remblayée) - Percolation des eaux météoriques de la tranchée et infiltrations dans la nappe

Voies de contamination des sédiments

Lorsque certains exutoires présentent des débits moyens relativement élevés (plusieurs dizaines de m³/h), ils peuvent conduire à des flux de radioéléments importants susceptibles d'engendrer des marquages dans l'environnement, notamment liés à l'accumulation de ces radionucléides dans le compartiment sédimentaire. Ils sont associés à la fraction fine des sédiments et le marquage peut être d'autant plus important que le régime hydrodynamique est favorable au dépôt. De ce fait, les retenues constituent des zones d'accumulation privilégiées des particules marquées.

Les processus conduisant à la mise en place de ce marquage peuvent avoir deux origines :

- Le traitement des eaux, basé sur l'insolubilisation physico-chimique des radioéléments, peut laisser échapper une partie des particules formées qui sont ainsi restituées au milieu et sont susceptibles de décanter lorsque le régime hydrodynamique est favorable.
- Les radioéléments contenus dans les eaux minières (exutoires miniers, verses à stériles), qui sont à large dominante sous forme soluble, peuvent s'adsorber (puis à désorber pour se réadsorber) sur les particules d'argile et de matière organique naturellement présentes dans le cours d'eau. Ces particules, servant de matrice aux radioéléments (préférentiellement l'uranium), vont décanter selon un processus classique de sédimentation dans les plans d'eau.

Hormis sur les sites de l'Ecarpière (présence d'une station de traitement) et de la Baconnière (traitement des eaux de la fosse à la fleur de chaux et pompage périodique des eaux de la MCO en eau), l'absence de station de traitement pour les autres sites miniers du Maine-et-Loire tend à favoriser cette deuxième option. Les débits faibles estimés au cours de la campagne de terrain 2011 (< 10 m³/h) semblent plaider, à priori, en faveur d'un faible impact radiologique sur ce compartiment sédimentaire.

8.1.2 Valeurs de référence « milieu naturel »

Références « milieu naturel » et « amont site » EAU

En l'absence de point zéro et dans le cadre de leur surveillance réglementaire respective, les sites de l'Ecarpière et de la Baconnière font l'objet de prélèvements en amont - c'est-à-dire hors influence des sites – afin d'obtenir des valeurs de références pour le milieu naturel.

De même, concernant les sites de La Bonnière, Le Retail et Quatre-Chênes, deux prélèvements ont été réalisés dans les ruisseaux en amont de ces sites lors des visites d'état des lieux de 2011.

L'emplacement des points de prélèvements figure en annexe 3 et les résultats d'analyses détaillés sont présentés à la figure 8.

Le tableau suivant présente les ordres de grandeur des teneurs en uranium 238 et radium 226 solubles rencontrés à ces différents points de prélèvements :

Points de prélèvement	Localisation	U ₂₃₈ soluble	Ra ₂₂₆ soluble
SERP A	Rivière La Moine <i>En amont du site de l'Ecarpière et en aval du site de La Baconnière</i>	< 4 µg/l (moy 2006 – 2010)	< 0,04 Bq/l (moy 2006 – 2010)
NORM A	Rivière la Moine <i>En amont du site de la Baconnière et en aval des sites du Retail / Bonnière /Quatre-Chênes</i>	< 1 µg/l (U pondéral mesuré en 2010)	< 0,02 Bq/l (mesuré en 2010)
SEG A	Rivière La Moine <i>En amont de l'ensemble des sites miniers de l'ancienne Division Minière de la Vendée</i>	< 1 µg/l (moy 2007 – 2010)	< 0,03 Bq/l (moy 2007 – 2010)
BNN BEA	Ruisseau de la Bégaudière <i>En amont des sites du Retail / Bonnière /Quatre-Chênes</i>	1,8 µg/l (mesuré en 2011)	0,02 Bq/l (mesuré en 2011)
RTL ETGN	Etang <i>Situé à 150 m au Nord et en amont hydraulique du site minier du Retail</i>	1,1 µg/l (mesuré en 2011)	< 0,02 Bq/l (mesuré en 2011)

Références « milieu naturel » SEDIMENTS :

En l'absence de point zéro, l'IRSN propose dans sa tierce expertise [12] des valeurs de références pour le milieu naturel pour la Division Minière de la Crouzille (Haute-Vienne) :

- U_{238} compris entre 180 et 1100 Bq/kg de matière sèche,
- Ra_{226} compris entre 150 et 800 Bq/kg de matière sèche.

8.1.3 Analyse par bassin versant de l'impact réel sur le milieu aquatique

Compte tenu du manque d'informations sur certains sites miniers, une campagne de prélèvements (eau et sédiments) a été réalisée en 2011, principalement sur les cours d'eau situés en aval des sites et sur les émergences observées sur les sites (exutoire). L'emplacement des points de prélèvements est présenté sur les cartes IGN figurant en annexe 3.

Le synoptique de la figure 2 présente les rejets successifs, potentiels ou avérés, dans les différents cours d'eau récepteurs du fait des anciens sites réaménagés.

Sur le département du Maine-et-Loire, l'ensemble des sites miniers sont localisés dans un unique bassin versant : celui de la rivière La Moine. Les sites sont présentés de l'amont vers l'aval hydraulique du bassin versant.

Remarque : Jusqu'en 2005, la quasi-totalité des valeurs mesurées en uranium 238 soluble dans les eaux prélevées en Maine-et-Loire dans le cadre de l'autosurveillance sont souvent inférieures aux limites de détection de l'époque (< 70 , < 50 puis $< 10 \mu\text{g/l}$). Suite à un abaissement de ces limites de détection (changement de méthode analytique), des résultats exploitables sont obtenus depuis 2006. Ainsi, dans le cadre de ce bilan, les moyennes sont établies selon les valeurs exploitables.

8.1.3.1 Site de La Bonnière

Le site de La Bonnière est le premier site susceptible d'impacter les eaux de la rivière La Moine, via le ruisseau de la Bégaudière. Ce dernier s'écoule en bordure sud du site et reçoit la surverse de l'ancienne mine à ciel ouvert, qui a été reconvertie en plan d'eau.

Dans le cadre de l'autosurveillance, AREVA réalise, annuellement, un prélèvement d'eau (BNN O) au niveau de la surverse de l'ancienne fosse. Ces eaux présentent les caractéristiques suivantes :

- un pH moyen (sur 10 ans) de 7,7 ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 31 et 270 $\mu\text{g/l}$ (moyenne décennale < 104 $\mu\text{g/l}$) ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,02 et 0,10 Bq/l (moyenne décennale = 0,05 Bq/l).

La qualité radiologique des eaux de ce plan d'eau est variable d'une année à l'autre sur la période décennale passée.

Dans le cadre de ce bilan environnemental, un second prélèvement (BNN BEB) a été effectué dans le ruisseau de la Bégaudière, en aval hydraulique du site. En ce point, les eaux du ruisseau présentent des teneurs en uranium 238 et en radium 226 solubles du même ordre de grandeur que celles mesurées au point BNN BEA (cf. chapitre 8.1.2 : références « milieu naturel »).

Les résultats d'analyses détaillées du site de La Bonnière sont présentés à la figure 12.

8.1.3.2 Site des Quatre-Chênes

Le site des Quatre-Chênes, correspondant à une tranchée de recherche remblayée, est localisé à proximité immédiate d'un talweg présentant un ruisseau temporaire. Ce ruisseau traverse un petit étang localisé au Sud du village de la Saulnerie, avant de se jeter dans le ruisseau de la Bégaudière, affluent de La Moine.

Dans le cadre de ce bilan environnemental, un prélèvement d'eau (QCN RU) a été effectué dans l'étang de la Saulnerie, le ruisseau étant à sec, entre le site et l'étang, lors de la visite d'état des lieux. Les eaux prélevées à ce point présente des teneurs en uranium 238 et en radium 226 solubles du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

Les résultats d'analyses détaillées du site des Quatre-Chênes sont présentés à la figure 14.

8.1.3.3 Site du Retail

Le site du Retail, correspondant à des travaux miniers souterrains et une mine à ciel ouvert reconvertie en plan d'eau lors du réaménagement, est le troisième site susceptible d'impacter les eaux de la rivière La Moine, via le ruisseau de la Bégaudière. Ce dernier coule le long de la bordure sud-est du site.

Dans le cadre de l'autosurveillance, AREVA réalise, annuellement, un prélèvement d'eau (RTL O) dans l'ancienne fosse. Actuellement, le plan d'eau ne possède pas de surverse et est utilisé à des fins d'irrigation et d'alimentation en eau pour le bétail.

Les eaux prélevées dans la fosse présentent les caractéristiques suivantes :

- un pH moyen (sur 10 ans) de 7,9 ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 162 et 487 $\mu\text{g/l}$ (moyenne décennale = 252 $\mu\text{g/l}$) ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,05 et 0,11 Bq/l (moyenne décennale = 0,08 Bq/l).

La qualité radiologique des eaux de ce plan d'eau est relativement stable sur la période décennale passée.

Dans le cadre de ce bilan environnemental, un prélèvement (RTL BEB) a été effectué dans le ruisseau de la Bégaudière, en aval hydraulique du site. A ce point, les eaux du ruisseau présentent un très léger marquage en uranium 238 soluble (4,1 $\mu\text{g/l}$) et en radium 226 soluble (0,07 Bq/l). Ces valeurs restent proches de celles mesurées dans le ruisseau de la Bégaudière, hors de l'influence minière (point BNN BEA).

De plus, il existe quatre étangs, non reliés au réseau hydrographique, autour du site :

- un étang est localisé au Nord et en amont hydraulique du site. Un prélèvement d'eau a été effectué dans le cadre de ce bilan (RTL ETGN) et est utilisé comme référence amont (cf. chapitre 8.1.2 : références « milieu naturel »)
- deux étangs sont situés au Nord-Est et en aval hydraulique du site. Seul un étang a fait l'objet de prélèvements d'eau (RTL ETGNE), le second étant localisé sur une propriété privée et inaccessible au public (cf. annexe 3-3). Les eaux prélevées présentent des teneurs en radioéléments (U_{238} et Ra_{226} solubles) du même ordre de grandeur que celles mesurées dans l'étang situé au Nord du site, hors influence minière.
- le dernier étang est localisé au Sud et à proximité immédiate du site. Les eaux prélevées (RTL ETGS) dans cet étang présentent également des teneurs en radioéléments (U_{238} et Ra_{226} solubles) du même ordre de grandeur que celles mesurées dans l'étang situé au Nord du site, hors influence minière.

Les résultats d'analyses détaillées du site du Retail sont présentés à la figure 13.

8.1.3.4 Site de l'Anjouerie

Le site de l'Anjouerie est composé de trois mines à ciel ouvert dont deux (Anjouerie Ouest et Couraillère) ont été réaménagées en plans d'eau. Ce site est susceptible d'impacter les eaux de la rivière La Moine, via le ruisseau de l'Ergulière, qui coule à environ 150 m à l'Est de l'ancienne fosse Couraillère. Un second ruisseau à caractère intermittent, affluent de l'Ergulière, prend sa source entre les deux fosses Anjouerie Centre et Ouest. Enfin, le ruisseau du Douet Aubert, également affluent de l'Ergulière, coule à environ 100 m à l'ouest du site.

Dans le cadre de l'autosurveillance, AREVA réalise, annuellement, un prélèvement d'eau dans chacune des fosses en eau. Aujourd'hui, aucun de ces deux plans d'eau ne présente de surverse.

Concernant le plan d'eau « Anjouerie Ouest » (prélèvement ANJ OUEST), il est actuellement utilisé comme centre de plongée subaquatique par un exploitant privé. Les eaux de cette fosse présente les caractéristiques suivantes :

- un pH moyen (sur 10 ans) de 6,0 ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 64 $\mu\text{g/l}$ (mesuré en 2010) et 445 $\mu\text{g/l}$ (mesuré en 2000), avec une moyenne décennale égale à 218 $\mu\text{g/l}$. Cette teneur en uranium diminue significativement depuis 10 ans ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,29 et 0,59 Bq/l (moyenne décennale = 0,46 Bq/l). La teneur en radium 226 baisse également depuis 10 ans mais dans une moindre mesure ;
- une teneur en Ra_{226} insoluble inférieure à 0,06 Bq/l sur la période 2000 – 2010.

Le plan d'eau Couraillère est utilisé par le propriétaire actuel à des fins de pêche, pour son loisir personnel, et d'alimentation en eau pour le bétail. Les eaux prélevées dans cette fosse (ANJ ESTO) présentent les caractéristiques suivantes :

- un pH moyen (sur 10 ans) de 8,6 ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 50 et 90 $\mu\text{g/l}$ (moyenne décennale = 78 $\mu\text{g/l}$) ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,02 et 0,06 Bq/l (moyenne décennale < 0,04 Bq/l).

La qualité radiologique des eaux de l'ancienne fosse Couraillère est relativement stable sur la période décennale passée.

Dans le cadre de ce bilan environnemental, chacun des trois ruisseaux situés en aval en hydraulique du site, a fait l'objet d'un prélèvement :

- **ANJ ERG** : Prélèvement d'eau dans le ruisseau de l'Ergulière. En ce point, les eaux prélevées présentent des teneurs en uranium 238 soluble (1,4 $\mu\text{g/l}$) et en radium 226 soluble (0,04 Bq/l) du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.
- **ANJ RUE** : Prélèvement d'eau dans le ruisseau prenant sa source entre les MCO Centre et Ouest. En ce point, les eaux prélevées présentent un léger marquage en uranium 238 soluble (9,9 $\mu\text{g/l}$) et une teneur en radium 226 soluble (0,04 Bq/l) du même ordre de grandeur que celle mesurée dans le milieu naturel.
- **ANJ DA** : Prélèvement d'eau dans le ruisseau Le Douet Aubert. En ce point, les eaux prélevées présentent également un léger marquage en uranium 238 soluble (12 $\mu\text{g/l}$) et une teneur en radium 226 soluble (<0,02 Bq/l) du même ordre de grandeur que celle mesurée dans le milieu naturel.

8.1.3.5 Site de La Baconnière

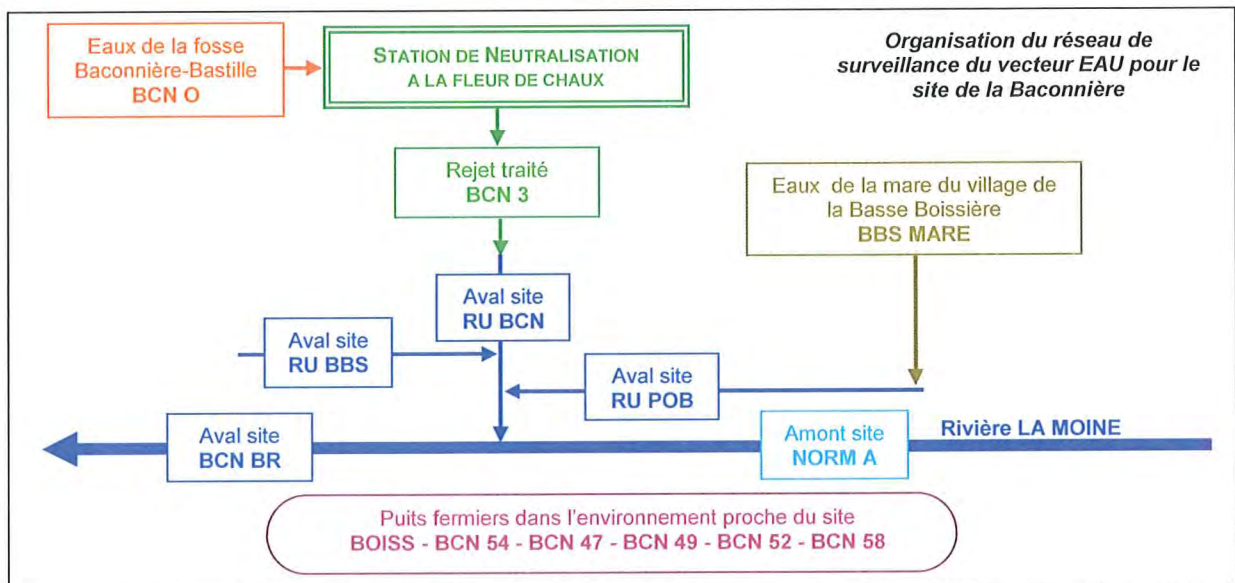
➤ RESULTATS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE 2000 – 2010 :

COMPARTIMENT EAU

Le site de la Baconnière fait l'objet de contrôles sur le vecteur EAU tels que définis par l'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30 novembre 2006. La localisation des points de prélèvements est présentée en annexe 3.2.

Le réseau de surveillance du site, tel que présenté par le schéma ci-dessous, s'organise autour de quatre pôles distincts :

- **Les eaux traitées**, à savoir les eaux de la fosse « Baconnière-Bastille » (BCN O et BCN 3) : le traitement mis en place vise principalement à remonter le pH et diminuer la concentration en fer dans les eaux. Le procédé de traitement est décrit au paragraphe 10.1.2.
- **Les eaux du site, ne faisant pas l'objet d'un traitement**, à savoir : les eaux de la mare localisée au pied des anciennes fosses n°1 et 2 remblayées (BBS MARE) à proximité du village de la Basse Boissière ;
- **Les eaux des cours d'eau** situés en aval hydraulique du site à savoir :
 - le ruisseau de la Poblère (RU POB),
 - le ruisseau de la Baconnière (RU BCN), récepteur du rejet du site,
 - le ruisseau de la Boissière (RU BBS)
 - et enfin les eaux de la rivière La Moine, en amont (NORM A) et en aval du site (BCN BR) ;
- **Les eaux des puits fermiers** situées dans l'environnement proche du site : village de la Basse Boissière (BOISS), village de la Haute Boissière (BCN 54), Village de la Bastille (BCN 47), village de la Thibaudière (BCN 49), village de la Malécotière (BCN 52), village de la Poblère (BCN 58).



Le tableau suivant présente la périodicité des contrôles pour ces différents points de prélèvements :

		Points de prélèvement	Niveau d'eau	pH	MES	Radium 226		Uranium	Fer	Al	SO ₄ ²⁻
						sol.	ins.	sol.			
Eaux de site	Avant traitement	BCN O		M	M	M		M	M		
	Après traitement	BCN 3		M	M	M		M	M		
	Sans traitement	BBS MARE		M		M	M	M			
Cours d'eau	R. de la Baconnière	RU BCN		M	M	M		M	M		
	R. de la Plobière	RU POB		M		M		M			
	R. de la Boissière	RU BBS		M		M	M	M			
	Rivière La Moine	NORM A		P		P		P	P	P	P
		BCN BR		M	M	M		M	M		
Puits fermiers dans l'environnement proche du site	BOISS		M		M	M	M				
	BCN 54	S	S		S		S				
	BCN 47	S	S		S		S				
	BCN 49	S	S		S		S				
	BCN 52	S	S		S		S				
	BCN 58	S	S		S		S				

M : Prélèvement mensuel - A : Prélèvement annuel – P : Ponctuel (lors de contrôles inopinés de 2010)

* Mesure de l'U pondéral - # Analyse arrêtée en 2007

L'ensemble des résultats des prélèvements d'eau (moyenne annuelle sur la période 2000 – 2010) est présenté en figure 10.

Les eaux du site :

Le tableau suivant présente les limites réglementaires, fixées par l'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30 novembre 2006, pour les eaux de la fosse (point de prélèvement BCN O) et les eaux du rejet (point de prélèvement BCN 3) :

Points de prélèvements		pH	Uranium soluble	Radium soluble	Fer
BCN O	Eaux de la fosse	compris entre 6,5 et 8,5	/	/	/
BCN 3	Rejet		1,8 mg/l	0,37 Bq/l	15 mg/l

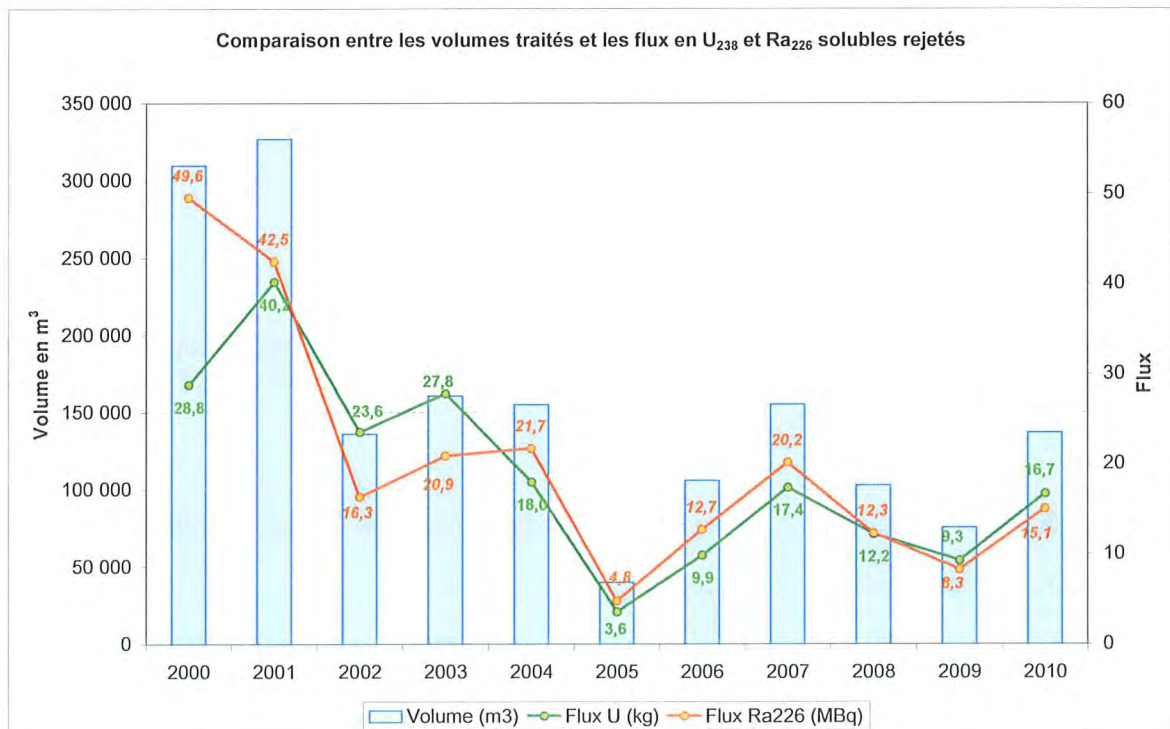
Les eaux de la fosse (BCN O) présentent, pour la période 2000 – 2010, les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques suivantes :

- un pH, compris entre 6,8 et 7,4 (moyenne = 7,1), qui reste stable sur la période étudiée ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 96 et 179 $\mu\text{g/l}$ (moyenne = 131 $\mu\text{g/l}$) et qui, après le maximum observé en 2002, décroît régulièrement ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,12 et 0,16 Bq/l (moyenne = 0,13 Bq/l), qui est relativement stable sur la période étudiée ;
- une concentration en fer, inférieure à 0,23 mg/l (moyenne < 0,12 mg/l) et qui augmente régulièrement sur la période 2000 – 2010.

Les eaux rejetées dans le ruisseau de la Baconnière (BCN 3) présentent, pour la période 2000 – 2010, les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques suivantes :

- un pH, compris entre 7 et 7,6 (moyenne = 7,2) ;
- une teneur en MES de l'ordre de 1,8 mg/l, qui reste stable sur la période étudiée.
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 90 et 173 $\mu\text{g/l}$ (moyenne = 122 $\mu\text{g/l}$), les teneurs maximales ont été mesurées en 2002 et 2003. De 2003 à 2006, ces concentrations en uranium solubles ont diminué de moitié, puis après 2006, elles se sont stabilisées autour de 120 $\mu\text{g/l}$;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,11 et 0,16 Bq/l (moyenne = 0,13 Bq/l), qui est relativement stable sur la période étudiée ;
- une concentration en fer, présentant une moyenne décennale de 0,05 mg/l, et qui a doublé en 2009 et 2010 par rapport aux autres années.

Le graphique suivant compare les volumes rejetés aux flux d'uranium et de radium rejetés sur la période 2000 – 2010.



Le graphique met en évidence que :

- à partir de 2002, ces volumes ont diminué d'environ 50 %.
- les flux en U sont compris entre 3,6 et 40,2 kg par an, avec une moyenne décennale de 18,8 kg par an.
- les flux en Ra₂₂₆ sont compris entre 4,8 et 49,6 MBq, par an avec une moyenne décennale de 19,6 MBq par an.
- les flux en uranium et en radium suivent les mêmes variations que les volumes rejetés.
- pour des volumes rejetés équivalents, les flux en uranium et en radium solubles rejetés sont similaires sur la période décennale passée. Ce constat est dû au fait que la qualité radiologique des eaux de la fosse varient peu sur les 10 ans étudiés.

Pour la période 2000 – 2010, les analyses effectuées montrent que les eaux du rejet respectent les conditions fixées par la réglementation.

A partir de 2009, les eaux de la mare du village de la Basse Boissière font l'objet d'un contrôle régulier du fait de sa localisation, au pied de la verse à stériles et de l'ancienne fosse n°1.

Les eaux de cette mare (point de prélèvement BBS MARE) présentent les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques suivantes :

- un pH de l'ordre de 5,7 ;
- une teneur moyenne en U₂₃₈ soluble de 226 µg/l ;
- une teneur moyenne en Ra₂₂₆ soluble inférieure à 0,05 Bq/l ;
- et, une teneur en Ra₂₂₆ insoluble inférieure à 0,02 Bq/l.

Ces eaux présentent donc un marquage radiologique en uranium 238 soluble. Ces teneurs en uranium soluble couplées à un pH relativement acide, laisse suggérer qu'il s'agit d'eaux de ruissellement ayant transitées par des stériles miniers.

Les cours d'eau situés en aval du site

Dans le cadre de la surveillance du site, quatre cours d'eau font l'objet d'un contrôle régulier :

- le ruisseau de la Poblère (RU POB), longeant la verse à stériles « Bastille ».
- le ruisseau de la Baconnière (RU BCN), récepteur du rejet du site.
- depuis 2009, le ruisseau de la Boissière (RU BBS), prenant sa source au niveau de la mare du village de la Basse Boissière.
- et enfin les eaux de la rivière La Moine, en amont (NORM A) et en aval du site (BCN BR).

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques des eaux de ces cours d'eaux :

		pH	MES mg/l	U ₂₃₈ sol. µg/l	Ra ₂₂₆ sol. Bq/l	Ra ₂₂₆ insol. Bq/l	Fer mg/l
RU POB	Moyenne annuelle minimum	6,3	/	16	<0,02	/	/
	Moyenne annuelle maximum	7,1	/	<69	<0,04	/	/
	Moyenne décennale	6,6	/	<37	<0,03	/	/
RU BCN	Moyenne annuelle minimum	6,3	2,8	28	<0,05	/	0,14
	Moyenne annuelle maximum	6,7	9,5	<137	0,10	/	0,32
	Moyenne décennale	6,5	5,4*	<58	<0,08	/	0,23*
RU BBS	Moyenne annuelle minimum	5,6	/	76	0,04	<0,02	/
	Moyenne annuelle maximum	6,0	/	114	0,05	0,04	/
	Moyenne 2009-2010	5,8	/	95	0,05	<0,04	/
NORM A	Moyenne annuelle 2010	7,5	/	<1	<0,02	/	0,11
BCN BR	Moyenne annuelle minimum	7,1	8,5	<2 [#]	<0,02	/	0,28
	Moyenne annuelle maximum	7,6	15,8	<8 [#]	<0,04	/	0,59
	Moyenne décennale	7,4	12,5*	<4[#]	<0,03	/	0,41*

* moyenne 2000 – 2006 - # moyenne 2006 – 2010 (abaissement de la limite de détection)

Ces résultats mettent en évidence que :

- les eaux du ruisseau de la Baconnière et de ses deux affluents (ruisseau de la Ploblère et ruisseau de la Boissière) présentent un marquage radiologique en uranium 238 soluble, qui s'explique par le fait que le ruisseau de la Baconnière est récepteur du rejet des eaux traitées de la fosse d'une part, et que les ruisseaux de la Ploblère et de la Boissière reçoivent les eaux de ruissellement provenant des versants à stériles, d'autre part.
- les eaux de la rivière La Moine présentent des teneurs en radioéléments du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont de la confluence avec le ruisseau de la Baconnière. **Par conséquent, l'impact radiologique du ruisseau de la Baconnière, et par extension du rejet du site de la Baconnière sur la rivière La Moine est nul.**
- les teneurs en fer mesurées dans les eaux de La Moine en aval du site sont plus importantes que celles mesurées avant la confluence avec le ruisseau de la Baconnière.

Les eaux des puits fermiers environnants

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 30 novembre 2006, 6 puits fermiers, situés dans l'environnement proche du site de la Baconnière, font l'objet d'un contrôle annuel de la qualité radiologique de leurs eaux (uranium 238 et radium 226 solubles).

L'ensemble de ces puits et les moyennes décennales associées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Pont de prélèvement	Localisation	pH	U ₂₃₈ sol*. en µg/l	Ra ₂₂₆ sol. en Bq/l
BOISS	Village de la Basse Boissière	6,0	25	<0,04
BCN 54	Village de la Haute Boissière	6,3	<5	<0,03
BCN 47	Village de la Bastille	6,7	<3	<0,03
BCN 49	Village de la Thibaudière	6,8	5	0,12
BCN 52	Village de la Malécotière	5,4	4	0,46
BCN 58	Village de la Plobière	6,2	<2	<0,03

* Moyenne 2006 – 2010 (abaissement de la limite de détection)

Ces résultats mettent en évidence que :

- seules les eaux du puits BOISS présentent un léger marquage en uranium 238 soluble, du fait de sa localisation en aval hydraulique des versées à stériles des fosses n°1 et 2.
- les eaux des puits BCN 49 et BCN 52 présentent des activités en radium 226 soluble plus importantes que celles mesurées dans les eaux des autres puits. Leur localisation en amont hydraulique du site témoigne d'un fond radiométrique naturel particulièrement élevé.

Les prélèvements de sédiments

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 30 novembre 2006, des prélèvements de sédiments sont effectués dans le ruisseau de la Baconnière (RU BCN) et dans son affluent le ruisseau de la Plobière (RU POB) et dans la rivière La Moine, aux points NORM A (référence « Amont site ») et BCN BR (Aval site).

Les sédiments prélevés en amont du site de la Baconnière présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

NORM A	Ra ₂₂₆ en Bq/kg	U ₂₃₈ en Bq/kg	Pb ₂₁₀ en Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	15	<25	15
Moyenne annuelle maximum	70	321	<100
Moyenne décennale	<36	<82	<55

Les sédiments prélevés en aval du site de la Baconnière présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

		Ra ₂₂₆ en Bq/kg	U ₂₃₈ en Bq/kg	Pb ₂₁₀ en Bq/kg
RU BCN	Moyenne annuelle minimum	<30	161	70
	Moyenne annuelle maximum	303	2086	268
	Moyenne décennale	<156	956	<129
RU POB	Moyenne annuelle minimum	<30	218	<30
	Moyenne annuelle maximum	116	1391	<140
	Moyenne décennale	<60	620	<88
BCN BR	Moyenne annuelle minimum	<50	75	<30
	Moyenne annuelle maximum	120	457	420
	Moyenne décennale	<71	171	<111

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la figure 10.

De plus, dans le cadre de la réalisation de ce bilan environnemental, un prélèvement complémentaire de sédiments (BCN BAC SD) a été effectué dans le ruisseau de la Boissière, en aval du site. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Année	U ₂₃₈ Bq/kg	Ra ₂₂₆ Bq/kg	Pb ₂₁₀ Bq/kg
2011	300	60	<80

L'ensemble de ces résultats met en évidence que :

- le ruisseau de la Baconnière présente un marquage radiologique en uranium 238, et dans une moindre mesure en radium 226 et en plomb 210.
- les ruisseaux de la Plobière et de la Boissière présentent également, mais dans une moindre mesure, un marquage radiologique en uranium 238, en radium 226 et en plomb 210.
- les sédiments prélevés dans la rivière La Moine, présentent des activités en radioéléments du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sédiments prélevés en amont du site (point NORM A). **L'impact du site sur les sédiments de la rivière La Moine peut être considéré comme nul.**

Cependant, ces niveaux restent dans la gamme de valeurs donnée par l'IRSN (cf. paragraphe 8.1.2).

Les prélèvements de végétaux aquatiques

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 30 novembre 2006, des prélèvements de végétaux aquatiques (iris, nénuphar, joncs ou salicaires) sont effectués dans le ruisseau de la Baconnière (RU BCN) et dans son affluent le ruisseau de la Plobière (RU POB) et dans la rivière La Moine, aux points NORM A (référence « Amont site ») et BCN BR (Aval site).

Les végétaux prélevés en amont du site de la Baconnière présentent les caractéristiques radiologiques moyennes suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

NORM A	Ra ₂₂₆ Bq/kg de végétal frais	U ₂₃₈ Bq/kg de végétal frais	Pb ₂₁₀ Bq/kg de végétal frais
Moyenne décennale	<2,9	<4,4	<6,4

Les végétaux aquatiques prélevés en aval du site de La Baconnière présentent les caractéristiques radiologiques moyennes suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

Moyenne décennale	Ra ₂₂₆ Bq/kg de végétal frais	U ₂₃₈ Bq/kg de végétal frais	Pb ₂₁₀ Bq/kg de végétal frais
RU BCN	<4,9	<12,5	<7,2
RU POB	<2,6	<5,0	<6,2
BCN BR	<2,8	<5,3	<7,4

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la figure 10.

Ces résultats mettent en évidence que les activités massiques en radioéléments contenues dans les végétaux aquatiques prélevés en aval du site sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site. **L'impact radiologique du site de la Baconnière sur les végétaux aquatiques est donc nul.**

➤ **PRESENTATION DE L'ETUDE GEOARMOR DE DECEMBRE 2009**

Suite à l'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30/11/2006, actant de la déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers sur le site de La Baconnière, AREVA a mandaté la société Géoarmor Environnement, pour la réalisation d'une « étude des incidences liées à la qualité des eaux de l'ancienne mine à ciel ouvert », à savoir la fosse en eau dite Bastille (Etude Géoarmor Environnement, MT/R5047, Décembre 2009).

La première partie de cette étude a consisté en une présentation du contexte hydrologique et hydrogéologique du site, telle que décrite dans le paragraphe 2.5.3. Les parties suivantes présentent les mesures et résultats d'analyses effectuées afin d'évaluer l'impact du site sur la qualité des eaux dans l'environnement, ainsi que les préconisations de Géoarmor quant au maintien ou à la suppression des différentes mesures mises en œuvre par AREVA en 2006.

Gestion des eaux sur le site et effets sur les eaux périphériques

Après la fin des extractions (1988), le pompage d'exhaure a été stoppé et l'excavation s'est progressivement remplie d'eau (au rythme moyen de 30 m³/h jusqu'à la cote 80 m N.G.F. puis 6 m³/h jusqu'à la cote de débordement gravitaire 83,45 m NGF). La remontée de l'eau s'est accompagnée:

- d'une acidification du plan d'eau (pH = 3 en 1988) accompagnée d'une hausse des teneurs en uranium et radium,
- de résurgences d'eaux acides dans les ruisseaux de la Poblère et de la Baconnière.

Face à ces constats, plusieurs mesures ont été mises en œuvre :

- mise en place, en juillet 1995, d'une installation de neutralisation de l'eau de la fosse (pompage, ajout de chaux éteinte et rejet dans la fosse),
- isolement du plan d'eau vis-à-vis des eaux de ruissellement extérieur via un réseau de fossés qui contournent la mine à ciel ouvert,
- pompage et rejet des eaux de la fosse (30 m³/h) dans le ruisseau de la Baconnière pour maintenir son niveau en dessous de la cote 79 m NGF.

Le fonctionnement actuel du traitement de l'eau de la fosse est décrit au paragraphe 10.1.2 (Réduction des impacts sur le vecteur Eau).

Dans cette étude, Géoamor a appréhendé les risques résiduels liés à l'eau après arrêt des travaux miniers par l'intermédiaire de la chaîne source/vecteur/cible, comme présenté dans le tableau suivant :

Sources	<p>« Les risques possibles sont associés à la qualité des eaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • du plan d'eau de la mine à ciel ouvert, • du rejet de ce plan d'eau vers le ruisseau de la Baconnière. <p>[...]</p> <p>Le pH joue un rôle essentiel sur la mise en solution de certains éléments et en particulier de l'uranium et du radium. Les faibles pH observés ont pour origine le lessivage des stériles mis en remblais dans la partie Est de la fosse, conduisant à une oxydation de la pyrite qu'ils contiennent. »</p>
Vecteurs	<p>« Le transfert de ces polluants potentiels peut avoir lieu par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les eaux superficielles qui reçoivent le rejet d'exhaure du plan d'eau, • les eaux souterraines contenues dans les niveaux altérés de subsurface : estimées par AREVA au-dessus de la cote 80 m NGF, au niveau de la limite Nord de la fosse. Ces eaux souterraines peuvent ensuite réalimenter les eaux superficielles. »
Cibles	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de cible sur le site même (site clôturé et interdit au public – pas d'employés permanents sur le site). • AP D3-2006 n°702 du 30/11/2006 interdit "toute activité de loisir sur le plan d'eau" • Pour les ruisseaux de la Baconnière, de la Ploblère et de la Boissière : utilisation de l'eau pour l'abreuvement de bovins mais aucun usage du type eau potable, pêche, irrigation, sports aquatiques. • Pour la rivière La Moine : pêche et présence d'un captage pour l'irrigation en aval immédiat de la confluence avec le ruisseau de la Baconnière. • Aucun ouvrage (puits ou forage) n'a été recensé en aval hydraulique du plan d'eau, cependant les puits BCN 54 (Haute Boissière) et BOISS (Basse Boissière) sont utilisés respectivement pour l'eau potable (captage privé) et l'abreuvement de bovins.

Il ressort de cette analyse que « les risques potentiels concernent :

- les utilisateurs de l'eau de la Moine,
- les utilisateurs des puits BCN 54 et BOISS, bien que ces deux ouvrages ne soient pas en aval hydraulique de la fosse 5-6 (plan d'eau) mais en aval hydraulique de la fosse 3-4 qui a déjà été remblayée et remise en état,
- les bovins qui s'abreuvent dans les ruisseaux.

Dès lors, l'enjeu principal relatif à la qualité des eaux concerne l'impact sur les milieux aquatiques et le respect des objectifs du SDAGE Loire-Bretagne » et par extension, du SAGE Sèvre-Nantaise, qui dans le cadre de son objectif principal « Lutter contre les pollutions » fixe un objectif de bonne qualité (1B) pour tous les cours d'eau du bassin de la Sèvre-Nantaise.

Géoarmor a ensuite réalisé un diagnostic de la qualité des eaux, basé sur les résultats AREVA pour la période 1993-2005 (pH, MES, Fer, uranium et radium 226) et sur des résultats obtenus à partir de campagnes de mesures réalisées au cours du cycle hydrologique 2008-2009. Ces nouvelles investigations se sont organisées de la manière suivante :

- « 5 campagnes de mesures de pH et conductivité sur différents points du plan d'eau et du réseau hydrographique proche (≈ 30 points de suivi),
- 1 campagne d'analyses plus importante sur 7 points de prélèvements choisis,
- 2 campagnes de prélèvement hydrobiologique (IBD et IBGN) sur le ruisseau de la Baconnière et la Moine. »

A l'issue de ces campagnes, Géoamor a réalisé une synthèse des effets du site de la Baconnière sur la qualité des eaux. Ces conclusions sont présentées dans le tableau suivant :

Eaux souterraines		<ul style="list-style-type: none"> Impact potentiel des eaux souterraines par les eaux du plan d'eau de la MCO en cas de remontée du plan d'eau au-delà de la cote 80 m NGF avec résurgences d'eaux acides. Cet impact concerne l'aval du site, c'est-à-dire les terrains compris entre la mine à ciel ouvert et la Moine. Sur ce secteur, hormis le puits BOISS, aucun ouvrage de captage des eaux souterraines (source, puits ou forage) n'a été recensé. « <i>Concernant le puits BOISS, les résultats d'analyses ont montré une influence limitée des anciens travaux miniers sur la qualité de ses eaux, dont l'usage pour l'alimentation en eau potable est déconseillé. Un suivi qualitatif de ce puits est, en outre, recommandé.</i> » <p>« Le seul impact notable concerne alors la dégradation des eaux superficielles au niveau des résurgences. »</p>
Eaux superficielles	La Moine	« <i>Les prélèvements réalisés par AREVA dans le cadre du suivi environnemental réglementaire, GÉOARMOR concernant la physico-chimie, ALGADE concernant la radioactivité, et HYDROBIO concernant les milieux aquatiques, montrent l'absence d'impact notable entre l'amont et l'aval du ruisseau de la Baconnière.</i> »
	Ruisseau de la Baconnière	<ul style="list-style-type: none"> Ce ruisseau reçoit directement le rejet du plan d'eau de la MCO qui permet de maintenir le niveau d'eau de celui-ci en dessous de la cote 79 m NGF. Ce rejet intermittent constitue alors le principal débit du ruisseau (environ 30 % du module interannuel estimé). « <i>La qualité de ce rejet ne respecte pas, pour les paramètres sulfates, zinc et chlorures, l'objectif de qualité 2 imposé par le SDAGE Loire-Bretagne et rehaussé à 1B par le SAGE Sèvre-Nantaise.</i> » « <i>La qualité du ruisseau s'améliore cependant au fil du cours d'eau et n'influence pas, au final, la qualité des eaux de la Moine.</i> » « <i>Les prélèvements hydrobiologiques montrent une forte dégradation de la qualité du cours d'eau en période de rejet mais une excellente capacité de régénération du ruisseau en absence de rejet.</i> » Aucun usage de ce ruisseau de type : pêche, loisirs aquatiques ou captages privés ou publics en raison notamment de son faible débit. <p>« Les impacts du rejet sur le ruisseau de la Baconnière peuvent être considérés comme forts en amont et s'atténuant fortement en aval, sans avoir de conséquence sur l'environnement humain. Le principal impact correspond à l'impact sur les milieux aquatiques également soumis à l'incidence de la forte pression agricole du bassin versant. »</p>
	Ruisseau de la Poblère	« <i>La qualité des eaux du ruisseau de la Poblère est satisfaisante dans la situation actuelle (maintien du niveau du plan d'eau au-dessous de la cote 79 NGF). Ce ruisseau est, par contre, fortement impacté par l'activité agricole (nitrates).</i> »
	Ruisseau de la Basse Boissière	<ul style="list-style-type: none"> La qualité de ce ruisseau est assez dégradée (pH faibles et conductivité élevée à corrélérer aux fortes concentrations en zinc, sulfates et fluorures mesurées). Ceci témoigne nettement de l'impact de l'activité passée des travaux miniers. Ce ruisseau ne peut pas être influencé par le rejet de la MCO, ni par la qualité du plan d'eau, son bassin d'alimentation correspond plutôt à l'ancienne fosse 4-5 remblayée et remise en état. « <i>Les actions à mettre en œuvre sur le site actuel de la Baconnière ne permettront pas de modifier la qualité des eaux de ce ruisseau qui rejoignent le ruisseau de la Baconnière. À l'aval de cette confluence, la qualité des eaux du ruisseau de la Baconnière est peu influencée par les eaux du ruisseau de la Basse Boissière.</i> »

Concernant l'analyse du risque associé à la radioactivité, Géoamor a confié cette étude à ALGADE qui concluait de la manière suivante :

« L'étude effectuée sur les eaux superficielles à l'aval du site de la Baconnière a permis de constater que les niveaux de radioactivité mesurés ne pouvaient pas entraîner un impact environnemental significatif par rapport au niveau naturel régional. »

Cependant, les eaux de la fosse et les cours d'eau récepteurs à l'aval immédiat du site et alimentés directement par les eaux rejetées du site doivent rester sous une surveillance régulière afin de garantir que leurs caractéristiques radiologiques ne se détériorent pas et sont compatibles avec les scénarios possibles d'exposition des personnes du public séjournant actuellement à l'aval du site. »

Raisons techniques et financières pour lesquels les risques résiduels ne peuvent être supprimés

Au regard des analyses et conclusions figurant dans le paragraphe précédent, Géoarmor conclut que *« les risques résiduels liés au rejet des eaux sont acceptables dans les conditions de la gestion actuelle des eaux. »*

Les objectifs vont donc être de maintenir et d'améliorer cette gestion des eaux dans l'avenir :

- maintenir le pH stable et proche de la neutralité dans le rejet,*
- maintenir le pH stable et proche de la neutralité dans la fosse,*
- faciliter/automatiser la gestion des eaux pour garantir la stabilité du pH sur le long terme. »*

Le synoptique présenté à la page suivante décrit les différentes mesures envisageables pour tendre vers les objectifs précités.

Mesures de surveillance ou de prévention à maintenir

Dans le dernier chapitre de cette étude, Géoarmor présente les différentes mesures de surveillance ou de prévention à maintenir ou à mettre en place. Ces mesures concernent :

- le maintien de la clôture en périphérie du plan d'eau.
- les usages possibles pour l'excavation : seul l'accueil de déchets inertes pourra être envisagé.
- le suivi qualitatif des eaux : le dispositif défini par l'arrêté préfectoral du 30/11/2006 sera maintenu et complété par :
 - l'ajout du ruisseau de la Basse Boissière, au niveau du point RU BBS, dans le suivi mensuel des paramètres pH, Ra₂₂₆ soluble et U soluble,
 - l'ajout du puits "BOISS" dans le suivi semestriel des paramètres : piézométrie, pH, Ra₂₂₆ soluble et U soluble.
 - la mise en place d'un suivi en continu du pH du rejet.
- l'aspect radioactivité : l'étude ALGADE (fournie en annexe 6 de l'étude Géoarmor MT/R5047 – Décembre 2009) mentionne que :

« Cette surveillance, telle que déjà prévue dans l'Arrêté Préfectoral, doit être étendue au ruisseau de la Basse Boissière et au puits de la Basse Boissière qui ne subissent pas directement l'influence des eaux de la mine à ciel ouvert de la Baconnière mais restent sous l'influence des anciennes exploitations aujourd'hui réaménagées et remises dans le domaine public.

La surveillance radiologique des eaux de surface doit porter sur les mesures mensuelles de l'activité volumique du radium 226 soluble et de la teneur en uranium soluble. Pour le puits de la Basse Boissière, ces mesures peuvent être complétées annuellement par la mesure de l'ensemble des radionucléides naturels permettant de déterminer une Dose Totale Indicative (DTI) pour une personne adulte qui serait susceptible de consommer ces eaux conformément à la réglementation sur les eaux destinées à la consommation humaine. »

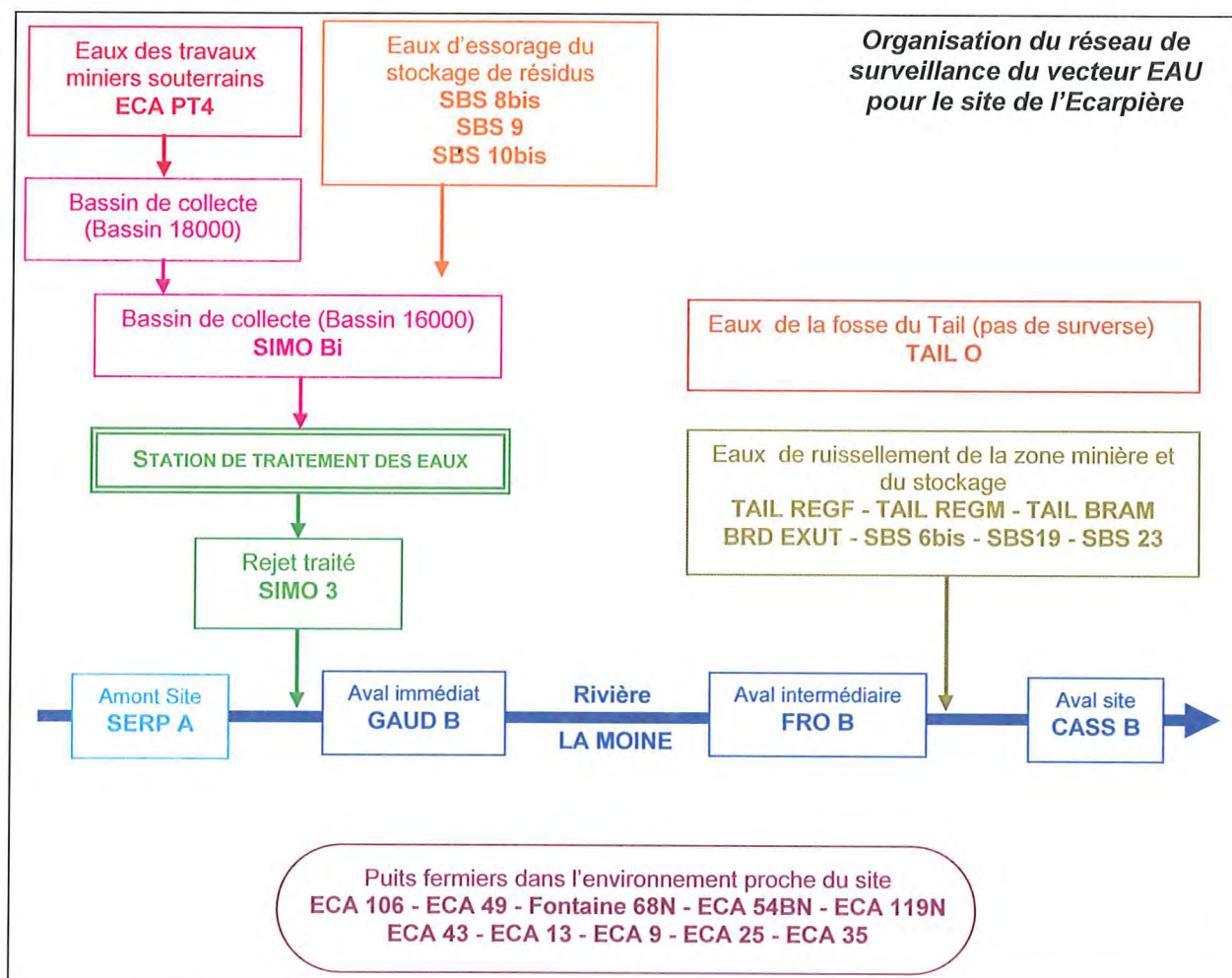
- la limitation d'usage du puits BOISS : ce puits ne devra pas être exploité pour l'eau potable.
- l'entretien et la maintenance de l'ensemble des installations : circuit de pompage, traitement à chaux, sonde du niveau du plan d'eau, sonde de contrôle du pH de rejet.

8.1.3.6 Site de L'Ecarpière

Le site de l'Ecarpière fait l'objet de contrôles sur le vecteur EAU tels que définis par l'arrêté préfectoral du 15 avril 2008. La localisation des points de prélèvements est présentée en annexe 3.1.

Le réseau de surveillance du site, tel que présenté par le schéma ci-dessous, s'organise autour de quatre pôles distincts :

- **Les eaux traitées**, à savoir les eaux provenant des travaux miniers souterrains (ECA PT4) et les eaux d'essorage du stockage de résidus de traitements (SBS 8bis, SBS 9 et SBS 10bis). Ces eaux sont collectées dans un bassin appelé « bassin 16000 » (SIMO Bi), puis sont envoyées vers la station de traitement des eaux. Le rejet traité (SIMO 3) s'effectue dans la rivière la Moine, face au lieu-dit Gaudu (commune de Saint-Crespin-sur-Moine) ;
- **Les eaux du site, ne faisant pas l'objet d'un traitement**, à savoir :
 - Les eaux de ruissellement de la zone minière et du stockage : TAIL REGF, TAIL REGM, TAIL BRAM, BRD EXUT, SBS 6bis, SBS19 et SBS 23,
 - Les eaux de la fosse du Tail (TAIL O), qui ne possède pas de surverse ;
- **Les eaux de la rivière La Moine** en amont du site (SERP A) et en aval du site (GAUD B, FRO B et CASS B) ;
- **Les eaux des puits fermiers** situées dans l'environnement proche du site (ECA 106, ECA 49, Fontaine 68N, ECA 54BN, ECA 119N, ECA 43, ECA1 3 et ECA 9).



Le tableau suivant présente la périodicité des contrôles pour ces différents points de prélèvements :

	Points de prélèvement	Débit	Niveau d'eau	pH	MES	Radium 226		Uranium	Fe	Al	Ba	
						sol.	insol.	sol.				
Eaux de site	Av. trait.	ECA PT4			M	M	M	M	M			
		SBS 8bis	M		M		M	M	M			
		SBS 9	M		M		M	M	M			
		SBS 10bis	M		M		M	M	M			
		SIMO Bi			J	M	H	H	H	M		
	Ap. trait.	SIMO 3	J		J	J	H	H	H	M	M	M
	Sans traitement	TAIL BRAM			M		M	S	M			
		TAIL REGM			M		M	S	M			
		TAIL REGF			M		M	S	M			
		TAIL O			M		M	S	M			
		SBS 6bis			M		M	S	M			
		SBS 16bis			M		M	S	M			
		SBS 23			M		M	M	M			
		SBS 19			M		M	S	M			
BRD EXUT			M		M	S	M					
Eaux de la rivière La Moine	SERP A			M	M	M	M	M	M			
	GAUD B			M	M	M	M	M	M			
	FRO B			M	M	M	M	M	M			
	CASS B			M		M	S	M				
Puits fermiers dans l'environnement proche	ECA 9		S	S		S		S				
	ECA 13		S	S		S		S				
	ECA 25		S	S		S		S				
	ECA 35		S	S		S		S				
	ECA 43		S	S		S		S				
	ECA 106		S	S		S		S				
	ECA 49		S	S		S		S				
	ECA 54BN		S	S		S		S				
	Fontaine 68 BN		S	S		S		S				
ECA 119BN		S	S		S		S					

L'ensemble des résultats des prélèvements d'eau (moyenne annuelle sur la période 2000 – 2010) est présenté en figure 9.

LES EAUX TRAITEES DU SITE

Les eaux rejetées doivent respectées les limites suivantes (cf. paragraphes 3.1 et 10.1.1) :

- pH \Rightarrow 5,5 à 8,5
- MES \Rightarrow 30 mg/l
- DCO \Rightarrow 80 mg/l
- Fer \Rightarrow 5 mg/l
- U soluble \Rightarrow 1,8 mg/l
- Ra₂₂₆ soluble \Rightarrow 0,37 Bq/l
- Ra₂₂₆ insoluble \Rightarrow 3,7 Bq/l

Les eaux provenant des travaux miniers souterrains (point de prélèvement ECA PT4) présentent, pour la période 2000 – 2010, les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques suivantes :

- un pH, compris entre 5,9 et 6,3 (moyenne = 6,2), qui reste stable sur la période étudiée ;
- une concentration en matière en suspension (MES), stable entre 2000 et 2010, comprise entre 2 et 6 mg/l (moyenne = 3 mg/l) ;
- une teneur en U₂₃₈ soluble comprise entre 76 et 280 µg/l (moyenne = 143 µg/l) et qui décroît régulièrement depuis 10 ans ;
- une teneur en Ra₂₂₆ soluble comprise entre 0,90 et 1,70 Bq/l (moyenne = 1,30 Bq/l), qui diminue légèrement sur la période étudiée ;
- une teneur en Ra₂₂₆ insoluble comprise entre 0,03 et 0,16 Bq/l (moyenne = 0,08 Bq/l) et relativement stable depuis 10 ans ;
- une concentration en fer, comprise entre 73,04 et 100,11 mg/l (moyenne = 85,04 mg/l) et qui présente une légère baisse sur la période 2000 – 2010.

Les eaux d'essorage du stockage de résidus de traitement du minerai proviennent d'un réseau de drains et fossés situés en périphérie de la digue du stockage. Il existe trois points de contrôles principaux :

- SBS 8bis : point de contrôle des eaux provenant du réseau de drains « Ouest ». Les drains ouest présentent un débit moyen sur 10 ans de 2,58 m³/h (débit annuel mini = 1,14 m³/h en 2003 et débit annuel maxi = 5,08 m³/h en 2002).
- SBS 9 : point de contrôle des eaux provenant du réseau de drains « Nord ». Les drains du réseau Nord sont régulièrement à sec (années : 2000, 2002, 2005, 2006, 2008, 2009 et 2010).
- SBS 10bis : point de contrôle des eaux provenant du réseau de drains « Est ». Les drains du réseau Est présentent un débit moyen sur 10 ans de 1,45 m³/h (débit annuel mini = 0,50 m³/h en 2008 et débit annuel maxi = 2,69 m³/h en 2006).

Les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques de ces eaux sont les suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

- un pH compris entre 4,1 et 7,7 (moyenne = 6,8) : les pH les plus bas ont été mesurés dans les eaux du réseau Nord pour la période étudiée.
- une teneur en U₂₃₈ soluble comprise entre 17 et 950 µg/l (moyenne décennale = 217 µg/l) : les teneurs en U₂₃₈ soluble les plus fortes ont été mesurées dans les eaux du réseau Nord. En revanche, pour les eaux des réseaux Ouest et Est, cette teneur est du même ordre de grandeur que pour la moyenne décennale, avec toutefois des teneurs annuelles parfois inférieures à 70 µg/l pour les eaux du point SBS10bis.

- une teneur en Ra₂₂₆ soluble comprise entre 0,06 et 2,07 Bq/l (moyenne décennale = 0,62 Bq/l) : les teneurs en Ra₂₂₆ soluble les plus fortes ont été mesurées dans les eaux du réseau Nord. Cependant, pour les eaux des réseaux Ouest et Est, cette teneur est du même ordre de grandeur que pour la moyenne décennale, avec quelques teneurs annuelles inférieures à 0,07 Bq/l pour les eaux du point SBS 8bis.
- une teneur en Ra₂₂₆ insoluble, stable quelque soit le réseau de drains et comprise entre 0,02 et 0,12 Bq/l (moyenne = 0,05 Bq/l).

Les eaux des travaux miniers souterrains sont acheminées vers un bassin de collecte avant traitement avec les eaux d'essorage du stockage de résidus, appelé « bassin 16 000 », où un nouveau contrôle des eaux est effectué (point de prélèvement SIMO Bi).

Les eaux du bassin 16000 présentent les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

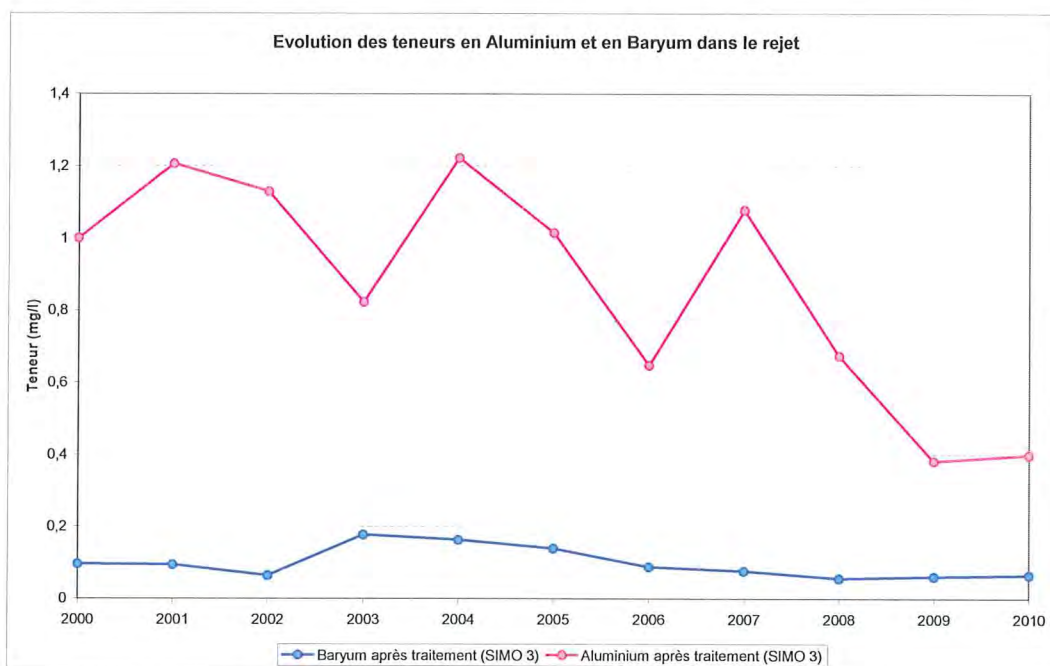
- un pH, compris entre 3,5 et 6,0 (moyenne = 4,7), qui présente une augmentation et une amélioration régulière d'année en année pour la période étudiée ;
- une concentration en matière en suspension (MES), stable entre 2000 et 2006 et comprise entre 7 et 14 mg/l (moyenne = 11 mg/l) – aucune mesure n'a été effectuée sur la période 2007 – 2010 ;
- une teneur en U₂₃₈ soluble comprise entre 20 et 160 µg/l (moyenne = 81 µg/l) et qui décroît très nettement depuis 10 ans ;
- une teneur en Ra₂₂₆ soluble comprise entre 0,83 et 1,17 Bq/l (moyenne = 1,00 Bq/l), qui diminue légèrement d'année en année sur la période étudiée ;
- une teneur en Ra₂₂₆ insoluble, stable depuis 10 ans et comprise entre 0,03 et 0,04 Bq/l (moyenne = 0,04 Bq/l) ;
- une concentration en fer, comprise entre 3,60 et 19,03 mg/l (moyenne = 9,72 mg/l) et présentant une amélioration constante sur la période 2000 – 2010.

Remarque :

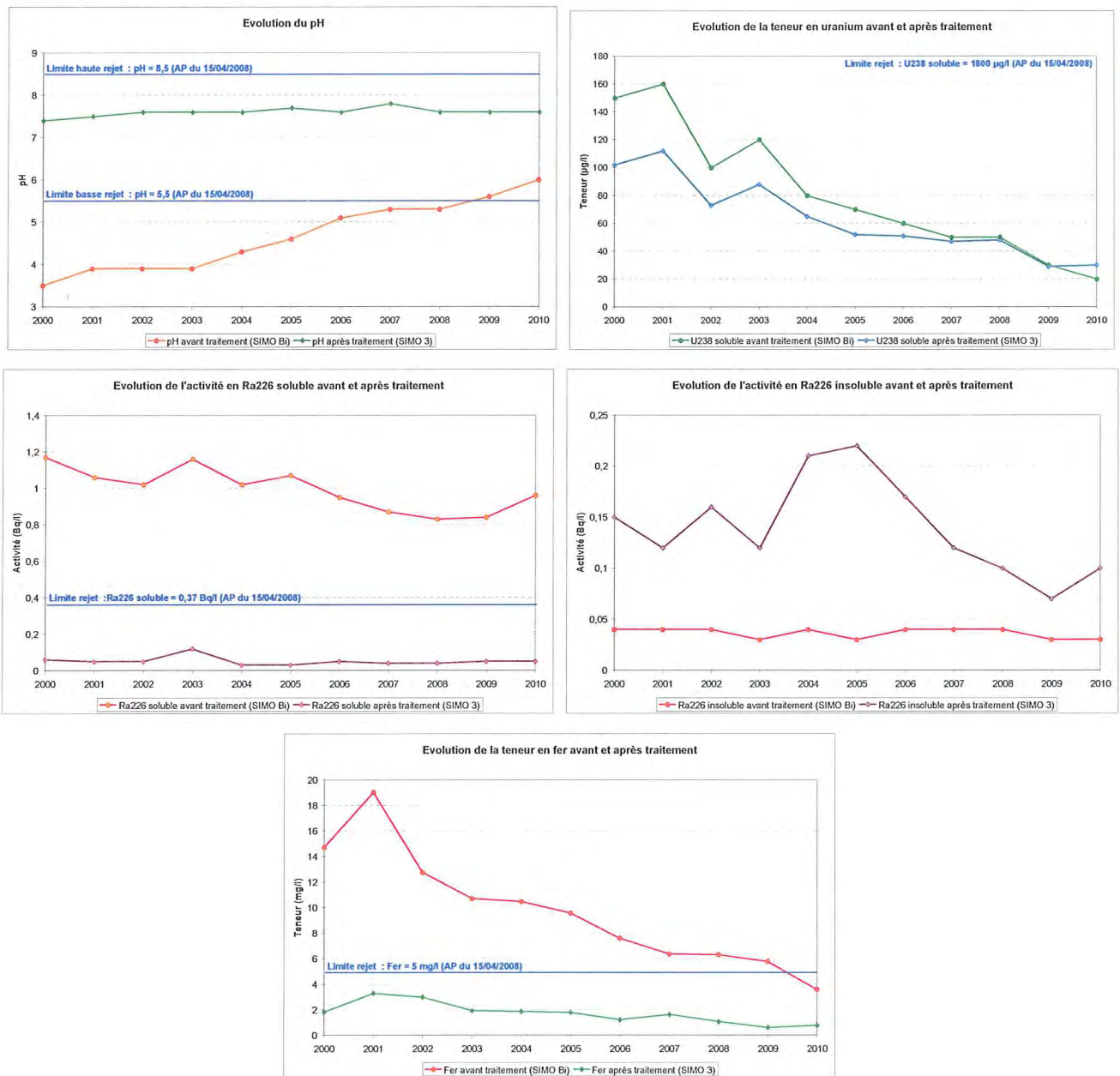
Seules les eaux issues des travaux miniers souterrains présentent une concentration en fer non négligeable. Les eaux des travaux miniers souterrains, naturellement chargées en fer ferreux, sont d'abord collectées dans un premier bassin appelé « bassin 18 000 ». Dans ce bassin, le fer s'oxyde au contact de l'air et les oxydes de fer ainsi formés, décantent, permettant de réduire d'environ 30 % la concentration en fer contenue dans les eaux des TMS. Les eaux du bassin 18000 sont ensuite pompées et acheminées vers le bassin 16000, où le même principe d'oxydation du fer et de décantation se reproduit. Par conséquent, ces opérations permettent d'améliorer considérablement la concentration en fer des eaux avant passage par la station de traitement. Cette amélioration n'aurait pas pu être obtenue en utilisant uniquement l'effet de dilution ajouté par les eaux provenant du stockage de résidus (Cf. chapitre 10.1 « Réduction des impacts sur le vecteur eau » - paragraphe sur le circuit et le traitement des eaux sur le site de l'Ecarpière).

Après passage par la station de traitement, le rejet du site de l'Ecarpière (point de prélèvement SIMO 3) présente les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

- un pH, stable sur la période étudiée et compris entre 7,4 et 7,8 (moyenne = 7,6) ;
- une concentration en matière en suspension (MES), comprise entre 7 et 17 mg/l (moyenne = 12 mg/l), qui tend à diminuer d'année en année ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 30 et 112 $\mu\text{g/l}$ (moyenne = 63 $\mu\text{g/l}$) et qui décroît nettement depuis 10 ans ;
- une teneur en Ra_{226} soluble comprise entre 0,03 et 0,12 Bq/l (moyenne = 0,05 Bq/l), qui reste stable d'année en année sur la période étudiée ;
- une teneur en Ra_{226} insoluble, comprise entre 0,07 et 0,22 Bq/l (moyenne = 0,14 Bq/l) et variable d'une année à l'autre ;
- une concentration en fer, relativement stable sur la période 2000 – 2010 et comprise entre 0,78 et 3,29 mg/l (moyenne = 1,73 mg/l) ;
- une concentration en baryum, comprise entre 0,057 et 0,178 mg/l (moyenne = 0,100 mg/l) et qui reste relativement stable malgré les années 2003 – 2004 et 2005 qui présentent de légers pics supérieurs à 0,140 mg/l en moyenne annuelle (Cf. graphique ci-dessous) ;
- une concentration en aluminium, comprise entre 0,383 et 1,223 mg/l (moyenne = 0,920 mg/l), et variable en fonction des années (Cf. graphique ci-dessous).



Les graphiques ci-dessous présentent les améliorations de la qualité radiologique et physico-chimique des eaux apportées par la station de traitement :

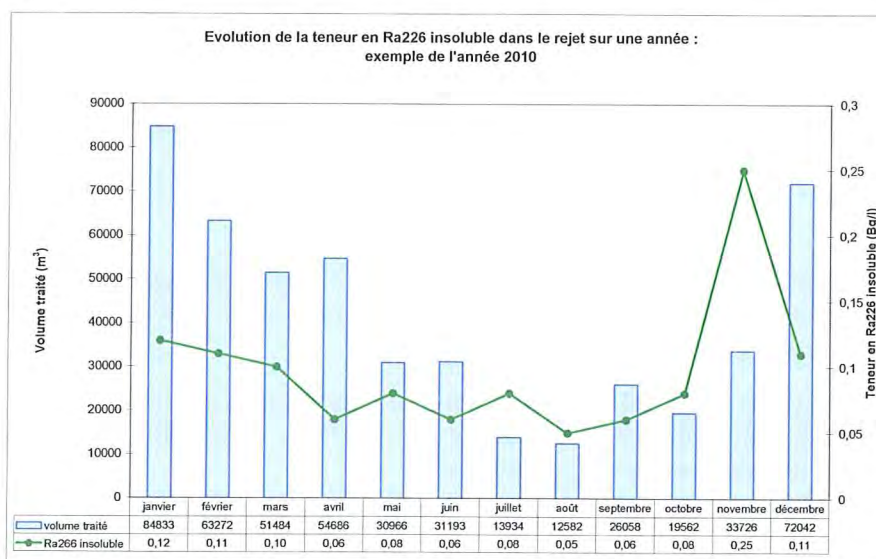


Ils mettent en évidence que :

- le pH des eaux en sortie de station est du même ordre de grandeur que celui mesuré dans les eaux de la rivière La Moine, en amont du site (point de prélèvement SERP A). Sur la période 2000 – 2010, le pH du rejet respecte les limites fixées par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008 ($pH_{\min} = 7,4$; $pH_{\max} = 7,8$; $pH_{\text{moy}} = 7,6$).
- sur les dix dernières années, la teneur en uranium 238 soluble dans les eaux avant et après traitement diminue régulièrement d'année en année sur la période étudiée, et respecte la limite fixée par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008 ($[U \text{ soluble}]_{\min} = 112 \mu\text{g/l}$; $[U \text{ soluble}]_{\max} = 29 \mu\text{g/l}$; $[U \text{ soluble}]_{\text{moy}} = 63 \mu\text{g/l}$).

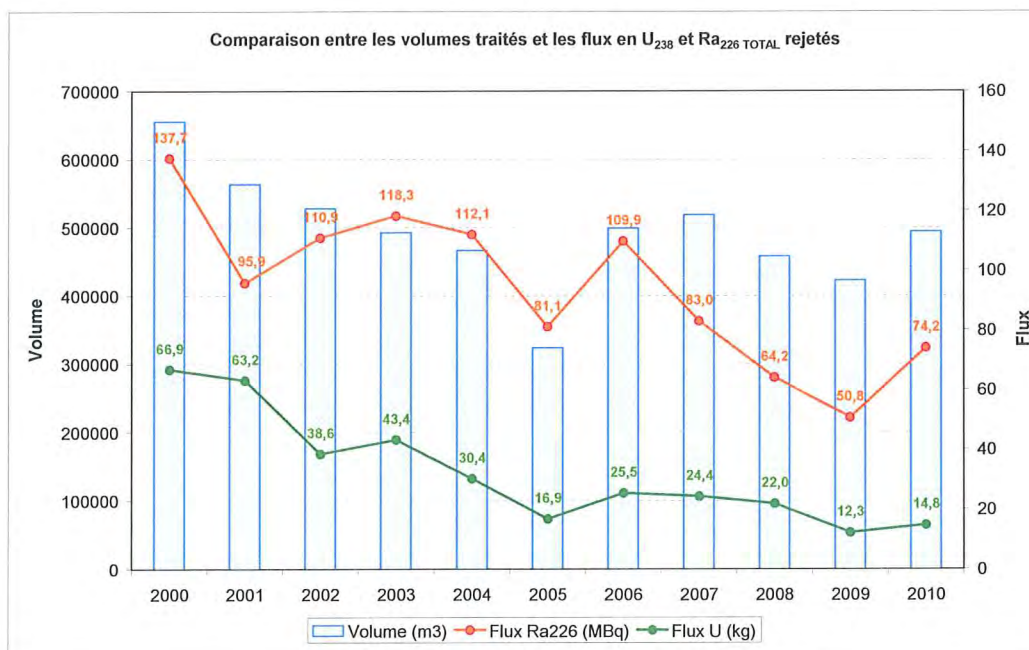
- la teneur en radium 226 soluble après traitement (SIMO Bi) est très nettement inférieure à celle mesurée dans les eaux avant traitement (SIMO 3) et respecte la limite prescrite par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008, sur la période 2000 - 2010. Ceci montre l'efficacité du traitement choisi par AREVA pour l'insolubilisation du radium dans les eaux ($[Ra_{226} \text{ soluble}]_{\min} = 0,03 \text{ Bq/l}$; $[Ra_{226} \text{ soluble}]_{\max} = 0,12 \text{ Bq/l}$; $[Ra_{226} \text{ soluble}]_{\text{moy}} = 0,05 \text{ Bq/l}$).
- les moyennes annuelles des teneurs en radium 226 insoluble contenues dans les eaux après traitement sont supérieures à celles mesurées dans les eaux avant traitement. Ceci est dû au principe même du traitement des eaux, c'est-à-dire l'insolubilisation du radium.

Au niveau des moyennes mensuelles sur une année, on constate que les teneurs en radium 226 insoluble sont inférieures au cours de la période d'été (avril à septembre), où les volumes traités sont en général deux fois plus faibles que ceux traités en période hivernale. Par conséquent, la station de traitement et surtout son bassin de décantation offre un meilleur rendement en période d'été. Le graphique ci-dessous illustre ce constat pour l'année 2010 :



- la concentration en fer avant traitement diminue très nettement entre 2000 et 2010, jusqu'à être inférieure à la limite de 5 mg/l fixée par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008. La concentration en fer dans le rejet après traitement est également inférieure à la limite réglementaire et diminue progressivement jusqu'à descendre en dessous de 1 mg/l sur 2009 et 2010.

Le graphique suivant présente les flux annuels en uranium 238 et radium 226 total (soluble et insoluble) rejetés par le site de l'Ecarpière :



Ce graphique met en évidence que, pour des volumes traités quasi-équivalents sur la période 2000 – 2010 (volume mini = 324 446 m³ en 2005, volume maxi = 655 580 m³ en 2000 et volume moyen décennal = 493 238 m³) :

- les flux en radium 226 total rejetés chaque année tendent à diminuer progressivement, malgré d'importantes variations observables (pics de 2003 et 2006) qui ne peuvent être imputés uniquement à la différence de volume traité.
- les flux en uranium 238 rejetés diminuent sur la période étudiée avec :
 - un flux en 2000 de 66,9 kg d'uranium rejeté ;
 - un flux en 2010 de 14,8 kg d'uranium rejeté ;
 - les légères différences observables d'une année à l'autre étant imputables aux différences de volumes traités.

LES EAUX DU SITE NON TRAITÉES

Les eaux du site ne faisant pas l'objet d'un traitement sont de trois catégories :

- les eaux de la fosse du Tail (TAIL O), qui ne possède pas de surverse ;
- des résurgences de la MCO du Tail au niveau de la rivière la Moine : TAIL REGF et TAIL REGM ;
- les eaux de ruissellement de la zone minière et du stockage (fossés de collecte) : TAIL BRAM, BRD EXUT, SBS 6bis, SBS19 et SBS 23.

Les eaux de la mine à ciel ouvert du Tail (TAIL O), dont le plan d'eau ne possède pas de surverse, présentent des caractéristiques physico-chimiques et radiologiques, relativement stables d'une année à l'autre pour la période 2000 – 2010 :

- un pH compris entre 7,4 et 8,2 (moyenne décennale = 7,9) ;
- une concentration en matière en suspension (MES), de l'ordre de 2,4 mg/l (mesures effectuées sur les trois dernières années) ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre 225 et 400 $\mu\text{g/l}$ (moyenne décennale = 314 $\mu\text{g/l}$) ;
- une teneur en Ra_{226} soluble inférieure à 0,20 Bq/l (moyenne < 0,06 Bq/l) ;
- une teneur en Ra_{226} insoluble inférieure à 0,05 Bq/l (moyenne < 0,03 Bq/l) ;
- une concentration en fer de l'ordre de 0,15 mg/l (mesures effectuées sur les trois dernières années).

Les eaux prélevées au niveau des émergences de la fosse du Tail (TAIL REGF, TAIL REGM) ne présentent pas d'écoulements pour certaines années (cf. tableaux de la figure 9). Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques de ces eaux et met en évidence que :

- le pH des eaux des résurgences est légèrement inférieur à celui mesuré dans les eaux de la fosse du Tail.
- ces eaux présentent un marquage radiologique en uranium 238 soluble, notamment au point TAIL REGF qui est supérieur à celui mesuré dans les eaux de la fosse du Tail (TAIL O).
- les eaux prélevées au point TAIL REGF présentent un marquage en radium 226 soluble, contrairement aux eaux prélevées dans la fosse du Tail.
- les teneurs en radium 226 insoluble de ces deux points de prélèvement sont du même ordre de grandeur que celle mesurée dans les eaux prélevées dans la fosse du Tail.

Caractéristiques physico-chimiques et radiologiques des eaux des résurgences de la fosse du Tail en bordure de la Moine

		MES mg/l	pH	U_{238} sol. $\mu\text{g/l}$	Ra_{226} sol. Bq/l	Ra_{226} insol. Bq/l	Fer mg/l
TAIL REGM	Moyenne annuelle minimum	5 (1seule mesure en 2010)	6,4	170	0,04	< 0,02	0,5 (1seule mesure en 2010)
	Moyenne annuelle maximum		6,9	320	0,08	0,04	
	Moyenne décennale	5	6,7	239	0,04	<0,02	0,5
TAIL REGF	Moyenne annuelle minimum	2 (1seule mesure en 2008)	6,5	360	0,16	0,03	2
	Moyenne annuelle maximum		7,3	1820	0,29	0,09	2
	Moyenne décennale	2	6,9	815	0,22	0,05	2

Les eaux de ruissellement (TAIL BRAM, BRD EXUT, SBS 6bis, SBS19 et SBS 23) sont prélevées dans des fossés de collecte ceinturant la zone minière et le stockage. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques de ces eaux :

		pH	U ₂₃₈ sol. µg/l	Ra ₂₂₆ sol. Bq/l	Ra ₂₂₆ insol. Bq/l	Fer mg/l
TAIL BRAM	Moyenne annuelle minimum	7	270	0,1	< 0,01	0,1
	Moyenne annuelle maximum	7,5	559	0,28	0,09	0,5
	Moyenne décennale	7,3	433	0,21	<0,04	0,3
SBS 6bis	Moyenne annuelle minimum	5,5	10	0,03	0,01	0,50
	Moyenne annuelle maximum	6,7	73	0,08	0,07	0,70
	Moyenne décennale	6,1	<38	0,05	<0,03	0,59
SBS 16bis	Moyenne annuelle minimum	5,0	19	0,08	0,01	0,10
	Moyenne annuelle maximum	6,0	196	0,16	0,04	0,20
	Moyenne décennale	5,4	88	<0,11	<0,03	0,17
SBS 19	Moyenne annuelle minimum	7,1	50	0,03	0,02	/
	Moyenne annuelle maximum	8,0	121	0,08	0,07	
	Moyenne décennale	7,4	76	0,05	0,05	
SBS23	Moyenne annuelle minimum	6,2	< 3	0,03	0,02	/
	Moyenne annuelle maximum	7,3	80	0,16	0,26	
	Moyenne décennale	6,8	<36	<0,09	<0,06	

Ce tableau met en évidence que :

- les eaux de ruissellement de la zone minière et du stockage présentent un pH légèrement acide (pH moyen décennal < 6,8, à l'exception des points TAIL BRAM et SBS 19).
- ces eaux présentent un marquage radiologique en uranium 238 soluble (moyenne décennale maximale : 433 µg/l) et en radium 226 soluble et insoluble (< 0,11 Bq/l), qui reste néanmoins largement inférieur à celui observé sur les eaux des résurgences de la MCO du Tail.

LES EAUX DE LA RIVIERE LA MOINE

Quatre points de prélèvements ont été mis en place pour le suivi de la qualité radiologique et physico-chimique des eaux de la rivière La Moine. Le suivi de ces points est acté par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008.

Le premier point SERP A correspond à la référence « AMONT » du site de l'Ecarpière. Les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques de ces eaux sont les suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

- un pH compris entre 7,2 et 8,1 (moyenne décennale = 7,6) ;
- une concentration en matière en suspension (MES) comprise entre 9 et 22 mg/l (moyenne décennale = 13 mg/l) ;
- une teneur en U_{238} soluble comprise entre < 4 $\mu\text{g/l}$ (moyenne 2006 - 2010) ;
- des teneurs en Ra_{226} soluble et insoluble inférieures à 0,04 Bq/l ;
- une concentration en fer de l'ordre de 0,500 mg/l (mesures effectuées sur les trois dernières années).

Ensuite, trois points de prélèvements sont réalisés en aval du rejet du site de l'Ecarpière :

- GAUD B, correspondant à l'aval immédiat du site,
- FRO B, correspondant à un aval intermédiaire du site, mais en amont de la mine à ciel ouvert en eau du Tail,
- CASS B, correspondant à l'aval du site dans son ensemble.

Le tableau suivant présente les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques des eaux de la Moine mesurées en ces trois points :

		pH	M.E.S. mg/l	U_{238} sol. $\mu\text{g/l}$	Ra_{226} sol. Bq/l	Ra_{226} insol. Bq/l	Fer mg/l
GAUD B	Moyenne annuelle minimum	7,2	9	< 2	< 0,02	< 0,02	0,4
	Moyenne annuelle maximum	8,2	115	< 10	< 0,05	< 0,04	0,7
	Moyenne décennale	7,6	22	< 4	< 0,03	< 0,03	0,6
FRO B	Moyenne annuelle minimum	7,3	9	< 2	0,02	< 0,02	0,4
	Moyenne annuelle maximum	8,1	25	< 10	< 0,04	0,03	0,6
	Moyenne décennale	7,6	14	< 4	< 0,03	< 0,03	0,5
CASS B	Moyenne annuelle minimum	7,3	/	< 5	0,02	0,02	/
	Moyenne annuelle maximum	8,1		< 10	0,04	0,07	
	Moyenne décennale	7,6		< 6	< 0,03	< 0,03	

Ces résultats mettent en évidence que les eaux prélevées en aval du site dans la rivière La Moine, quelque soit le lieu de prélèvement, présentent des caractéristiques physico-chimiques et radiologiques du même ordre de grandeur que celles mesurées dans La Moine en amont du site, au point SERP A.

L'impact du site de l'Ecarpière sur la qualité radiologique des eaux de la rivière La Moine est donc nul.

LES EAUX DES PUIITS FERMIERS

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008, 10 puits fermiers, situés dans l'environnement proche du site de l'Ecarpière, font l'objet d'un contrôle semestriel de la qualité radiologique de leurs eaux (uranium 238 et radium 226 solubles). L'ensemble de ces puits et les moyennes décennales associées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Point de prélèvement	Localisation	pH	U ₂₃₈ sol* µg/l	Ra ₂₂₆ sol. Bq/l
Puits ECA 9	Village de la Charrie	6,8	5,2	< 0,05
Puits ECA 13	Village de la Drouetterie	7	< 1	< 0,05
Puits ECA 25	Village de la Braudière	6,4	< 3	0,07
Puits ECA 35	Village de Haute-Gente	6,1	3	0,26
Puits ECA 43	Village de la Charpraie	5,4	< 1	0,11
Puits ECA 106	Village de la Coussaie	6,9	< 1	< 0,04
Puits ECA 49N	Village de la Garnière	7	< 3	< 0,03
Forage 54 BN	Village de la Verrie	7	< 31	0,05
Fontaine 68 BN **	Village de Fromont	6,9	0,04	0,05
Puits ECA 119 BN	Rue de Bretagne à St-Crespin-sur-Moine	7,4	< 1	< 0,04

* Moyenne 2006 – 2010 (abaissement de la limite de détection)

** La Fontaine 68 N a été remblayée en 2002. Seules les chroniques de mesures de 2000 et 2001 ont été utilisées pour le calcul.

Ces résultats mettent en évidence que **les eaux prélevées dans les puits situés dans l'environnement proche du site de l'Ecarpière ne sont pas impactés par le site**. Toutefois, il est à noter un marquage en radium 226 soluble des eaux :

- du puits ECA 35 (village de Haute-Gente) : bien que localisé en amont hydraulique du site, la proximité de ce puits avec l'emprise des travaux miniers souterrains de l'Ecarpière, pourrait expliquer ce marquage radiologique.
- du puits ECA 43 (village de Charpraie) : ce marquage radiologique ne peut être imputé à la présence du site de l'Ecarpière, du fait même de la localisation en amont hydraulique du puits ECA 43, et de sa situation éloignée par rapport à l'emprise des travaux miniers souterrains.

PRELEVEMENTS DE SEDIMENTS

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008, des prélèvements de sédiments sont effectués dans la rivière La Moine, aux points SERP A (référence « Amont site »), GAUD B (Aval immédiat du rejet), FRO B (Aval intermédiaire) et CASS B (Aval de l'ensemble du site).

Les sédiments prélevés en amont du site de l'Ecarpière présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

SERP A	Ra₂₂₆ total Bq/kg	U₂₃₈ total Bq/kg	Pb₂₁₀ Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	31	33	25
Moyenne annuelle maximum	170	150	210
Moyenne décennale	89	99	116

Les sédiments prélevés en aval du site de l'Ecarpière présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

		Ra₂₂₆ total Bq/kg	U₂₃₈ total Bq/kg	Pb₂₁₀ Bq/kg
GAUD B	Moyenne annuelle minimum	110	69	90
	Moyenne annuelle maximum	696	654	628
	Moyenne décennale	291	249	288
FRO B	Moyenne annuelle minimum	50	49	70
	Moyenne annuelle maximum	180	150	140
	Moyenne décennale	87	92	98
CASS B	Moyenne annuelle minimum	50	60	30
	Moyenne annuelle maximum	210	1500	320
	Moyenne décennale	117	344	116

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la figure 9.

Ces résultats mettent en évidence :

- un marquage en Ra₂₂₆ et Pb₂₁₀ des sédiments de la rivière La Moine en aval immédiat du rejet (point GAUD B : teneurs en radioéléments 2 à 3 fois plus élevées qu'en amont du site) qui s'atténue en aval de l'ensemble du site (point CASS B) ;
- un marquage en U₂₃₈ des sédiments de la rivière La Moine au point GAUD B, qui s'accroît au point CASS B où les teneurs en U₂₃₈ mesurées sont 2 à 10 fois supérieures à celles relevées en amont du rejet de l'Ecarpière ;
- des teneurs en radioéléments des sédiments prélevés au niveau de l'aval intermédiaire du site (point FRO B) du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site de l'Ecarpière.

Cependant, ces niveaux restent dans la fourchette donnée par l'IRSN (cf. paragraphe 8.1.2).

PRELEVEMENTS DE VEGETAUX AQUATIQUES

Dans le cadre de la surveillance prescrite par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008, des prélèvements de végétaux aquatiques (iris ou nénuphar) sont effectués dans la rivière La Moine, aux points SERP A (référence « Amont site »), GAUD B (Aval immédiat du rejet), FRO B (Aval intermédiaire) et CASS B (Aval de l'ensemble du site).

Les végétaux prélevés en amont du site de l'Ecarpière présentent les caractéristiques radiologiques moyennes suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

SERP A	Ra₂₂₆ total Bq/kg de végétal frais	U₂₃₈ total Bq/kg de végétal frais	Pb₂₁₀ Bq/kg de végétal frais
Moyenne décennale	<2,5	<3,4	<5,3

Les végétaux aquatiques prélevés en aval du site de l'Ecarpière présentent les caractéristiques radiologiques moyennes suivantes, pour la période 2000 – 2010 :

Moyenne décennale	Ra₂₂₆ total Bq/kg de végétal frais	U₂₃₈ total Bq/kg de végétal frais	Pb₂₁₀ Bq/kg de végétal frais
GAUD B	<2,6	<3,6	<4,6
FRO B	8,8	<2,8	<4,4
CASS B	<8,4	<2,6	<3,8

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la figure 9.

Ces résultats mettent en évidence que les teneurs en radioéléments contenues dans les végétaux aquatiques prélevés en aval du rejet du site sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site. L'impact radiologique du site de l'Ecarpière sur les végétaux aquatiques (iris et nénuphar) est donc nul.

8.1.4 Bilan sur le milieu aquatique

Le contrôle des eaux réalisé dans le cadre de l'autosurveillance et au cours des visites de terrains de 2011 a porté sur des prélèvements effectués :

- au niveau des rejets identifiés des sites miniers (l'Ecarpière, la Baconnière),
- au niveau des ruisseaux récepteurs du rejet,
- au niveau des ruisseaux (ou plans d'eau) potentiellement impactés en aval hydraulique des sites miniers.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

Sites	Rejet / Résurgence / Surverse		MCO	Plans d'eau en aval des sites	Cours d'eau récepteurs	
					Cours d'eau secondaires	Cours d'eau principaux
L'Ecarpière	Avant traitement		Après traitement	/	/	
	143 1,30	81 1,00	63 0,05	/	/	
	217 0,62			/	/	
		239 0,04	314 <0,06	/	/	< 22 < 0,03
		815 0,22				< 22 < 0,03
		433 0,21	/	/	/	< 24 < 0,03
		< 38 0,05	/	/	/	
		88 < 0,11	/	/	/	
	76 0,05	/	/	/		
	< 36 < 0,09	/	/	/		
La Baconnière	/		/	/	<37 <0,03	
	122 0,13		131 0,13	/	<58 <0,08	<4 <0,03
	/		/	226 <0,05	95 0,05	
L'Anjouerie	/		78 <0,04	/	1,4 0,04	
	/		95 0,05	/	9,9 0,04	/
	/		218 0,46	/	12 <0,02	
La Bonnière	/		<104 0,05	/	1,6 0,03	/
Quatre-Chênes	/		/	/	<1 0,04	/
Le Retail	/		252 0,08	2,5 0,03 1,9 0,08	4,1 0,07	/

En vert : U₂₃₈ soluble en µg/l

En noir : Ra₂₂₆ soluble en Bq/l

En résumé :

➤ Pour le site de l'Ecarpière :

- Nous notons, de 2000 à 2010, une amélioration de la qualité radiologique des eaux du site avant et après traitement ;
- Concernant le rejet après traitement, les limites réglementaires sont respectées. Le traitement choisi par AREVA pour l'insolubilisation du radium dans les eaux est efficace mais a pour conséquence une augmentation des teneurs en radium 226 insoluble, en particulier en période hivernale ;
- Un très léger marquage des sédiments en aval immédiat du site a été constaté ;
- Il est à noter l'absence d'impact du site de l'Ecarpière sur la qualité radiologique :
 - des eaux de la rivière la Moine,
 - des eaux des puits fermiers situés dans l'environnement proche du site,
 - des végétaux aquatiques (iris et nénuphar).

➤ Pour le site de La Baconnière :

- Pour la période 2000 – 2010, les analyses effectuées montrent que les eaux de la fosse et du rejet respectent les conditions fixées par l'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30/11/2006.
- De 2000 à 2006, les teneurs en uranium soluble dans le rejet ont diminué de moitié, puis après 2006, elles se sont stabilisées autour de 120 µg/l ;
- Les eaux de la mare du village de la Basse Boissière présentent un marquage radiologique en uranium 238 soluble.
- Les eaux des ruisseaux de la Baconnière, de la Ploblère et de la Boissière présentent un marquage radiologique en uranium 238. Cependant, l'impact radiologique du ruisseau de la Baconnière, et par extension du rejet du site de la Baconnière sur la rivière La Moine est nul.
- Sur l'ensemble des puits fermiers contrôlés dans le cadre de la surveillance réglementaire, seul les eaux du puits BOISS (village de la Basse Boissière), situé en aval hydraulique du site, présentent un léger marquage en uranium 238 soluble.
- Les sédiments prélevés dans le ruisseau de la Baconnière présentent un marquage radiologique en uranium 238, ainsi que les ruisseaux de la Ploblère et de la Boissière, mais dans une moindre mesure et dans une moindre mesure en radium 226 et en plomb 210.
- présentent également, mais dans une moindre mesure, un marquage radiologique en uranium 238, en radium 226 et en plomb 210.
- L'impact du site sur les sédiments de la rivière La Moine est nul.

➤ Pour le site de l'Anjouerie :

- Les eaux de la fosse « Aujouerie Ouest » présentent un marquage radiologique en radioléléments. Cependant, les teneurs mesurées diminuent régulièrement sur 2000 – 2010.
- Les eaux de la fosse « Couraillère » présentent également, mais dans une moindre mesure, un marquage radiologique en uranium 238. En revanche, la qualité radiologique de ces eaux est relativement stable sur 2000 – 2010.
- L'impact du site sur les trois ruisseaux situés en aval hydraulique du site peut être considéré comme nul (valeurs du même ordre de grandeur en amont et en aval du site).

➤ Pour le site de La Bonnière :

Les eaux de la mine à ciel ouvert présentent un marquage radiologique en uranium 238, dont les teneurs moyennes présentent des variations parfois importantes d'une année à l'autre. Cependant, l'impact du site sur les eaux du ruisseau de la Bégaudière, récepteur du rejet, peut être considéré comme nul (valeurs du même ordre de grandeur en amont et en aval du site).

➤ Pour le site du Retail :

- Les eaux de la mine à ciel ouvert présentent un marquage radiologique en uranium 238, dont la teneur varie peu d'une année à l'autre, sur la période 2000-2010.
- L'impact du site sur les eaux des étangs situés en aval hydraulique du site, peut être considéré comme nul (valeurs du même ordre de grandeur que celles des eaux de surface prélevées en amont du site).
- L'impact du site sur les eaux du ruisseau de la Bégaudière et les étangs situés en aval hydraulique du site, peut être considéré comme très faible.

➤ Pour le site des Quatres-Chênes:

L'impact du site sur les eaux du ruisseau situé en aval hydraulique du site, peut être considéré comme nul (valeurs du même ordre de grandeur en amont et en aval du site).

8.2 IMPACT SUR LE VECTEUR AIR

8.2.1 Voies de contamination de l'air

Les voies d'exposition du vecteur air concernent :

- Le rayonnement gamma (exposition externe) produit par des radioéléments présents naturellement dans le sol ou amplifié du fait de la mise à jour de produits résultant de l'activité minière (stériles, minerais,..) ou industrielle (résidus de traitement).
- L'exposition interne par inhalation du radon 220 et 222, gaz radioactif naturel produit par désintégration du radium 226 (présent naturellement dans le granite et en plus grande quantité dans le minerai ou les résidus de traitement).
- L'exposition interne par inhalation de poussières radioactives en suspension dans l'air.

8.2.2 Surveillance de la qualité radiologique de l'air

La surveillance de la qualité radiologique de l'air fait appel à un ensemble de stations de mesure implantées sur les sites et dans des villages situés dans leur environnement. Elles se composent de trois appareillages :

- Un Dosimètre Thermo-Luminescent (DTL) qui permet de déterminer le débit de dose de rayonnement gamma exprimé en nGy/h. Cet appareillage utilise des matériaux qui ont la propriété, lorsqu'ils sont soumis à un rayonnement ionisant, de piéger les électrons émis suite à l'ionisation. Lorsque l'on chauffe ces éléments irradiés, les électrons sont libérés des pièges et retournent à leur état d'origine. Ce phénomène s'accompagne d'une émission de lumière proportionnelle au nombre d'électrons libérés. Ces grains de lumière sont comptés et, comme il existe une relation simple entre ce nombre et la dose de radioactivité absorbée, les algorithmes du lecteur calculent cette dernière valeur.
- Un dosimètre mesurant les Energies Alpha-Potentielles (EAP) dues aux descendants à vie courte du radon 220 et du radon 222 et exprimées en nJ/m³. Le principe d'un dosimètre est le même que celui de la photographie. Les particules alpha émises par le radon heurtent le film du dosimètre. Un procédé chimique permet de révéler sur ce film les impacts. Un micro-ordinateur associé à un microscope équipé d'une caméra permet de reconnaître et de compter les traces des particules alpha du radon.
- Un dosimètre qui prélève en continu et mesure l'activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières (mesure alpha totale à partir d'un filtre), avec un résultat exprimé en mBq/m³.

Ces appareils sont placés de manière à fournir des résultats représentatifs des niveaux de contamination moyens observés ; ils sont donc positionnés :

- dans la zone d'habitation la plus proche du site (afin de prendre en compte la population la plus exposée),
- à distance des murs pour s'affranchir de leur rayonnement propre,
- de telle sorte que la radiométrie à l'intérieur de la zone d'influence de l'appareil soit représentative de la radiométrie moyenne autour des habitations du groupe de référence (obtenue par plan compteur SPP2),
- à 1,5 m au-dessus du sol (hauteur moyenne de la bouche et du nez d'un individu adulte qui sont les voies d'entrée des substances radioactives dans l'appareil respiratoire) : exigence des normes NF M60-763 et M60-764.

Les mesures d'Energie Alpha-Potentielle du radon 220 et du radon 222 et d'activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières sont effectuées à partir d'analyses mensuelles.

Celles des débits de dose (DD) de rayonnement gamma sont effectuées tous les trimestres (période d'intégration de 3 mois).

En l'absence de point zéro initial avant travaux, un système de mesure de la qualité de l'air pour le milieu naturel a été mis en place.

Dans le cas du site de l'Ecarpière, il compte actuellement quatre stations, implantées dans les villages de La Brise, Bel Air, Boussay Bellevue et Beau Rivage, à une distance du site telle que ces stations ne puissent être influencées. En raison des fortes variabilités naturelles pour le paramètre radon liées à la topographie, leur positionnement a été défini comme suit :

- Position « sommitale » pour les stations de La Brise et Bel Air,
- Position « à mi pente » pour la station de Boussay Bellevue,
- Position « fond de vallée » pour la station de Beau Rivage.

En effet, le radon aura tendance à s'accumuler dans les fonds de vallée et, au contraire, à être rapidement dispersé par le vent en position sommitale. Les comparaisons entre stations doivent donc être considérées à situations topographiques et aérologiques identiques

Les paramètres « débit de dose gamma » et « activité volumique des poussières » ne sont pas influencés par ce positionnement topographique.

La mise en place des dispositifs de contrôle de la qualité de l'air résulte de l'application d'arrêtés préfectoraux après réaménagement des sites. Ces dispositifs de contrôle sont appliqués actuellement dans l'environnement du site de l'Ecarpière (AP du 30 novembre 1995). Ce dispositif a également été appliqué sur le site de La Baconnière de 2001 à 2004.

8.2.3 Résultats de la surveillance de la qualité de l'air

8.2.3.1 Site de l'Ecarpière (figure 15)

REFERENCE MILIEU NATUREL

➤ Débit de dose gamma

Station	Minimum en nGy/h	Maximum en nGy/h	Moyenne en nGy/h
La Brise	78	125	98
Bel Air	73	118	100
Boussay Bellevue	107	120	112
Beau Rivage	93	123	107

Remarque : Boussay Bellevue (période 2008 à 2010)

Le débit de dose gamma est assez constant quelque soit la station référence milieu naturel considérée (période 1997 à 2010) ; Une valeur de l'ordre de 100 nGy/h (0,1 µSv/h) peut donc être retenue comme référence du milieu naturel.

➤ Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci après (chronique 1997 à 2010) :

EAP RADON 222 (CHAINE DE L'URANIUM 238)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Brise (sommatal)	33	52	44
Bel Air (sommatal)	31	53	42
Boussay Bellevue (mi pente)	44	81	68
Beau Rivage (fond de vallée)	61	103	86

Remarque : Boussay Bellevue (période 2008 à 2010)

EAP RADON 220 (CHAINE DU THORIUM 232)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Brise (sommatal)	11	20	16
Bel Air (sommatal)	8	17	13
Boussay Bellevue (mi pente)	9	18	15
Beau Rivage (fond de vallée)	21	29	24

Remarques : 1 : Boussay Bellevue (période 2008 à 2010)

2 : Le radon 220 n'étant pas un descendant de l'uranium 238, il ne constitue pas le meilleur marqueur de l'impact potentiel des sites. Les données d'exposition au radon 220 (issues de la chaîne du thorium 232) sont néanmoins utilisées dans le cadre de l'évaluation de l'impact dosimétrique (cf. chapitre 9.)

L'influence de la position topographique des dosimètres est ainsi clairement mise en évidence par les résultats acquis dans le milieu naturel. Les niveaux d'EAP dus aux descendants à vie courte du radon 222 et radon 220 sont les plus faibles en position sommitale. Une augmentation de l'ordre de 60 % à « mi pente » et 100 % en « fond de vallée » est mesurée.

ACTIVITE VOLUMIQUE DES EMETTEURS ALPHA A VIE LONGUE CONTENUS DANS LES POUSSIERES

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³)

ENVIRONNEMENT PROCHE DU SITE DE L'ECARPIERE

Le dispositif de contrôle de la qualité de l'air couvre la totalité des zones habitées en périphérie immédiate du site (annexe 3.1) :

- A l'Est : Le village de La Charpraie (position sommitale).
- Au Nord Est : Les villages de Gaudu Bas (en fond de vallée), St Crespin Est et Ouest (position sommitale).
- Au Nord : Les villages de Fromont Bas (en fond de vallée), Fromont village (mi pente) et Tail (position sommitale).
- Au Sud : les villages de Haute Gente et Braudière (position sommitale).

➤ Débit de dose gamma

Le débit de dose gamma mesuré dans les villages environnants est présenté dans le tableau suivant (chronique 2000 à 2010) :

Station	Minimum en nGy/h	Maximum en nGy/h	Moyenne en nGy/h
St Crespin Ouest	63	115	86
St Crespin Est	78	143	101
Fromont	75	218	110
Fromont Village Bas	98	158	128
Le Tail Village	130	230	180
Haute Gente Village	80	158	128
Braudière Village	125	175	152
Charpraie Village	163	265	204
Gaudu Village	88	160	133

Les résultats obtenus dans les villages environnants sont, compte tenu de l'incertitude de mesure donnée à ± 30 %, du même ordre de grandeur que les valeurs obtenues dans le milieu naturel. La valeur la plus élevée est enregistrée au village de La Charpraie avec environ 2 fois le bruit de fond naturel retenu de 100 nGy/h.

➤ Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci après (chronique 2000 à 2010) :

EAP RADON 222 (CHAINE DE L'URANIUM 238)

Station en position sommitale	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Braudière Village	31	51	40
Haute Gente Village	32	61	47
Charpraie Village	29	49	39
Le Tail Village	43	64	53
St Crespin Ouest	35	56	48
St Crespin Est	35	55	47

Station en position mi pente	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Fromont village	87	147	116

Station en fond de vallée	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Gaudu Village	102	189	143
Fromont village Bas	101	200	143

EAP RADON 220 (CHAINE DU THORIUM 232)

Station en position sommitale	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Braudière Village	10	16	13
Haute Gente Village	10	36	16
Charpraie Village	11	19	14
Le Tail Village	11	18	15
St Crespin Ouest	10	18	14
St Crespin Est	10	23	15

Station en position mi pente	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Fromont village	13	23	18

Station en fond de vallée	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Gaudu Village	18	26	21
Fromont village Bas	17	23	19

L'influence du positionnement topographique des dosimètres sur les résultats des EAP est à nouveau clairement illustrée par ces résultats.

Les stations en position sommitale enregistrent des EAP de l'ordre de 40 à 50 nJ/m³, soit du même ordre de grandeur que le milieu naturel. Les valeurs à mi pente enregistrent une élévation de l'ordre de 150 % et celles en fond de vallée de 200 %. Cette élévation est plus importante que celle constatée dans le milieu naturel (respectivement de 60 et 100 %) et résulte pour partie au relief très accentué de la vallée de la Moine dans le secteur du site de l'Ecarpière.

ACTIVITE VOLUMIQUE DES EMETTEURS ALPHA A VIE LONGUE CONTENUS DANS LES POUSSIERES

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³)

EMPRISE DU SITE DE L'ECARPIERE

Le dispositif de contrôle de la qualité de l'air sur le site même de l'Ecarpière (annexe 3.1) comprend :

- Trois dosimètres en bordure du stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium (SIE digue Est, SIE digue Sud-Ouest, SIE digue Nord-Ouest), situés en position sommitale,
- Un dosimètre dans l'emprise du carreau minier (Gaudu Site) situé en fond de vallée,
- Un dosimètre dans l'emprise de l'ancien carreau de l'usine (SIE Carreau Usine) en position sommitale,
- Un dosimètre au droit des travaux miniers (Braudière Site) situé en fond de vallée.

➤ Débit de dose gamma

Le débit de dose gamma mesuré sur le site est présenté dans le tableau suivant (chronique 2000 à 2010) :

Station	Minimum en nGy/h	Maximum en nGy/h	Moyenne en nGy/h
Braudière	240	335	280
SIE Digue Est	123	178	150
SIE Digue Nord Ouest	65	128	109
SIE Digue Sud Ouest	73	128	111
SIE Carreau Usine	160	223	189
Gaudu	138	203	176

Les valeurs de débit de dose enregistrées sur le site illustrent la nature des sols en place :

- Matériaux radiologiquement neutres constituant la couverture et la digue de stockage de résidus de traitement : environ 100 à 150 nGy/h sur SIE Digue Est, Nord Ouest et Sud Est,
- Plateformes assainies radiologiquement dans l'emprise du site minier : 180 à 190 nGy/h sur Gaudu et SIE Carreau Usine,
- Stériles miniers : 280 nGy/h sur Braudière.

L'ensemble des valeurs restent inférieures à 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).

➤ Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci-après (chronique 2000 à 2010) :

EAP RADON 222 (CHAINE DE L'URANIUM 238)

Station en position sommitale	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
SIE Digue Est	38	56	48
SIE Digue Nord Ouest	26	39	31
SIE Digue Sud Ouest	22	47	34
SIE Carreau Usine	35	62	44

Station en fond de vallée	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Braudière	147	373	252
Gaudu	115	211	154

EAP RADON 220 (CHAINE DU THORIUM 232)

Station en position sommitale	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
SIE Digue Est	10	20	14
SIE Digue Nord Ouest	7	16	11
SIE Digue Sud Ouest	8	22	13
SIE Carreau Usine	9	20	14

Station en fond de vallée	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Braudière	26	37	32
Gaudu	15	27	21

Les résultats sont conformes à ceux observés dans le milieu naturel ou dans les villages environnants à situation topographique analogue. L'augmentation conjointe des EAP du radon 222 (liée à la chaîne de l'uranium 238) et du radon 220 (liée à la chaîne du thorium 232 et sans lien avec l'activité minière) plaide en faveur de variations naturelles de cette voie d'exposition.

ACTIVITE VOLUMIQUE DES EMETTEURS ALPHA A VIE LONGUE CONTENUS DANS LES POUSSIÈRES

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³).

8.2.3.2 Site de la Baconnière (figure 16)

REFERENCE MILIEU NATUREL

Les stations de référence « Milieu Naturel » pour le site de La Baconnière sont les mêmes que celles du site de l'Ecarpière et les résultats sont présentés dans le paragraphe 8.2.3.1.

ENVIRONNEMENT PROCHE DU SITE DE LA BACONNIERE

De 2000 à 2004, le dispositif de contrôle de la qualité de l'air a concerné, successivement deux villages localisés à l'Est et en périphérie immédiate du site (annexe 3.2) :

- de 2000 à 2002 : Le village de la Bastille (position sommitale)
- de 2003 à 2004 : Le village de la Rabottière (position sommitale)

➤ Débit de dose gamma

Le débit de dose gamma mesuré dans ces villages est présenté dans le tableau suivant (chronique 2000 à 2004) :

Station	Minimum en nGy/h	Maximum en nGy/h	Moyenne en nGy/h
La Bastille	100	140	123
La Rabottière	110	130	120

Les résultats obtenus dans les villages environnants sont, compte tenu de l'incertitude de mesure donnée à $\pm 30\%$, du même ordre de grandeur que les valeurs obtenues dans le milieu naturel.

➤ Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci après :

EAP RADON 222 (CHAINE DE L'URANIUM 238)

Stations	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Bastille	41	45	43
La Rabottière	42	68	55

EAP RADON 220 (CHAINE DU THORIUM 232)

Stations	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Bastille	15	21	18
La Rabottière	12	28	20

Ces deux stations enregistrent des EAP Rn222 de l'ordre de 40 à 55 nJ/m³ et des EAP Rn220 de l'ordre de 20 nJ/m³, soit des valeurs du même ordre de grandeur que le milieu naturel.

ACTIVITE VOLUMIQUE DES EMETTEURS ALPHA A VIE LONGUE CONTENUS DANS LES POUSSIÈRES

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³)

EMPRISE DU SITE DE LA BACONNIERE

Le dispositif de contrôle de la qualité de l'air sur le site comprenait une seule station nommée « Basse Boissière Site » localisée à proximité de la fosse 5-6 (annexe 3.2). Cette station possède des données pour la période 2000 – 2004.

➤ Débit de dose gamma

Le débit de dose gamma mesuré sur le site est en moyenne de 178 nGy/h (minimum 160 nGy/h – maximum 210 nGy/h sur la chronique 2000 à 2004). Ces valeurs illustrent la nature des sols en place, savoir l'ancien carreau minier du site, en bordure de la piste d'accès à la fosse 5-6. Cependant, l'ensemble des valeurs mesurées sur le site restent inférieures à 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).

➤ Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci-après (chronique 2000 à 2004) :

EAP RADON 222 (CHAINE DE L'URANIUM 238)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Basse Boissière	41	61	48

EAP RADON 220 (CHAINE DU THORIUM 232)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Basse Boissière	15	19	17

Les résultats sont conformes à ceux observés dans le milieu naturel ou dans les villages environnants. L'augmentation conjointe des EAP du radon 222 (liée à la chaîne de l'uranium 238) et du radon 220 (liée à la chaîne du thorium 232 et sans lien avec l'activité minière) plaide en faveur de variations naturelles de cette voie d'exposition.

ACTIVITE VOLUMIQUE DES EMETTEURS ALPHA A VIE LONGUE CONTENUS DANS LES POUSSIERES

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³).

8.3 IMPACT SUR LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LES SOLS

8.3.1 Voies de contamination de la chaîne alimentaire

Les radionucléides présents dans les poussières véhiculées par les vents peuvent se déposer sur les sols, l'herbe et les plantes et être ainsi à l'origine d'une contamination de la chaîne alimentaire si ces plantes sont consommées par des animaux ou par l'homme.

S'agissant de l'eau à des fins d'irrigation, la contamination de la chaîne alimentaire est envisageable par dépôt d'une partie des minéraux sur les plantes et entraînement du reste par l'eau de pluie. Une autre fraction de ces minéraux peut être métabolisée par le végétal et provoquer une contamination interne pendant des temps plus ou moins longs (temps d'excrétion du polluant).

Outre ces contaminations par dépôt direct de substances toxiques sur les aliments, une contamination par voie racinaire peut être prise en compte. Cette absorption racinaire dépend de la nature de l'élément métallique, de sa mobilité dans le sol et de la nature de la plante ; le facteur de transfert racinaire est exprimé en kg de sol sec par kg de végétal sec.

8.3.2 Contrôles de la chaîne alimentaire

Sur le département du Maine-et-Loire, deux sites ont fait l'objet d'une surveillance réglementaire de la chaîne alimentaire pour les calculs des doses efficaces moyennes annuelles ingérées en supplément du milieu naturel :

- le site de l'Ecarpière (chronique 2000-2010)
- le site de la Baconnière (chronique 2001-2006).

Les analyses sur la chaîne alimentaire (dont l'eau de consommation) concernent l'U₂₃₈, le Ra₂₂₆, le Pb₂₁₀, le Th₂₃₀ et à partir de 2007, le Po₂₁₀ (supposé préalablement être à l'équilibre avec le Pb₂₁₀). Les analyses sont effectuées par le laboratoire ALGADE.

Les prélèvements sont effectués, dans les jardins des groupes de référence, sur les aliments pour lesquels l'autoconsommation est considérée la plus importante. En général il est procédé à un prélèvement de légume « racine » (pommes de terre), un légume « fruit » (tomate ou (courgette)), un fruit (raisin ou (pêche)), une viande (lapin, poule, (cane)).

Des prélèvements de lait sont effectués dans certains villages producteurs.

Les zones de prélèvement sont présentées dans le tableau suivant (à compter de 2007 des regroupements de prélèvements par zones de villages (dénommées Secteur Gétigné et secteur Saint Crespin sur Moine) ont remplacé des prélèvements faits pour chacun des villages).

Village	Lait	Viande	Légume « fruit »		Légume « racine »		Fruits	
Charpraie	2000 - 2010	2000 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2001 - 2006	2007 - 2010
Hautegente	/		2000 - 2006		2000 - 2006		2002 - 2005	
Tail	/	2000 - 2006	2000 - 2006		2001 - 2006			
Braudière	/	/	2000 - 2006		2001 - 2006			
St Crespin Ouest	/	2000 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2002 - 2006	2007 - 2010
Fromont	/		2000 - 2006		2000 - 2006		2002 - 2006	
Gaudu	/		2000 - 2006		2001 - 2005		2001 - 2006	
La Gagnerie	2000 - 2010	/	/	/	/	/	/	/
La Brosse	2000 - 2010	/	/	/	/	/	/	/
La Verrie	2000 - 2010	/	/	/	-	/	/	/
Bastille*	/	/	2001		2001		2002-2004	
Rabottières*	/	/	2002-2006		2002-2006		2005-2006	

* village de référence du site de la Baconnière – les autres concernent la surveillance de l'Ecarpière

8.3.3 Résultats des contrôles de la chaîne alimentaire

Le détail des résultats est présenté à la figure 17 pour le site de l'Ecarpière et à la figure 18 pour le site de la Baconnière.

SITE DE L'ECARPIERE

Les activités volumiques dans le lait (en Bq/l sur produit frais) et les activités massiques dans la viande ou les végétaux (en Bq/kg sur produits frais) sont pour la plupart des analyses inférieures aux limites de détection (cf. tableau ci-après).

	Pourcentage de résultats de la surveillance de la chaîne alimentaire				
	Lait	Viande	Légume « feuilles »	Légume « racines »	Fruit
Inférieurs à la limite de détection	92%	89%	94%	93%	92%
Supérieurs à la limite de détection	8%	11%	6%	7%	8%

SITE DE LA BACONNIERE

L'ensemble des activités massiques mesurées dans les végétaux (en Bq/kg sur produits frais) sont pour la plupart des analyses inférieures aux limites de détection.

L'ensemble de ces résultats sont intégrés dans le calcul de la dose efficace annuelle ajoutée en supplément du milieu naturel et développé dans le chapitre suivant.

9 EVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE

9.1 PRINCIPES DE L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

L'évaluation de l'impact sanitaire dû à des sites pollués ou à des activités anthropiques fait très souvent appel à la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires, notamment lorsque les connaissances sur les effets de la pollution étudiée sont restreintes ou incomplètes et que la mise en place d'une étude épidémiologique n'est pas envisageable (du fait d'un manque de temps, d'une population exposée trop peu importante...)

Selon le US National Research Council, la démarche d'évaluation des risques se définit comme « *l'utilisation de faits [scientifiques] pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses* ». Dans le cas particulier des activités minières uranifères, elle se conçoit comme un outil d'aide à la décision, par exemple sur les choix de gestion des anciens sites miniers, mais elle constitue également un moyen de vérifier a posteriori que les choix techniques effectués pour cette gestion permettent bien de respecter les exigences réglementaires et de limiter les impacts sanitaires de toute nature autour des anciennes installations d'extraction et des sites de stockage de résidus.

La démarche imposée pour l'évaluation de l'impact radiologique des sites miniers et uranifères consiste à justifier que la dose efficace ajoutée au milieu naturel reçue par les populations, du fait des activités minières, est inférieure à 1 mSv par an. Pour cela, la réglementation (Directive 96/29/EURATOM) propose de travailler avec des groupes de référence, c'est-à-dire les groupes de population pour lesquels l'exposition aux rayonnements ionisants due aux sites (et donc l'impact sanitaire qui en découle) est supposée être maximale, suivant des scénarios d'exposition réalistes. Il serait en effet difficile de caractériser l'exposition de l'ensemble de la population vivant autour des anciennes mines.

La réglementation considère que, si le calcul de la dose efficace ajoutée donne un résultat inférieur à 1 mSv par an pour les groupes de référence, alors l'exposition du reste de la population (par définition moins exposée) est également inférieure à 1 mSv par an.

9.2 RISQUES RADIOLOGIQUES

Les rayonnements ionisants, qu'ils soient de type α , β ou γ , transportent de l'énergie qu'ils cèdent à la matière avec laquelle ils rentrent en interaction. La quantité de rayonnements absorbée (ou dose absorbée) par la matière est alors exprimée en gray noté Gy.

L'énergie ainsi absorbée par un organisme vivant peut provoquer l'ionisation des molécules qui le composent et notamment celle de l'ADN qui est le support du patrimoine génétique d'un individu. L'irradiation peut alors conduire à deux types d'effets cliniques :

- des effets immédiats (ou déterministes) où l'absorption d'une forte dose énergétique due aux rayonnements ionisants peut entraîner des lésions immédiates, ou n'apparaissant que quelques semaines après l'exposition (doses absorbées supérieures à 0,25 Gray (noté Gy) pour une irradiation homogène de l'organisme).
- des effets à long terme (ou stochastiques ou aléatoires) où l'ionisation des molécules des cellules peut entraîner une modification de leur matériel génétique et l'apparition tardive de cancers. La quantification de ce risque est exprimé à partir de la dose efficace qui s'exprime en Sievert (noté Sv).

Seuls les risques stochastiques sont pris en compte s'agissant de l'impact radiologique des anciennes mines d'uranium. En effet, la quantité relativement faible de radioéléments présents dans l'environnement et le confinement des stockages de résidus de traitement limitent l'exposition à des valeurs de dose inférieures au seuil de déclenchement d'effets déterministes.

9.3 LA NOTION DE DOSE EFFICACE

Les rayonnements alpha, qui sont constitués de grosses particules (noyaux d'hélium), ne peuvent pas pénétrer profondément dans les tissus et déposent donc leur énergie très localement. A dose absorbée égale, ils sont donc beaucoup plus perturbateurs que des rayonnements gamma qui, du fait de leur pénétration plus importante, étalent leur dépôt d'énergie.

Pour un tissu donné, l'effet biologique des rayonnements ionisants varie donc en fonction de leur nature. Pour tenir compte de ces variations, un « facteur de qualité » a été défini pour chacun d'eux. Il permet de calculer la dose équivalente HT, exprimée en Sievert, qui mesure l'effet biologique subi par le tissu T étudié.

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot W_R$$

avec H_T = dose équivalente reçue par le tissu T (en Sv)

$D_{T,R}$ = dose absorbée moyenne due au rayonnement R et reçue par le tissu T (en Gy)

W_R = facteur de qualité pour le rayonnement R (en Sv/Gy).

Ainsi, pour les photons X et Γ et les électrons (rayonnements bêta et gamma), le facteur de qualité WR est égal à 1 alors qu'il est égal à 20 pour les particules alpha.

Cependant, le risque biologique n'est pas uniforme pour tout l'organisme. En effet, tous les tissus ne réagissent pas de façon identique pour une même dose équivalente reçue. Pour chacun d'eux, un coefficient de pondération reflétant leur radiosensibilité a donc été défini. Ce facteur permet de calculer la dose efficace (exprimée en Sievert) reçue par chaque tissu.

Pour estimer le risque d'apparition à long terme d'un cancer dans l'organisme entier, on calcule la dose efficace totale E correspondant à la somme des doses efficaces reçues par chaque organe ou tissu T.

$$E = \sum_T H_T \cdot W_T$$

avec E = dose efficace corps entier (en Sv)

H_T = dose équivalente reçue par le tissu T (en Sv)

W_T = coefficient de pondération pour le tissu T (sans unité).

L'article R.1333-8 du Code de la santé publique précise que : « La somme des doses efficaces reçues par toute personne n'appartenant pas aux catégories mentionnées à l'article R.1333-9, du fait des activités nucléaires, ne doit dépasser 1 mSv par an. Sans préjudice de la limite définie des doses efficaces, les limites de dose équivalente admissibles sont fixées, pour le socle cristallin, à 15 mSv par an et, pour la peau, 50 mSv par an en moyenne pour toute surface de 1cm² de peau, quelle que soit la surface exposée. »

Ces limites ont été fixées d'après les recommandations de la publication n°60 de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) parue en 1990.

9.4 METHODE D'EVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE DANS L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES SITES

9.4.1 Voies d'exposition à considérer

Les voies d'atteinte prises en compte sont celles habituellement retenues dans les installations du cycle du combustible :

- l'exposition externe due au rayonnement gamma issu du site et calculée à partir des valeurs des débits de dose mesurés sur les zones de présence des groupes de population considérés.
- l'exposition interne par inhalation des descendants à vie courte du radon 222 et 220, calculée à partir des concentrations volumiques en énergies alpha potentielles (EAP) des descendants à vie courte du radon 222 et 220 mesurées dans l'air respiré par les individus des groupes de population. L'identification de la contribution du site aux énergies mesurées dans l'environnement constitue une des difficultés principales de ce type d'évaluation.
- l'exposition interne par ingestion de produits alimentaires issus de parcelles proches du site et consommés par les personnes des groupes de référence.

Pour l'eau, est prise en compte l'eau consommée, qu'elle soit issue d'un réseau de distribution ou d'un puits.

L'utilisation d'eau en aval d'un site à des fins d'arrosage peut constituer une source de contamination des végétaux.

9.4.2 Détermination des groupes de références

D'une manière générale, le choix des groupes de référence est réalisé en fonction de la proximité des villages par rapport aux sites miniers. Les dispositifs de mesure de qualité de l'air et les prélèvements de chaîne alimentaire sont alors effectués dans chacun des groupes de référence ainsi définis.

La notion de groupe de référence peut également s'appliquer à un groupe réel ou fictif séjournant sur les sites même dans le cadre d'une activité de loisirs, professionnelle ou agricole.

Le calcul de la dose efficace dépend, pour chaque groupe de référence, de leur emploi du temps (temps de présence dans la zone habitée dont temps passé à l'intérieur des habitations), des lieux fréquentés, et des quantités consommées. La Directive européenne 96/29/EURATOM, dispose, dans son Article 45, que les scénarios d'exposition retenus doivent refléter les modes de vie locaux réels.

Exemples de scénarios classiquement utilisés :

- Enfant de 2 à 7 ans résidant sous influence du site (6800 h à l'intérieur des habitations + 860 h à l'extérieur), scolarisé hors influence du site (1100 h).
- Adulte de plus de 60 ans (retraité) résidant sous influence du site (7300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur).
- Adulte de 17 à 60 ans résidant hors influence du site et séjournant en bordure ou sur le site dans le cadre d'une activité agricole (400 h).

Reprenant à titre indicatif les régimes alimentaires présentés en 2003 pour les évaluations de doses autour du site de Jouac¹ (Haute-Vienne), l'IRSN propose sur la base des enquêtes INSEE et des données de la base CIBLEX, le modèle de consommation présenté dans le tableau suivant.

Consommation annuelle (kg)	Scénario 1 : Enfant de 2 à 7 ans	Scénario 2 : Adulte
Légumes feuilles	5	25
Légumes fruits	18	50
Légumes racines	6	12
Pommes de terre	18	20
Fruits	18	50
Volaille	9	17
Produits laitiers ²	265	257
Poisson	7,3	22
Eau de distribution ou de puits (l.an ⁻¹)	365	600

¹ Avis de l'IRSN sur l'évaluation par COGEMA de l'impact radiologique en 2001 du site minier du Bernardan (Jouac – Hte Vienne) – rapport IRSN DPRE/SERGD 03-19.

² La consommation de lait est donnée en litres. La consommation totale de produits laitiers est donnée dans la même unité. Pour ce faire, les quantités de produits laitiers consommées ont été exprimées en équivalent litre de lait à partir des données de fabrication précisées ci-dessous. Pour la transformation en kilogramme, on considère que 1 litre de lait pèse environ 1 kg. Ainsi, un kilogramme de fromage équivaut à 8 litres de lait (sur la base de fabrication du camembert), un yaourt équivaut à 0,125 litre de lait, un kilogramme de beurre équivaut à 20 litres de lait avec récupération de 19 litres de lait écrémé. Sachant qu'il y a 40 g de matières grasses par litre de lait, l'équivalence lait du beurre prise sera égale à 44/25.

9.4.3 Calcul de la dose efficace annuelle ajoutée

La dose efficace ajoutée du fait des anciennes activités minières est calculée à partir des scénarii d'exposition présentés dans le paragraphe ci-dessus.

Pour chaque secteur d'exposition, on estime la part de radioactivité « ajoutée » en calculant la différence entre les niveaux de contamination pour les groupes de référence et ceux pour milieu naturel. Pour cela, deux hypothèses sont adoptées :

- Le rayonnement gamma issu du site ne pénètre pas à l'intérieur des habitations et ne provoque donc pas d'augmentation de l'exposition externe des groupes de référence pendant leur temps de présence à l'intérieur. C'est une hypothèse tout à fait réaliste car elle découle de la capacité des murs à absorber les photons gamma en provenance du site.
- L'Energie Alpha-Potentielle due aux descendants à vie courte du radon apporté par le site est supposée identique que l'on soit à l'intérieur ou l'extérieur des habitations (hypothèse simplificatrice qui s'affranchit des variations du facteur d'équilibre au cours de l'année). Le radon naturel issu du sous-sol ou des murs n'est évidemment pas pris en compte.

PASSAGE A LA DOSE EFFICACE AJOUTEE

Des coefficients de doses présentés permettent de relier les quantités de substances radioactives ou de rayonnements ionisants incorporés aux doses efficaces reçues par l'organisme. Ils sont définis dans la directive 96/29/EURATOM et varient avec l'âge. Ces coefficients sont définis de la manière suivante :

Mode d'exposition	Rayonnement ou Radioéléments	Adulte	Enfant 2-7 ans	
Externe	Gamma	1 mSv/mGy	1 mSv/mGy	
	EAP Rn ₂₂₂ inhalé	1,1 mSv/nJm ⁻³ .h	1,1 mSv/nJm ⁻³ .h	
Inhalation	EAP Rn ₂₂₀ inhalé	0,39 mSv/nJm ⁻³ .h	0,39 mSv/nJm ⁻³ .h	
	Poussières inhalées	sites miniers	1,4.10 ⁻² mSv/Bq	2,9.10 ⁻² mSv/Bq
		sites stockage résidus	1,9.10 ⁻⁴ mSv/Bq	3,8.10 ⁻² mSv/Bq
Ingestion	U ₂₃₈ ingéré*	9,79.10 ⁻⁵ mSv/Bq	1,83.10 ⁻⁴ mSv/Bq	
	Ra ₂₂₆ ingéré	2,8.10 ⁻⁴ mSv/Bq	6,2.10 ⁻⁴ mSv/Bq	
	Pb ₂₁₀ ingéré	6,9.10 ⁻⁴ mSv/Bq	2,2.10 ⁻³ mSv/Bq	
	Po ₂₁₀ ingéré	1,2.10 ⁻³ mSv/Bq	4,4.10 ⁻³ mSv/Bq	
	Th ₂₃₀ ingéré	2,1.10 ⁻⁴ mSv/Bq	3,1.10 ⁻⁴ mSv/Bq	

* Le coefficient de dose par ingestion de l'uranium 238 est la somme des coefficients de dose par ingestion de l'uranium 238, du thorium 234, du proactinium 234 et de l'uranium 234. Ces radioéléments correspondent aux descendants à vie longue de l'U₂₃₈.

Pour l'exposition externe (E₁)

$E_1 = \text{Coefficient de dose (en mSv/mGy)} \times \text{temps de présence (en h)} \times \text{débit de dose ajouté au milieu naturel (en nGy/h)} \times 10^{-6}$

Pour l'inhalation du radon 222 (E_2) et 220 (E_3)

$E_{2(3)}$ = Coefficient de dose (en mSv/nJ.m³.h) × temps de présence (en h) × EAP ajoutée au milieu naturel (en nJ/m³) × 10⁻⁶

Pour l'ingestion de la chaîne alimentaire (E_{ij})

E_{ij} = Coefficient de dose (en mSv/Bq du radionucléide considéré (j)) × quantité d'aliment ou de liquide ingéré (en kg ou l) × activité ajoutée au milieu naturel du radionucléide considéré (en Bq/kg de matière fraîche)

La dose efficace ajoutée totale s'obtient en faisant la somme des doses efficaces obtenues pour chaque secteur d'exposition soit :

$$E_{tot} = E_1 + E_2 + E_3 + \sum E_{ij}$$

9.4.4 Résultats de la dose efficace annuelle ajoutée

Le calcul précédemment décrit est applicable sur les sites disposant d'une chronique de mesures de la qualité de l'air ou de mesures sur la chaîne alimentaire.

Sur le département du Maine-et-Loire, seuls les sites de l'Ecarpière et de la Baconnière possèdent de telles chroniques.

En revanche, dans le cadre des visites d'état des lieux de 2011 effectuées pour les besoins de ce bilan environnemental, les sites de l'Anjouerie, Le Retail, La Bonnière et Quatre-Chênes ont fait l'objet de mesures de débits d'équivalent de dose gamma à l'aide d'un radiamètre.

9.4.4.1 Site de l'Ecarpière

Afin d'établir une chronique homogène, seuls les résultats de 2007 à 2010 seront discutés dans les paragraphes suivants. En effet, les scénarii de calcul ont été modifiés en 2004 et 2007, ne permettant pas la comparaison des résultats sur 10 ans.

Les résultats sont décrits par voie d'exposition dans les paragraphes suivants.

EXPOSITION EXTERNE :

Scénario 1 : Enfant de 2 à 7 ans résidant sous influence du site

6 800 h à l'intérieur des habitations + 860 h à l'extérieur

Groupe de référence	Exposition externe : ENFANT				
	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saint Crespin Est	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01
Fromont Village	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Le Tail Village	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06
Haute-Gente Village	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Braudière Village	0,03	0,02	0,06	0,04	0,04
Charprairie Village	0,06	0,06	0,06	0,11	0,07
Fromont Village bas	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Gaudu Village bas	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01

Scénario 2 : Adulte résidant sous influence du site

7 300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur)

Groupe de référence	Exposition externe : ADULTE				
	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Saint Crespin Est	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02
Fromont Village	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Le Tail Village	0,08	0,07	0,13	0,08	0,09
Haute-Gente Village	0,00	0,02	0,03	0,01	0,02
Braudière Village	0,05	0,03	0,10	0,07	0,06
Charprairie Village	0,10	0,10	0,10	0,18	0,12
Fromont Village bas	0,01	0,03	0,05	0,03	0,03
Gaudu Village bas	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02

EXPOSITION PAR INHALATION :

Scénario 1 : Enfant de 2 à 7 ans résidant sous influence du site

6 800 h à l'intérieur des habitations + 860 h à l'extérieur

Groupe de référence	Situation topographique	Exposition par inhalation : ENFANT				
		2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	Sommitale	0,02	0,11	0,06	0,08	0,07
Saint Crespin Est	Sommitale	0,01	0,10	0,05	0,07	0,06
Fromont Village	Mi-pente	0,89	0,65	0,68	0,48	0,68
Le Tail Village	Sommitale	0,08	0,11	0,15	0,12	0,12
Haute-Gente Village	Sommitale	0,04	0,07	0,03	0,00	0,04
Braudière Village	Sommitale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Charprairie Village	Sommitale	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fromont Village bas	Fond de vallée	0,41	0,52	0,82	0,73	0,62
Gaudu Village bas	Fond de vallée	0,71	0,66	0,72	0,79	0,72

Scénario 2 : Adulte résidant sous influence du site

7 300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur)

Groupe de référence	Situation topographique	Exposition par inhalation : ADULTE				
		2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	Sommitale	0,02	0,13	0,06	0,08	0,07
Saint Crespin Est	Sommitale	0,01	0,11	0,05	0,07	0,06
Fromont Village	Mi-pente	1,00	0,73	0,77	0,55	0,76
Le Tail Village	Sommitale	0,09	0,13	0,16	0,14	0,13
Haute-Gente Village	Sommitale	0,05	0,07	0,04	0,00	0,04
Braudière Village	Sommitale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Charpraie Village	Sommitale	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fromont Village bas	Fond de vallée	0,45	0,58	0,93	0,83	0,70
Gaudu Village bas	Fond de vallée	0,80	0,75	0,82	0,89	0,82

EXPOSITION PAR INGESTION :

Sont considérées l'ingestion via la chaîne alimentaire via les eaux de consommation.

Scénario 1 : Enfant de 2 à 7 ans résidant sous influence du site

Groupe de référence	Exposition par ingestion : ENFANT				
	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	0,05	0,05	0,12	0,007	0,06
Saint Crespin Est	0,05	0,05	0,12	0,007	0,06
Fromont Village	0,05	0,05	0,12	0,007	0,06
Le Tail Village	0,11	0,11	0,006	0,18	0,10
Haute-Gente Village	0,11	0,11	0,006	0,18	0,10
Braudière Village	0,11	0,11	0,006	0,18	0,10
Charpraie Village	0,11	0,11	0,006	0,18	0,10
Fromont Village bas	0,05	0,05	0,12	0,007	0,06
Gaudu Village bas	0,05	0,05	0,12	0,007	0,06

Scénario 2 : Adulte résidant sous influence du site

Groupe de référence	Exposition par ingestion : ADULTE				
	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	0,03	0,03	0,10	0,002	0,04
Saint Crespin Est	0,03	0,03	0,10	0,002	0,04
Fromont Village	0,03	0,03	0,10	0,002	0,04
Le Tail Village	0,06	0,06	0,004	0,05	0,04
Haute-Gente Village	0,06	0,06	0,004	0,05	0,04
Braudière Village	0,06	0,06	0,004	0,05	0,04
Charpraie Village	0,06	0,06	0,004	0,05	0,04
Fromont Village bas	0,03	0,03	0,10	0,002	0,04
Gaudu Village bas	0,03	0,03	0,10	0,002	0,04

EXPOSITION TOTALE

Scénario 1 : Enfant de 2 à 7 ans résidant sous influence du site

6 800 h à l'intérieur des habitations + 860 h à l'extérieur

Groupe de référence	Situation topographique	Exposition totale : ENFANT				
		2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	Sommitale	0,07	0,16	0,17	0,10	0,13
Saint Crespin Est	Sommitale	0,05	0,16	0,16	0,12	0,12
Fromont Village	Mi-pente	0,93	0,70	0,80	0,51	0,74
Le Tail Village	Sommitale	0,25	0,28	0,24	0,36	0,28
Haute-Gente Village	Sommitale	0,16	0,19	0,06	0,19	0,15
Braudière Village	Sommitale	0,15	0,14	0,07	0,22	0,15
Charpraie Village	Sommitale	0,17	0,18	0,08	0,29	0,18
Fromont Village bas	Fond de vallée	0,46	0,58	0,97	0,77	0,70
Gaudu Village bas	Fond de vallée	0,77	0,72	0,86	0,81	0,79

Scénario 2 : Adulte résidant sous influence du site

7 300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur)

Groupe de référence	Situation topographique	Exposition totale : ADULTE				
		2007	2008	2009	2010	Moyenne
Saint Crespin Ouest	Sommitale	0,05	0,17	0,16	0,10	0,12
Saint Crespin Est	Sommitale	0,04	0,16	0,15	0,13	0,12
Fromont Village	Mi-pente	1,03	0,77	0,88	0,57	0,81
Le Tail Village	Sommitale	0,24	0,27	0,30	0,31	0,28
Haute-Gente Village	Sommitale	0,11	0,15	0,07	0,09	0,11
Braudière Village	Sommitale	0,12	0,10	0,11	0,15	0,12
Charpraie Village	Sommitale	0,16	0,17	0,11	0,25	0,17
Fromont Village bas	Fond de vallée	0,50	0,64	1,07	0,86	0,77
Gaudu Village bas	Fond de vallée	0,86	0,79	0,95	0,89	0,87

Les résultats font apparaître pour les groupes de populations vivant dans l'environnement proche des sites, des doses efficaces ajoutées annuelles suivantes :

Scénario	Situation topographique	Dose efficace ajoutée annuelle totale	
		Minimum	Maximum
Enfant	Sommitale	0,05 mSv	0,36 mSv
	Mi-pente / Fond de vallée	0,46 mSv	0,97 mSv
Adulte	Sommitale	0,04 mSv	0,31 mSv
	Mi-pente / Fond de vallée	0,50 mSv	1,07 mSv

L'analyse statistique des résultats montre que :

- De 2007 à 2010, quelle que soit l'année et la tranche d'âge, 67 % des groupes de référence présentent des valeurs inférieures à 0,4 mSv/an et environ 33 % des valeurs supérieures à 0,4 mSv/an. Les groupes de référence Fromont village et Fromont village bas, avec respectivement 1,03 mSv en 2007 et 1,07 mSv/an en 2009, sont supérieurs à la valeur réglementaire de 1 mSv/an ;
- Pour les stations les plus exposées (> 0,5 mSv/an), c'est le facteur « radon » qui est prépondérant (de l'ordre de 92 % de la dose efficace ajoutée annuelle). Ces stations sont situées en fond de vallée, sauf Fromont village situé à mi-pente ;
- Le risque « gamma » est faible et contribue en général à moins de 0,1 mSv/an (excepté pour les villages de Braudière, Charpraie et le Tail ;
- En ce qui concerne l'impact de la chaîne alimentaire, on constate que la dose efficace ajoutée est comprise en moyenne entre 0,002 et 0,10 mSv pour les adultes et entre 0,006 et 0,18 mSv pour les enfants.

Analyses et commentaires du résultat des stations Fromont Village 2007 et Fromont village bas 2009

Le groupe de référence Fromont village, situé à mi-pente, présentait en 2007 une dose efficace ajoutée de 1,03 mSv. De plus, le groupe de référence Fromont village bas, situé quant à lui en fond de vallée, présentait une dose efficace ajoutée en 2009 de 1,07mSv.

Il est à noter que ces valeurs restent du même ordre que la limite réglementaire de 1 mSv.

Une analyse statistique est présentée dans le tableau ci-après.

Groupe de référence		Fromont Village 2007	Fromont Village Bas 2009
Situation topographique		Mi-pente	Fond de vallée
Scénario		Adulte	Adulte
Exposition externe	DEAA mSv	0,01	0,05
	% de la dose totale	1 %	5 %
	Augmentation par rapport à 2008	-	+ 67 %
Exposition par inhalation	DEAA mSv	1,00	0,93
	% de la dose totale	97 %	87 %
	Augmentation par rapport à 2008	+ 37 %	+ 60 %
Exposition par ingestion	DEAA mSv	0,03	0,10
	% de la dose totale	3 %	9 %
	Augmentation par rapport à 2008	-	+ 233 %
Exposition totale mSv	DEAA mSv	1,03	1,07
	Augmentation par rapport à 2008	+ 34 %	+ 67 %

Ces résultats mettent en évidence que les dépassements de la valeur réglementaire de 1 mSv aux points Fromont village et Fromont village bas sont essentiellement dus à une augmentation du vecteur « radon ».

En 2007, au niveau de la station Fromont Village, la DEAA liée au radon est 1,4 fois plus élevée que celle mesurée l'année suivante, en 2008. Elle correspond à 97 % de la DEAA totale.

Cette élévation peut trouver une explication dans les volumes d'air prélevés entre septembre et novembre, qui sont bien inférieurs à ceux des autres stations situées en fond de vallée. Or, l'énergie alpha potentielle des descendants à vie courte des radons 220 et 222 est mesurée par unité de volume. Plus la quantité d'air prélevée est faible, plus les EAP sont élevées.

Cette augmentation est encore accentuée par le fait que le groupe de référence Fromont situé à mi-coteau est considéré comme une station de plateau, son milieu naturel référant (la Brise-Bel Air), présente quant à lui une valeur « risque radon » divisée par deux par rapport au milieu naturel fond de vallée.

Ainsi, depuis 2008, l'ensemble des dosimètres a été remplacé. Par ailleurs, un contrôle bimensuel est réalisé afin de s'assurer du bon fonctionnement de ces dosimètres.

De plus, une station de référence « mi-pente » (Bellevue) a été mise en place afin de prendre en compte la situation topographique de la station Fromont Village.

En 2009, au niveau de la station Fromont Village Bas, la DEAA liée au radon est 1,6 fois plus élevée que celle mesurée l'année précédente, en 2008. Elle correspond à 87 % de la DEAA totale.

Hormis la démolition des anciens bâtiments techniques et administratifs de l'ancienne usine SIMO, il n'y a pas eu de modification importante sur le site de l'Ecarpière. Ces travaux n'ont pas eu d'impact sur les mesures de la station de contrôle SIMO Carreau Usine située sur cette zone. Il faut donc écarter cette hypothèse.

Il faut donc rapprocher l'élévation du taux de radon en fond de vallée au point Fromont village bas de paramètres propres à l'environnement du point de mesure, soit :

- Une année 2009 « sèche » (avec 156 jours de pluie et un cumul annuel de 755 mm pour 181 jours de pluie et 817 mm en 2008),
- Une zone de mesure au recouvrement végétal faible (à comparer au point Gaudu village bas),
- Des travaux de terrassement réalisés en 2008 et 2009 dans le village de Fromont bas.

De plus, la DEAA liée à l'ingestion (chaîne alimentaire) passe de 0,03 mSv en 2008 à 0,10 mSv en 2009. Cette différence n'est pas due à une augmentation mesurée, mais à une différence des limites de détection entre le village et la référence milieu naturel.

CONCLUSION

De 2007 à 2010, quelle que soit l'année et la tranche d'âge, 67 % des groupes de référence présentent des valeurs inférieures à 0,4 mSv/an et environ 33 % des valeurs supérieures à 0,4 mSv/an.

L'impact radiologique des sites sur les personnes du public vivant dans les villages de l'environnement situés en position dite « sommitale » est faible et en dessous de la valeur réglementaire de 1 mSv (maximum = 0,36 mSv au village du Tail).

Par contre pour les stations situées en position « mi-pente » et « fond de vallée », les résultats de l'évaluation de la dose efficace ajoutée sont plus élevés, avec des valeurs comprises entre 0,46 et 1,07 mSv.

Cette différence est liée au phénomène d'accumulation du radon dans les zones les moins exposées aux vents, c'est-à-dire situées en fond de vallée.

Les groupes de référence Fromont village et Fromont village bas, avec respectivement 1,03 mSv en 2007 et 1,07 mSv/an en 2009 pour le scénario adulte, sont supérieurs mais restent du même ordre de grandeur que la valeur réglementaire de 1 mSv/an.

9.4.4.2 Site de la Baconnière

Dans le cas du site de la Baconnière, les scénarii retenus pour le calcul de la dose efficace annuelle ajoutée sont ceux couramment utilisés de 2001 à 2004. Ces scénarii sont présentés dans le tableau suivant :

Scénarios	Intitulés	Années d'utilisation
n°1	Adulte résidant dans un village à proximité du site 800 h extérieur et 6300 h intérieur	2001 à 2002
n°2	Adulte résidant dans un village à proximité du site 1300h extérieur et 5800h intérieur	2001 à 2003
n°3	Adulte résidant dans un village à proximité du site 400h extérieur et 6300h intérieur	2003
n°4	Adulte résidant dans un village à proximité du site 400h extérieur et 6723h intérieur	2004
n°5	Adulte résidant dans un village à proximité du site 800h extérieur et 7250h intérieur	2004
n°6	Adulte travaillant sur le site 400 h extérieur et 0 h intérieur	2001 à 2004

Le tableau suivant présente les résultats de la DEAA (en mSv/an) pour les différents scénarii utilisés sur la période 2001-2004.

		2001	2002	2003	2004
Scénario 1	Village la Bastille	0,12	0,10		
Scénario 2	Village les Rabottières			0,22	
	Village la Bastille	0,11	0,10		
Scénario 3	Village les Rabottières			0,21	
Scénario 4	Village les Rabottières				0,69
Scénario 5	Village les Rabottières				0,38
Scénario 6	Basse Boissière Site	0,03	0,04	0,03	0,03

L'ensemble des résultats sont inférieurs à la limite réglementaire de 1 mSv/an. Ces résultats mettent également en évidence que, pour un même scénario (n°2), la DEAA calculée pour le village de la Rabottière est plus élevée que celle calculée pour le village de la Bastille. Cette différence s'explique par une augmentation du « vecteur radon ».

9.4.4.3 Autres sites

Pour les sites de l'Anjouerie, Le Retail, Le Bonnière et Quatre-Chênes, des débits d'équivalent de dose gamma ont été mesurés à l'aide d'un radiamètre dans le cadre des visites d'état des lieux de 2011. Ces mesures permettent ainsi de donner un ordre de grandeur de la dose efficace annuelle ajoutée en fonction de scénarii réalistes.

Compte tenu de l'utilisation actuelle des sites (pâturages), sauf pour le cas de la MCO « Anjouerie Ouest » qui est actuellement utilisée comme centre de plongée (cf. paragraphe suivant), le scénario retenu est celui d'un agriculteur travaillant en moyenne 7,5 h par semaine sur le site, soit 400 h par an.

Le tableau suivant présente une estimation de la DEAA pour ce scénario et pour chacun des sites :

Sites	Secteurs	Débits d'équivalent de dose gamma (en µSv/h) mesurés sur le terrain		Estimation DEAA * en mSv/an 400 h		
		Min.	Max.	Min.	Max.	
<i>Milieu naturel</i>		0,12	0,13	/	/	
Anjouerie	Anj. Ouest	Autour de la mine à ciel ouvert	0,22	0,30	0,04	0,07
		Ancien carreau de la mine (parking du centre de plongée)	0,30	0,58	0,07	0,18
		Ancien carreau de la mine (à proximité des mobilhomes)	0,35	0,45	0,09	0,13
	Anj. Centre	Emprise de la mine à ciel ouvert	0,13	0,27	0,00	0,06
	Couraillère	Autour de la mine à ciel ouvert	0,24	0,26	0,05	0,05
Le Retail	Aire de stockage du minerai	0,2	0,34	0,03	0,08	
	Verse à stériles	0,28	0,39	0,06	0,10	
	Autour de la mine à ciel ouvert	0,26	0,35	0,06	0,09	
	Valeurs ponctuelles à l'ancienne entrée de la MCO.	0,42	0,45	0,12	0,13	
	Petite carrière exploitée par le propriétaire	0,4		0,11		
La Bonnière	Mesures prises autour de la mine à ciel ouvert	0,2	0,45	0,03	0,13	
	Ancienne aire de stockage du minerai	/	/	/	/	
	Ancienne verse à stériles remodelée	0,2	0,22	0,03	0,04	
Quatre Chênes	Emplacement de l'ancienne tranchée (environ 200 m²)	0,35	0,45	0,09	0,13	
	Chemin d'accès	0,20		0,03		

* DEAA = ((Débits d'équivalent de dose gamma Site]_{Min. ou Max.} - [Débits d'équivalent de dose gamma Milieu naturel]_{Min. ou Max.}) × 0,4

Pour ce scénario, les résultats montrent que :

- quelque soit le site la DEAA est inférieure à la limite réglementaire de 1 mSv/an
- les DEAA maximales reçues par une personne, sont :
 - pour le site de l'Anjouerie : de 0,18 mSv/an au niveau du parking du centre de plongée.
 - pour le site du Retail : de 0,13 mSv/an au niveau de l'entrée de la MCO.
 - pour le site de La Bonnière : de 0,13 mSv/an au niveau du chemin entourant le plan d'eau.
 - pour le site des Quatre-Chênes : de 0,13 mSv/an à l'aplomb de l'ancienne tranchée remblayée.

Scénarii particuliers pour le site de l'Anjouerie Ouest

Le plan d'eau de la fosse « Anjouerie Ouest » est actuellement utilisé par un centre de plongée subaquatique. Les propriétaires ont aménagés une partie du carreau minier en parking avec emplacement de mobilhomes et le pourtour du plan d'eau.

Trois scénarii particuliers ont été envisagés pour une estimation de la DEAA sur le site à partir des mesures effectuées lors de la visite d'état des lieux de 2011 :

Scénarii	Intitulés	Répartition des heures sur le site
n°1	Touriste passant 1 journée sur le site	→ Autour de la mine à ciel ouvert : 7 h
n°2	Touriste passant 1 semaine sur le site	→ Parking du centre de plongée : 1 h
n°3	Employé du centre de plongée travaillant 7 jours sur 7 et 365 jours par an	→ A proximité des mobilhomes : 5 h (1h le matin, 2 h à midi et 3 h le soir)

Remarque : Ces scénarii prennent en compte uniquement des temps de présence sur le site en extérieur. Afin d'affiner le calcul de DEAA, il serait nécessaire d'y ajouter le temps de présence des personnes à l'intérieur des mobilhomes.

Le tableau suivant présente les résultats de l'estimation de la DEAA pour ces scénarii n°1 et 2, à partir des débits d'équivalent de dose gamma maximaux mesurés :

Secteurs	Temps de présence (h)	Débits d'équivalent de dose gamma maximum mesurés (en $\mu\text{Sv/h}$)	DEAA en mSv 1 journée	DEAA en mSv 1 semaine
Milieu naturel		0,13		
Autour de la mine à ciel ouvert	7	0,30	0,001	0,008
Ancien carreau de la mine (parking du centre de plongée)	1	0,58	0,000	0,003
Ancien carreau de la mine (à proximité des mobilhomes)	5	0,45	0,002	0,011
TOTAL SCENARIO			0,003	0,023

Ces résultats mettent en évidence que la DEAA reçue par une personne dans le cas des scénarii n°1 et n°2 peut être considérée comme négligeable, car largement inférieure à la limite réglementaire de 1 mSv/an.

Le tableau suivant présente les résultats de l'estimation de la DEAA pour le scénario n°3, à partir des débits d'équivalent de dose gamma mesurés :

Secteurs	Temps de présence (h)	Débits d'équivalent de dose gamma moyens mesurés (en $\mu\text{Sv/h}$)	DEAA en mSv Toute l'année
Milieu naturel		0,12	
Autour de la mine à ciel ouvert	7	0,22	0,256
Ancien carreau de la mine (parking du centre de plongée)	1	0,30	0,066
Ancien carreau de la mine (à proximité des mobilhomes)	5	0,35	0,420
TOTAL SCENARIO 3			0,741

Dans le cas du scénario n°3, la DEAA reçue par un employé du site serait de 0,74 mSv/an, soit une DEAA inférieure à la limite réglementaire de 1 mSv/an.

Remarque : Les débits maximums d'équivalent de dose gamma mesurés sur les différents secteurs correspondent à des zones d'environ 1 à 3 m². La présence d'un employé sur ces zones pendant un laps de temps significatif est peu probable. Ces mesures ont donc été écartées afin d'avoir un scénario réaliste pour le calcul de la DEAA.

10 MESURES PRISES POUR REDUIRE LES IMPACTS

10.1 REDUCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR EAU

Le premier objectif du réaménagement d'un site, concernant le vecteur eau, consiste à identifier les exutoires d'eau issue des travaux miniers ou les points d'émergence d'eau ayant percolé au travers de remblais miniers. La résurgence de ces eaux constitue donc potentiellement une source de contamination pour l'environnement. En application de la réglementation, les exploitants ont donc aménagé des exutoires afin d'y exercer une surveillance et si nécessaire des traitements (dans des stations aménagées à cet effet) visant à restituer à l'environnement une eau dont les caractéristiques sont conformes aux exigences réglementaires.

Le traitement des eaux par les exploitants miniers uranifères a été initié en 1977 avec une généralisation d'un procédé physico-chimique avec :

- élimination du radium 226 par précipitation d'un sel double de sulfate de baryum et radium, après ajout de chlorure de baryum en présence d'ions sulfates ;
- ajustement du pH à l'aide de soude ou au lait de chaux ;
- élimination de l'uranium 238 par précipité d'oxydes de fer (ou d'aluminium), après ajout éventuel de chloro-sulfate complexe de fer (ou de sulfates d'alumine) ;
- utilisation éventuelle de flocculants pour faciliter la décantation dans un ou plusieurs bassins.

Avant 1977, le traitement appliqué était limité à une simple décantation des eaux d'exhaure dans un ou plusieurs bassins. L'absence d'information sur les sites exploités avant 1970 ne permettent pas d'affirmer la généralisation de cette pratique.

Après réaménagement, la qualité des eaux avec des valeurs de rejets inférieures aux exigences réglementaires, a permis de s'affranchir de tout traitement physico-chimique sur l'ensemble des sites miniers uranifères du Maine-et-Loire à l'exception des sites de l'Ecarpière et de la Baconnière.

10.1.1 Le site de l'Ecarpière

CADRE REGLEMENTAIRE

➤ *Cadre réglementaire lié au stockage ICPE*

L'arrêté préfectoral N° 63 ENV 95 du 30/11/95 relatif au projet de réaménagement du site, qui fixe les prescriptions les rejets, a été complété par l'arrêté préfectoral complémentaire n°2008/ICPE/253 du 21 novembre 2008.

Sont concernées :

- Les eaux d'essorage,
- Les eaux de ruissellement,
- Les eaux de la station de traitement.

Les valeurs de rejet sont précisées dans le tableau suivant :

Paramètres	Limite de teneur	Type d'eau concerné	Fréquence de prélèvement	
			Hebdomadaire	Mensuel
Débit	/	1 + 3	3	1
pH	5,5 à 8,5 *	1 + 2 + 3	3	1 + 2
MES	30 mg/l *	3	3	
DCO	80 mg/l	3	Non précisé	
Fer	5 mg/l *	3	Non précisé	
²³⁸ U soluble	1,8 mg/l *	1 + 2 + 3	3	1 + 2
²²⁶ Ra soluble	0,37 Bq/l *	1 + 2 + 3	3	1 + 2
²²⁶ Ra insoluble	Non précisée	1 + 2 + 3	3	1 + 2
Baryum	Non précisée	3	Non précisé	

1 : eaux d'essorage 2 : eaux de ruissellement 3 : eaux de la station de traitement * : en moyenne mensuelle

En cas de rejet dans le milieu naturel, la qualité des eaux devra répondre aux critères suivants :

Paramètres	Limite de teneur
pH	5,5 à 8,5 *
MES	30 mg/l *
DCO	80 mg/l
Fer	5 mg/l *

* : en moyenne mensuelle

Il est à noter que la couverture du site de stockage a également été mise en place afin de réduire les infiltrations. La description de la méthodologie appliquée pour déterminer la couverture à mettre en place figure au paragraphe 10.2.1.

➤ **Cadre réglementaire lié aux anciennes mines**

L'arrêté inter-préfectoral du 14 octobre 2009 portant l'arrêt définitif des travaux miniers du site de l'Ecarpière relevant de la concession de Clisson, dit arrêté de second donné acte fixe les prescriptions appliquées pour les eaux du site.

Sont concernées :

- Les eaux d'exhaure,
- Les eaux ruissellement,
- Les eaux de la station de traitement.

Paramètres	Limite de teneur	Fréquence des échantillons
pH	5,5 à 8,5 *	Hebdomadaire
MES	30 mg/l *	Hebdomadaire
Fer	5 mg/l *	Hebdomadaire
²³⁸ U soluble	1,8 mg/l *	Hebdomadaire
²²⁶ Ra soluble	0,37 Bq/l *	Hebdomadaire

* : en moyenne mensuelle

CIRCUIT DES EAUX DU SITE

Le circuit des eaux du site de l'Ecarpière a fait l'objet de modifications successives depuis l'arrêt de l'exploitation des mines et de l'usine de traitement, et ce afin d'améliorer la qualité de rejets des eaux.

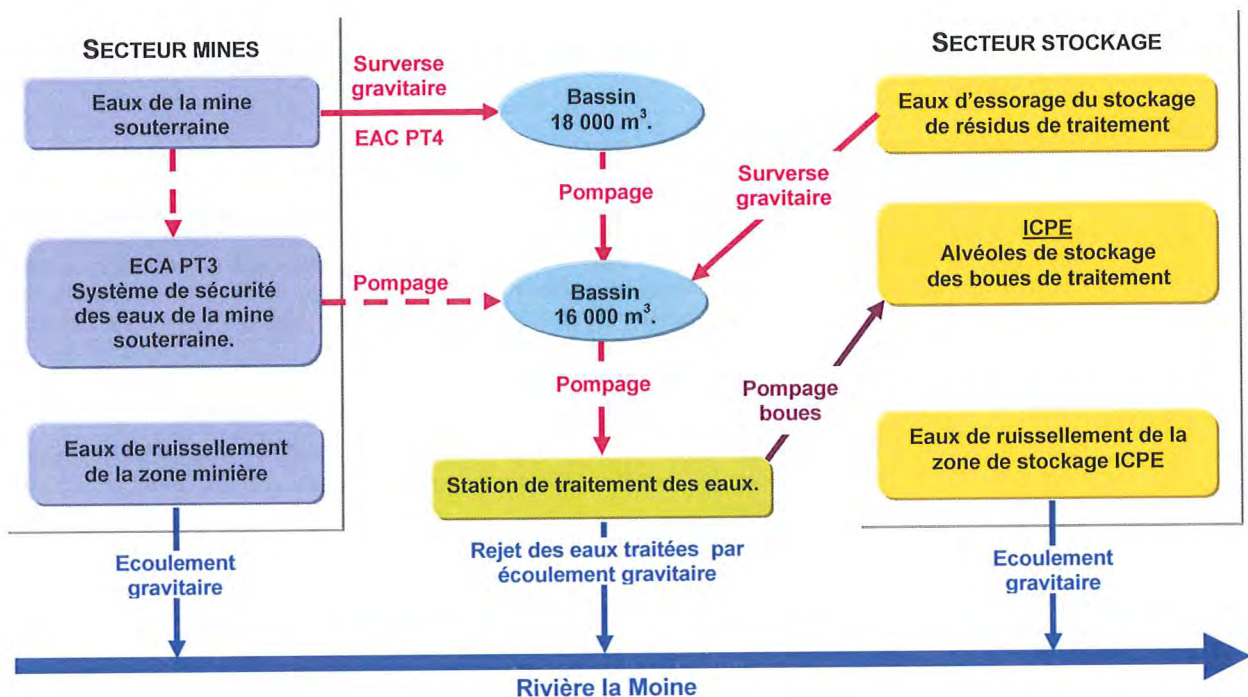
Le tableau suivant décrit succinctement l'évolution de ce circuit des eaux.

Février 1990	L'arrêt de l'exploitation de la mine souterraine s'accompagne d'un arrêt de l'exhaure et provoque le début du noyage des travaux miniers souterrains. Le niveau de la remontée des eaux est contrôlé.
Mars 1991	L'usine de traitement des minerais est arrêtée ainsi que les dépôts de résidus dans le bassin de stockage. Les eaux de percolation sont récupérées dans le bassin inférieur (bassin 16 000 m ³) et remontées dans le bassin sud du stockage. La station de traitement des eaux de l'ancienne usine SIMO est conservée.
Novembre 1991	Une émergence apparaît dans la partie Ouest de la mine à ciel ouvert remblayée de la Braudière à la cote 59,19. Les eaux sont canalisées puis recueillies dans un bras mort de l'ancien lit de la Moine (suite à la déviation du cours d'eau pour l'exploitation des mines à ciel ouvert) avant d'être acheminées vers la station de traitement.
Janvier 1992	Les travaux de réaménagement du bassin de stockage débutent.
Juin 1992	Afin de contrôler l'émergence de Braudière, un pompage en continu et à débit quasi constant de 50 m ³ /h est mis en place au travers d'un forage de 80 m de profondeur jusqu'au niveau 115 des travaux souterrains (sondage ECA PT3 foré en avril 1992 et situé en aval du bassin de stockage des résidus de traitement). L'intérêt du niveau 115 est qu'il dessert l'ensemble de la mine jusqu'à la zone de Braudière. Les eaux pompées au niveau 115 sont acheminées dans le bassin « bras mort Moine » puis un ancien bassin au niveau de l'ancienne installation de lixiviation statique avant traitement. Il est toutefois apparu qu'après de fortes précipitations, ce pompage n'était pas toujours suffisant pour maintenir en permanence le niveau d'eau à une cote inférieure à celle de l'émergence.
Été 1993	Afin d'assécher le bassin de stockage Sud, les eaux d'essorage sont traitées après avoir transité par le bassin 20 000 m ³ (ancien bassin de lixiviation statique), les eaux du bassin sud sont évaporées ou pompées et traitées à la station de traitement. Le réaménagement du site de stockage constitue un réseau de collecte des eaux de qualité différentes par des ouvrages indépendants et pérennes : <ul style="list-style-type: none"> • Les eaux d'essorage du stockage de résidus par les fossés de ceinture et les drains sont collectées dans le bassin 16 000m³. • Les eaux de ruissellement sur le site de stockage avec les pistes drainantes, les collecteurs Est, Ouest et un bassin de rétention coté Est. • Les eaux de ruissellement extérieures qui traversent le site dans des fossés créés sur le terrain naturel. • Les eaux de ruissellement de la partie carreau usine et mine sont collectées dans un bassin dit du « bras mort de la MOINE », elles transitent par des anciens bassins de l'installation de lixiviation statique avant d'être acheminées vers la station de traitement.
Avril 1995	Le bassin dit du « bras mort de la MOINE » est agrandi en 1995 pour atteindre un volume utile de 18 000 m ³ . Un nouveau sondage est foré jusqu'au niveau -70 à proximité immédiate de ce bassin (ECA PT4 - profondeur 20 m). Il permet l'exutoire par gravité des eaux de la mine en un point unique, à une cote topographique la plus basse et parfaitement identifié (la tête du sondage est située à une cote inférieure à celle de l'émergence mise en évidence en novembre 1991).

Le circuit des eaux actuel est en place depuis septembre 1995. Il permet :

- Le recueil des eaux de la mine par gravité dans un bassin de collecte B 18000 (dit bassin 18 000 m³).
- Le transfert des eaux dans un second bassin B16000 (dit bassin 16 000 m³) situé en pied de digue du site de stockage des résidus de traitement (collecte commune des eaux d'essorage des résidus et des eaux des travaux souterrains) point SIMO BI.
- Le traitement des eaux à la station, située à proximité de l'ancienne usine de traitement des minerais. La capacité de rétention des bassins de collecte des eaux (18 000 m³ + 16 000 m³) permet un traitement discontinu par campagnes contrôlées.
- Le rejet des eaux traitées (point SIMO 3) dans la Moine au niveau du lieu dit Gaudu en face du village de St Crespin sur Moine.
- L'installation de pompage dans le forage ECA PT3 est opérationnelle, elle est conservée comme système de sécurité en cas de désordre souterrain empêchant la surverse gravitaire des eaux de la mine.

Ce circuit des eaux est schématisé dans la figure ci-après.



STATION DE TRAITEMENT DES EAUX

➤ Informations techniques détaillées

Depuis l'arrêt des installations, toutes les eaux du site de l'Ecarpière qui ne pouvaient être rejetées directement dans le milieu naturel ont subi un traitement physico-chimique à la station de traitement afin de respecter les normes qualitatives de rejet définies dans les arrêtés préfectoraux.

Depuis 1997, date de la fin du réaménagement du site de l'Ecarpière, le circuit des eaux n'a pas été modifié. Il gère les eaux qui nécessitent un traitement, celles-ci sont d'origines, de qualités et de débits différents :

Eau de la mine souterraine (point de contrôle ECA PT4)

Ces eaux dont le débit a varié entre 30 et 70 m³/h sur les 13 dernières années ont un pH compris entre 5,4 et 6,6 présentent des concentrations :

- en radium 226 soluble en légère diminution depuis 1997 de 1,96 Bq/l à 0,95 Bq/l.
- en uranium soluble en légère diminution de 0,400 à 0,080 mg/l.
- en fer qui présente une lente et régulière amélioration peut être constatée de 110 à 70 mg/l.

Eaux d'essorage des résidus de traitement des minerais (points de contrôle SBS 8bis, SBS9 et SBS 10bis).

Citées pour mémoire, car non concernées par les travaux miniers, elles sont collectées au niveau du bassin 16 000 m³, avec les eaux d'exhaure de la mine souterraine. Le débit est de l'ordre de quelques mètres cubes par heure (de 1,5 à 6 m³/h).

Les eaux du bassin 16000 (point de contrôle SIMO BI).

Le mélange des eaux d'essorage des résidus de traitement des minerais avec celles de la mine souterraine présente avant traitement des concentrations en radium 226 soluble de l'ordre de 1 à 1,5 Bq/l, en uranium soluble de 0,030 à 0,200 mg/l et en fer de 30 à 4 mg/l.

➤ **Le procédé de traitement**

Objectif :

Le traitement vise à diminuer les concentrations en radium 226, en fer et à ajuster le pH afin de respecter les prescriptions réglementaires du rejet.

Historique :

En 1992, COGEMA demande au SEPA¹ de définir le principe et le procédé de traitement ainsi que les consommations de réactifs nécessaires au bon traitement des eaux du site de l'Ecarpière.

En 1999 et 2000 des modifications ont été apportées à la configuration technique de la station de traitement des eaux.

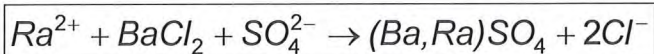
En 2004 un audit technique du traitement des eaux de l'Ecarpière a été réalisé par le SEPA, celui-ci conclut au maintien du procédé et des dosages de réactifs.

En 2009, un second audit technique du traitement des eaux de l'Ecarpière a été réalisé par le SEPA, celui-ci conclut au maintien du procédé avec une diminution du dosage de chlorure de baryum et de floculant pour obtenir un bon traitement du radium soluble.

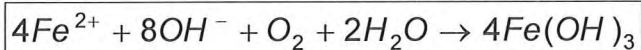
¹ Service d'Etudes, de Procédés et d'Analyses

Principe :

L'élimination du radium 226 est réalisée par précipitation d'un sel double de sulfate de baryum et de radium, par ajout de chlorure de baryum en présence d'ions sulfates (les eaux de l'Ecarpière en contiennent 1 à 2,0g/L) :



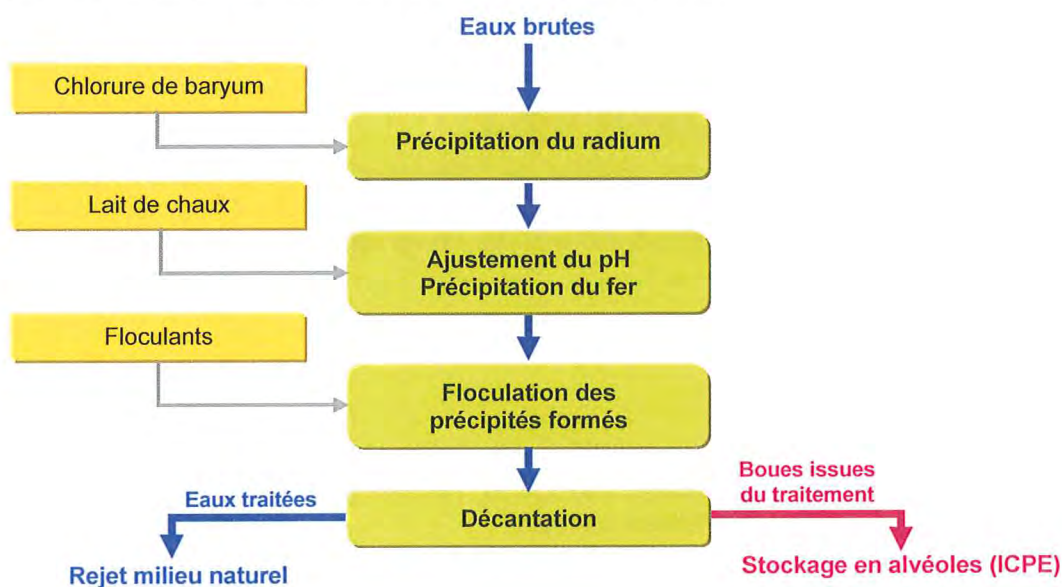
L'élimination du fer se fait par élévation du pH à une valeur supérieure à 8, pour qu'il précipite en hydroxydes ferriques, suite à l'oxydation du fer(II) en fer(III) :



L'augmentation du pH se fait par addition de lait de chaux à 70 g/L.

Les produits précipités sont ensuite floculés afin d'en faciliter la décantation.

Le procédé de traitement est schématisé dans la figure ci-après.



Dosage des réactifs :

Dosage préconisé pour le Chlorure de baryum : 2 grammes par mètre cube d'eau à traiter.

Dosage préconisé pour le Floculant : 0,20 grammes par mètre cube d'eau à traiter.

EFFICACITE DU TRAITEMENT DES EAUX DE L'ECARPIERE

➤ **Rendements de la station de 1997 à 2010 :**

Moyenne 1997/2010	pH	M.E.S. mg/l	U ₂₃₈ soluble µg/l	Ra ₂₂₆ soluble Bq/l	Ra ₂₂₆ insoluble Bq/l	Ra ₂₂₆ total Bq/l	Fer mg/l
Entrée Station	4,4	10	113	1,07	0,04	1,11	12,70
Sortie Station	7,5	15	80	0,05	0,15	0,20	2,23
Rendement	+ 70 %	+ 50 %	- 29 %	- 95 %	+ 275 %	- 82 %	- 82 %

Les résultats moyens de traitement des eaux sur 14 années montrent l'efficacité du traitement pour le pH, l'uranium soluble, le radium 226 soluble et le fer. Le traitement de la station abaisse la concentration en radium 226 total de 82 %. Malgré une augmentation de 275 % du radium insoluble, il est à noter que la teneur en radium total diminue de 82 %. Le taux de matières en suspension s'élève de moitié.

➤ **Rendements de la station de 2005 à 2010 :**

Moyenne 2005/2010	pH	M.E.S. mg/l	U ₂₃₈ soluble µg/l	Ra ₂₂₆ soluble Bq/l	Ra ₂₂₆ insoluble Bq/l	Ra ₂₂₆ total Bq/l	Fer mg/l
Entrée Station	5,3	13	47	0,92	0,04	0,96	6,54
Sortie Station	7,7	10	43	0,04	0,13	0,17	1,19
Rendement	+ 45 %	- 23 %	- 9 %	- 96 %	+ 225 %	- 82 %	- 82 %

Les résultats moyens du traitement des eaux sur les 6 dernières années montrent l'efficacité du traitement pour le pH, l'uranium soluble, le radium 226 soluble, le fer et les matières en suspension. Le traitement de la station abaisse la concentration en radium 226 total de 83 %. Il est à noter une augmentation de 225 % du radium insoluble. Cependant, la teneur en radium total diminue quant à elle de 82 %.

➤ **Conclusion :**

Les deux tableaux ci-dessus montrent l'efficacité du traitement physico-chimique des eaux du site de l'Ecarpière. Le rendement du traitement du radium total est satisfaisant.

ESSAIS DE TRAITEMENT DES EAUX DE L'ECARPIERE

Différents essais ont été réalisés afin de trouver des traitements alternatifs de traitement des eaux. Ces essais sont décrits dans les paragraphes ci-après.

➤ **Essais de traitement « passif » de lagunage aérobie :**

Dans les années 90, COGEMA a fait réaliser une étude sur le traitement des eaux acides par un procédé « passif » afin de pouvoir le substituer au traitement physico chimique de la station existante. Entre 1996 et 1999, le procédé de traitement par lagunage biologique de type aérobie avec une étape de pré neutralisation des eaux par drain calcaire a été testé sur site. Durant les six premiers mois dans un micro-pilote avec un débit de 1 litre par heure puis dans une unité semi industrielle de 10 m³ par heure a été construite et installée.

En parallèle, des essais de déferrisation ont été réalisés sur une lagune.

Différents problèmes rencontrés ont amené COGEMA à arrêter les essais sur site afin de les compléter par des tests en laboratoire pour définir les paramètres permettant d'augmenter l'efficacité du système.

Ces études menées pendant trois ans ont démontré que :

- Le fer peut être éliminé des eaux par l'utilisation du calcaire mais que le système doit être optimisé,
- Le phénomène de sorption du radium sur les hydroxydes de fer ferrique est minime,
- Le système est rendu rigide par un certain nombre de contraintes techniques et physiques.

Dans ces conditions, le traitement du fer et du radium 226 par un tel système n'est pas apparu compétitif par rapport au traitement physico – chimique réalisé sur le site. En 1999, Il a été décidé de mettre ces études en « sommeil » et de procéder à l'amélioration de la configuration de la station.

➤ **Le traitement physico-chimique :**

Les tableaux récapitulatifs des rendements du traitement des eaux de l'Ecarpière montrent que son optimisation passe par une diminution du rejet de radium 226 insoluble dans le milieu naturel.

Des essais réalisés en 2006 sur le site de d'Augères situé dans la Haute Vienne montrent que le taux de matières en suspension dans les eaux traitées peut être diminué par un changement de réactif de floculation et/ou par une augmentation du temps de décantation.

➤ **Les zones humides artificielles (wetlands) :**

Actuellement, dans le cadre du projet d'aménagements visant à améliorer la qualité radiologique des eaux de l'étang de la Crouzille (Haute-Vienne), AREVA a prévu d'utiliser une partie de cette tourbière (environ 2 ha), qui sera noyée dans le cadre des aménagements prévus, comme bassin de traitement passif des eaux du ruisseau des Sagnes, sous influence de l'ancien site minier de Fanay. Au sein de ce même projet, il est également prévu la construction d'un bassin de traitement passif de type wetland pour traiter les eaux de ruissellement de l'ancien site minier d'Henriette. Ce deuxième bassin artificiel, aura une superficie de 300m², et sera composé d'un mélange de tourbe et de gravier fin. Ce projet a fait l'objet d'un dépôt de dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau, en mars 2011, et est actuellement au stade de l'enquête publique.

CONCLUSION

Les études menées par AREVA sur les essais de modifications du traitement des eaux permettent dans un premier temps de privilégier à l'Ecarpière l'amélioration du traitement physico-chimique. La modification de la floculation et/ou du temps de décantation des eaux traitées sur le site de l'Ecarpière devrait permettre de diminuer le rejet de matières en suspension dont le radium insoluble dans le milieu naturel.

Suivant les résultats, le traitement par « zone humide artificielle (wettland)» qui va être réalisé en aval du site d'Henriette en Haute Vienne pourrait être transposé à l'Ecarpière.

10.1.2 Le site de La Baconnière

Le traitement des eaux de la fosse Baconnière-Bastille a été principalement mis en place dès juillet 1995, suite aux constats observés après le noyage des travaux :

- une acidification du pH des eaux d'exhaure, stabilisé autour de 3, et résultant de l'oxydation des sulfures de fer (pyrite) présents dans les remblais de la fosse et favorisant la mise en solution de l'uranium ;
- une augmentation constante de la teneur en uranium soluble (4,5 mg/l dans les eaux de la fosse) ;
- une teneur en radium 226 soluble évoluant selon une tendance inverse à celle de l'uranium.

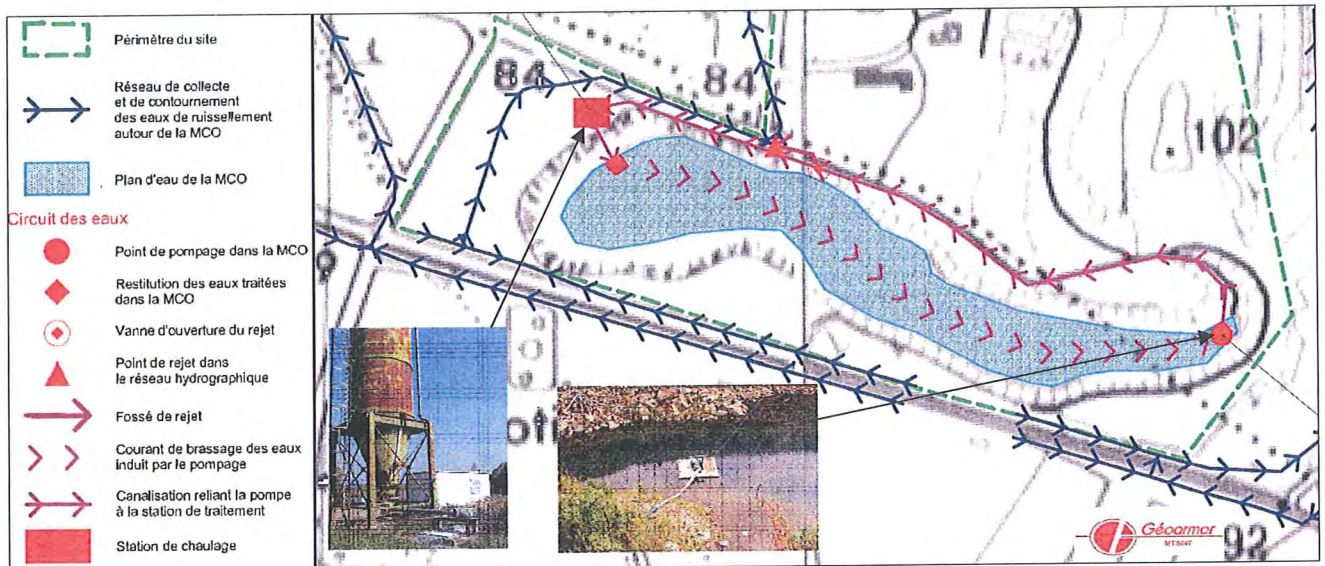
Ainsi, le dossier d'arrêt définitif des travaux miniers du site de la Baconnière (mars 2002) mentionne que le dispositif mis en place, « *conçu dans un premier temps en circuit fermé, consiste en un pompage à l'extrémité est de la mine à ciel ouvert et un rejet après ajout de chaux éteinte (= 600 g/m³) dans la partie ouest. Ce traitement, effectué par campagnes contrôlées s'est traduit par :*

- *une chute spectaculaire de la teneur en uranium 10 mois après le début du traitement pour atteindre actuellement des teneurs en limite de détection (< 0,10 mg.l⁻¹),*
- *une hausse plus irrégulière du pH mais aujourd'hui maintenu dans les limites des normes fixées par l'arrêté préfectoral d'août 1983 pour les eaux de rejet (6,5 à 8,5),*
- *la poursuite de l'amélioration observée sur les concentrations en radium 226 soluble, actuellement stabilisées à environ 0,10 à 0,15 Bq.l⁻¹.*

En raison de ces résultats satisfaisants et conformes aux normes fixées par arrêté préfectoral, et afin d'éviter tout débordement non contrôlé de la mine à ciel ouvert, un pompage du plan d'eau vers le ruisseau de la BACONNIERE a été mis en place en janvier 2000. Le rejet dans le milieu naturel a été limité à 30 m³.h⁻¹.

Le niveau d'eau est à présent maintenu à la côte 79 par pompage contrôlé. »

La carte ci-dessous, extraite du rapport Géoarmor « Etude des incidences liées à la qualité des eaux de l'ancienne mine à ciel ouvert » de Décembre 2009, illustre le circuit des eaux au niveau de la fosse Baconnière-Bastille.

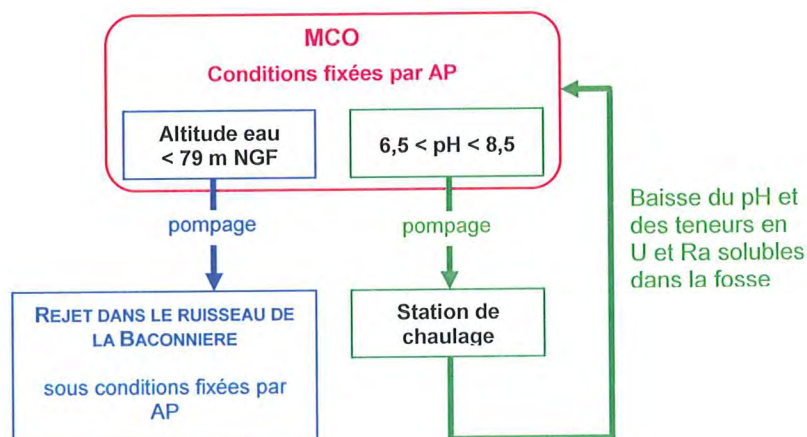


Circuit de gestion des eaux de la fosse Baconnière-Bastille

L'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30 novembre 2006, encadrant la gestion des eaux sur le site de la Baconnière, fixe les dispositions suivantes :

- pour le plan d'eau :
 - le niveau de la fosse le plus élevé ne doit pas dépasser la cote 79 m ;
 - le pH de l'eau de la fosse restera compris entre 6,5 et 8,5.
- pour la qualité des eaux du rejet :
 - MES : 30 mg/l
 - pH : compris entre 6,5 et 8,5
 - uranium soluble : 1,8 mg/l
 - radium soluble : 0,37 Bq/l
 - fer : 15 mg/l

Le schéma suivant résume le principe de gestion et de traitement des eaux sur le site en fonction des conditions réglementaires :



Le traitement des eaux de la fosse Baconnière-Bastille, tel que décrit précédemment, a permis une stabilisation du pH des eaux dans la fosse, et des teneurs en radioéléments dans le rejet (U_{238} soluble autour de 120 $\mu\text{g/l}$ et Ra_{226} soluble de l'ordre de 0,13 Bq/l).

Ce traitement a donc permis une amélioration de la qualité radiologique et physico-chimique du rejet comme le montre les résultats figurant au paragraphe 8.1.3.5.

10.2 REDUCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR AIR

Les sources d'impact radiologique du vecteur « Air » des sites miniers sur leur environnement ont été identifiées et décrites dans les chapitres précédents de ce rapport. En résumé, elles ont pour origine :

- les résidus de traitement du minerai,
- les stériles miniers qu'ils soient stockés sur les sites mêmes ou réutilisés dans le domaine public.

Les travaux de réaménagement ont eu pour objectif la sécurité des personnes et de leur environnement, et la limitation de l'impact radiologique à des niveaux aussi faibles que raisonnablement possible par les meilleurs techniques disponibles de l'époque à un coût économiquement acceptable.

10.2.1 Les résidus de traitement

Sur le département du Maine-et-Loire, seul le site de l'Ecarpière est concerné par un stockage de résidus de traitement du minerai, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

Site	Activité totale	Type de résidus de traitement et déchets	Réaménagement
L'Ecarpière	370 TBq	Résidus de traitement dynamique	<u>Couverture :</u> <ul style="list-style-type: none"> • 1 à 8 m de produits de décapage et de résidus de lixiviation statique compactés pour remodeler la surface ; • 30 cm de matériaux compactés provenant d'une carrière de gabbro • 10 cm de terre végétale issue pour la majeure partie du site. Revégétalisation par ensemencement
		Résidus de lixiviation en tas	
		Résidus de lixiviation en tas dans la construction des digues	
		Produits de démantèlement de l'usine	Création de 2 plateformes de 1 ha chacune sur le stockage de résidus. Couverture identique au stockage de résidus
		Boues provenant du traitement des eaux du site	Création de 2 alvéoles à la surface du stockage pour accueillir les boues. Présence de remblais autour des bassins pour le réaménagement des alvéoles après arrêt du traitement.

Les modalités de mise en place de la couverture du stockage ont été déterminées suite à une étude d'efficacité réalisée en 1993 sur des planches d'essais lors du réaménagement.

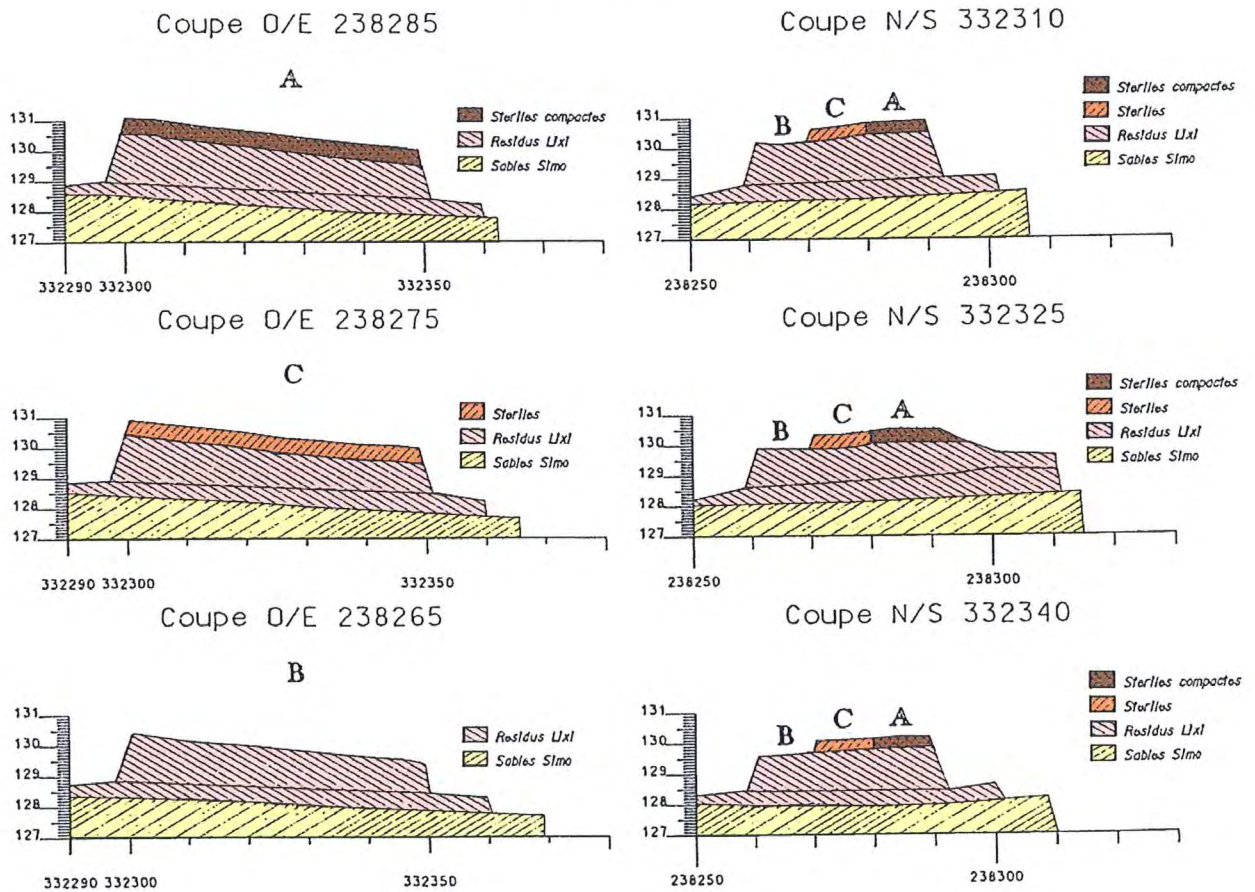
L'objectif de cette étude était de tester l'efficacité du recouvrement au niveau de :

- la diminution de l'impact radiologique sur l'air (rayonnement γ et radon),
- l'imperméabilité du capotage,
- la résistance à l'érosion.

Les trois planches d'essais mises en place sont décrites dans la figure suivante :

PLANCHES ESSAI BASSIN NORD

Fevrier 1993



La solution mise en place est la solution A, comme décrit dans le tableau précédent.

En conclusion, « La réalisation des planches d'essai sur le bassin de stockage des résidus de traitement de l'Ecarpière permet de préciser le projet de réaménagement final :

- Du point de vue radiométrique, avec un capotage par une couche de stérile franc compacté, obtention d'une exposition externe et d'un flux radon inférieurs aux limites réglementaires imposées pour une fréquentation du public. Les premières analyses des eaux de ruissellement montrent une qualité d'eau correcte.
- Du point de vue géomécanique : les études montrent une bonne aptitude des produits de recouvrement à foisonner naturellement lors de leur mise en place et une amélioration par compactage du coefficient de perméabilité (de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-8} m/s).
- Une optimisation de l'épaisseur de stérile nécessaire à l'obtention d'un impact radiométrique correct permet de ramener l'épaisseur de stérile à 0,2 m. une couche supplémentaire de 0,1 m peut être mise en place pour permettre la revégétalisation du site. »

Un dispositif de contrôle de la qualité de l'air a été mis en place sur l'emprise du stockage de résidus de traitement. Il comprend 3 dosimètres en bordure du stockage.

Les valeurs de débit de dose enregistrées sur le stockage illustrent la nature des sols en place, c'est-à-dire les matériaux radiologiquement neutres constituant la couverture et la digue de stockage de résidus de traitement (environ 100 à 150 nGy/h). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rencontrées dans le milieu naturel (100 nGy/h).

Les valeurs des énergies alpha potentielles des descendants à vie courte des radons 220 et 222 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel en situation topographique analogue. L'augmentation conjointe des EAP du radon 222 (liée à la chaîne de l'uranium 238) et du radon 220 (liée à la chaîne du thorium 232) plaide en faveur de variations naturelles de cette voie d'exposition.

De même, les activités volumiques des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³).

Par ailleurs, en 2011, la société ALGADE a réalisé des mesures de flux surfaciques d'exhalation du radon 222 sur le stockage de résidus de l'Ecarpière, afin d'en vérifier l'homogénéité.

Lors de cette campagne de mesures, 68 zones de mesurages de 400 m², implantées tous les 60 m, ont été réalisées.

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des résultats des mesures réalisées :

Flux surfacique d'exhalation du radon 222		Site de l'Ecarpière	Milieu naturel
Flux moyen		$2,85 \cdot 10^{-1}$ Bq/m ² /s	$4,47 \cdot 10^{-2}$ Bq/m ² /s
Flux maximal	Par point	2,80 Bq/m ² /s	$5,36 \cdot 10^{-2}$ Bq/m ² /s
	Par zone	1,13 Bq/m ² /s	
Flux minimal	Par point	$5,11 \cdot 10^{-3}$ Bq/m ² /s	$3,20 \cdot 10^{-2}$ Bq/m ² /s
	Par zone	$3,50 \cdot 10^{-2}$ Bq/m ² /s	

Une cartographie de la répartition par zone des flux surfacique d'exhalation du radon 222 sur le site de l'Ecarpière est présentée en figure 19.

En conclusion, « Les mesures réalisées montrent des niveaux supérieurs au niveau naturel local avec une grande hétérogénéité des valeurs rencontrées selon les conditions météorologiques.

Le niveau moyen mesuré est égal à 0,28 Bq/m²/s, avec environ 50 % des mesures effectuées supérieures à 0,2 Bq/m²/s, valeur qui peut être considérée comme la valeur haute des niveaux naturels rencontrés habituellement dans l'environnement des sites miniers uranifères français. »

Lors de cette même étude, des mesures du débit de photons gamma ont été effectuées avec un scintillomètre portatif de type SPP γ .

Une cartographie des moyennes par zone des débits de photons gamma au moyen est présentée en figure 20.

« Le débit de photons gamma mesuré à chaque point varie en moyenne de 50 à 250 c.s⁻¹, avec certains endroits, notamment à l'Ouest du site, présentant des niveaux de débit de photons gamma pouvant aller jusqu'à 360 c.s⁻¹. A titre indicatif, le débit de photons gamma mesuré au niveau du point extérieur (milieu naturel) est de l'ordre de 110 c.s⁻¹. »

L'ensemble de ces mesures mettent en évidence la réduction de l'impact sur l'air du site de stockage, réduction due à la mise en place de la couverture.

10.2.2 Les stériles miniers

Sur le département du Maine-et-Loire, tous les sites, à l'exception du site des Quatre-Chênes possèdent des verses à stériles (cf. paragraphe 6.1).

SITE DE L'ECARPIERE

Les verses du site de l'Ecarpière ont fait l'objet d'un remodelage et d'un ensemencement.

Dans le cadre de la surveillance de la qualité radiologique de l'Air du site, un dosimètre (Braudière) peut être considéré comme représentatif de l'impact des stériles miniers.

Les valeurs de débit de dose enregistrées sur cette station illustrent la nature des sols en place, c'est-à-dire des stériles miniers (280 nGy/h). Ces valeurs restent inférieures à 3 fois le bruit de fond pris comme référence pour le milieu naturel (100 nGy/h). Elles sont confirmées par les valeurs estimées suite aux visites d'état des lieux de 2011. Ces valeurs estimées sont comprises entre 184 et 668 nGy/h.

Les valeurs des énergies alpha potentielles des descendants à vie courte des radons 220 et 222 mesurées sur la station Braudière sont de 252 nJ/m³ en moyenne entre 2000 et 2010. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel en situation topographique analogue. L'augmentation conjointe des EAP du radon 222 (liée à la chaîne de l'uranium 238) et du radon 220 (liée à la chaîne du thorium 232) plaide en faveur de variations naturelles de cette voie d'exposition.

Par ailleurs, les activités volumiques des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³).

SITE DE LA BACONNIERE

Les stériles miniers du site de la Baconnière (hors cession de stériles dans le domaine public) ont été soit utilisés pour le remblayage des fosses 1, 2 et 3-4, soit laissés en verse comme ceux de la fosse 5-6 (ou fosse Bastille). Lors du réaménagement du site, les verses restantes ont fait l'objet :

- pour les verses des fosses 1 à 4 et les MCO remblayées, d'un remodelage au bulldozer afin d'adoucir les pentes, puis d'un recouvrement de terre végétale, permettant ainsi de réduire la radiométrie au sol des terrains.
- pour la fosse Bastille, d'un remodelage de la zone d'emprunt de matériaux correspondant à la partie a été exploitée par l'entreprise MAUGES TP jusqu'en février 1998 (AP d'autorisation des 10/02/1989 et 24/05/1993),

Le tableau suivant présente une estimation des débits de dose à partir des mesures radiométriques prises lors de la visite d'état des lieux de 2011 :

	Mesures effectuées au SPP γ en 2011	Estimation du débit de dose en (nGy/h)*
Fosse 1	110 - 140	172 - 190
Fosse 2	130 - 150	184 - 196
Fosse 3-4	130 - 180	184 - 213
Verse Bastille	300 - 450	284 - 373

* Cf. Graphique à la figure 6

Ces résultats montrent que la majorité des valeurs sont inférieures ou proches de 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence milieu naturel (100 nGy/h).

SITE DE L'ANJOUGERIE

Les stériles miniers du site de l'Anjougerie (hors cession de stériles dans le domaine public) ont été utilisés majoritairement pour le remblayage intégral de la MCO « Anjougerie Centre » ou partiel de la MCO « Anjougerie Ouest ». Le reste des stériles a été laissé en verse en bordure NW de la fosse « Anjougerie Ouest ». Lors du réaménagement du site, les verses restantes ont fait l'objet :

- pour la MCO remblayée, d'un remodelage selon la topographie environnante et d'un recouvrement de terre végétale, permettant ainsi de réduire la radiométrie au sol des terrains.
- d'un remodelage uniquement pour la fosse Anjougerie Ouest.

Le tableau suivant présente une estimation des débits de dose à partir des mesures radiométriques prises lors de la visite d'état des lieux de 2011 :

	Mesures effectuées au SPP γ en 2011	Estimation du débit de dose en (nGy/h)*
MCO « Anjouerie Centre » remblayée	150 - 200	196 - 225
Verse Anjouerie Ouest	150 - 380	196 - 331
<i>Valeur ponctuelle</i>	860	615

* Cf. Graphique à la figure 6

Ces résultats montrent que la majorité des valeurs sont inférieures ou proches de 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence milieu naturel (100 nGy/h). Seule une petite zone de quelques m² sur la verse de l'Anjouerie Ouest possède un débit de dose de l'ordre de 6 fois le bruit de fond.

SITE DU RETAIL

Lors du réaménagement, la verse du site du Retail a fait l'objet d'un remodelage selon la topographie environnante et d'un recouvrement de terre végétale, permettant ainsi de réduire la radiométrie au sol des terrains.

Le tableau suivant présente une estimation des débits de dose à partir des mesures radiométriques prises lors de la visite d'état des lieux de 2011 :

	Mesures effectuées au SPP γ en 2011	Estimation du débit de dose en (nGy/h)*
Verse à stériles	250 - 660	255 - 497
<i>Moyenne</i>	300	284

* Cf. Graphique à la figure 6

Ces résultats montrent que la majorité des valeurs sont majoritairement 2,5 fois supérieures au bruit de fond pris comme valeur de référence milieu naturel (100 nGy/h), avec quelques zones pouvant atteindre près de 5 fois le bruit de fond.

SITE DE LA BONNIERE

Lors du réaménagement, la verse du site de la Bonnière a fait l'objet d'un remodelage selon la topographie environnante et d'un recouvrement de terre végétale, permettant ainsi de réduire la radiométrie au sol des terrains.

Le tableau suivant présente une estimation des débits de dose à partir des mesures radiométriques prises lors de la visite d'état des lieux de 2011 :

	Mesures effectuées au SPP γ en 2011	Estimation du débit de dose en (nGy/h)*
Verse à stériles	150 - 250	196 - 255

* Cf. Graphique à la figure 6

Ces résultats montrent que la majorité des valeurs sont inférieures à 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence milieu naturel (100 nGy/h).

STERILES MINIERS UTILISES DANS LE DOMAINE PUBLIC

Un relevé des contrôles radiométriques préalable des produits a été réalisé, avant cession dans le domaine public, à partir de 1984.

Les principales caractéristiques sont décrites dans le tableau suivant :

Sites	Radiométrie SPPy (chocs/s)			Estimation du débit de dose (nGy/h)*		
	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
L'Ecarpière	480	591	577	390	456	448
La Baconnière	292	844	407	279	605	347
L'Anjouerie	329	392	366	301	338	323
La Bonnière	467	511	498	383	409	401

* Cf. Graphique à la figure 6

Les valeurs de débit de dose sont comprises entre 279 et 605 nGy/h. Elles sont donc de l'ordre de 2 à 6 fois le bruit de fond pris comme référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).

Le détail des contrôles radiométriques réalisés sur les stériles cédés dans le domaine public est présenté à la figure 7.

11 CONCLUSIONS

11.1 CONCLUSIONS DE L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE ET PROPOSITIONS D' ACTIONS COMPLEMENTAIRES A METTRE EN ŒUVRE

L'analyse environnementale issue de la recherche documentaire, des investigations de terrain et des analyses effectuées dans le compartiment aquatique, a mis en évidence les éléments suivants.

POUR LA SECURITE DU PUBLIC

Les risques liés à la sécurité du public concernent :

- soit les zones situées à l'aplomb des anciens travaux miniers souterrains (site de l'Ecarpière, La Baconnière et Le Retail). Ces zones ont fait l'objet d'une mise en sécurité par la pose de périmètre comme pour les sites de l'Ecarpière ou de la Baconnière.
- soit l'obturation des ouvrages fond-jour, dont les travaux de mise en sécurité ont été réalisés dans les règles de l'art.
- soit les mines à ciel ouvert possédant un risque de chutes lié à des hauteurs de parement importantes : des périmètres de sécurité ou des clôtures ont été mises en place autour des fosses en eau ou au niveau des parements les plus importants (sites de l'Ecarpière, La Baconnière, L'Anjouerie, La Bonnière et Le Retail).
- soit les digues du stockage de résidus de traitement du site de l'Ecarpière, dont la stabilité est jugée comme tout à fait satisfaisante (cf. chapitre 7.5).

⇒ **Aucune action corrective n'est prévue.**

Cependant, la surveillance visuelle des sites et l'entretien des clôtures des périmètres de sécurité doivent être maintenues. Concernant la stabilité de la digue du stockage de l'Ecarpière, la réalisation d'inspections, tous les 5 ans par un expert, sera également maintenue.

POUR LE VECTEUR AIR :

- L'assainissement radiologique des sites réalisé dans le cadre des réaménagements est compatible avec l'usage actuel des sols.
- La couverture mise en place sur le site de stockage de l'Ecarpière est efficace et a permis de réduire significativement l'impact radiologique sur le vecteur Air.
- La cession des stériles réalisée durant l'exploitation des sites du Maine-et-Loire fait l'objet d'une étude décrite au paragraphe 11.2 « Gestion des stériles miniers ».

⇒ **Aucune action corrective n'est prévue à ce jour**, sous réserve d'identification de stériles non compatibles avec l'usage des sols dans le domaine public.

Les seuils d'actions correctives sont en cours de validation par les administrations centrales.

POUR LE MILIEU AQUATIQUE :

- Aucun marquage radiologique significatif n'a été repéré sur les végétaux aquatiques en aval des anciens sites miniers uranifères du département du Maine-et-Loire.
- Sur l'ensemble des cours d'eau situés en aval hydraulique des sites du Maine-et-Loire, seuls les ruisseaux de la Baconnière, de la Boissière et de la Poblère (ruisseaux récepteurs des eaux de ruissellements ayant transitées par les versées à stériles et du rejet du site de la Baconnière), présentent un marquage radiologique.
- Le traitement des eaux du site de l'Ecarpière est adapté et permet de respecter la réglementation. Cependant, des voies alternatives de traitement sont étudiées dans le cadre du Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) ;
- L'ensemble des puits fermiers sous surveillance réglementaire ne présente pas d'impact radiologique lié à la présence des sites miniers uranifères, à l'exception d'un léger marquage en uranium soluble dans les eaux du puits BOISS situé en aval hydraulique du site de la Baconnière.
- Les eaux de l'ancienne fosse du Rétail présente des teneurs en uranium 238 soluble comprises entre 162 et 487 µg/l. Ces teneurs sont élevées au regard de l'usage actuel des eaux, à savoir l'irrigation et l'alimentation en eau du bétail. Ce constat est observable mais dans une moindre mesure pour les eaux de l'ancienne fosse « Couraillère » ($50 < U_{238} < 90 \mu\text{g/l}$).

⇒ **Des restrictions d'usage de ces eaux pourraient être proposées.**

POUR LES PLANS DE SURVEILLANCE :

Site de l'Ecarpière :

La surveillance réalisée sur les sites de l'Ecarpière est adaptée, mais a peu évolué depuis la fin des réaménagements.

⇒ **Un allègement de cette surveillance est souhaité et fera l'objet d'une demande spécifique.**

Cet allègement concernerait en particulier les mesures de la qualité de l'air. En effet, les variations mesurées aujourd'hui sont dues aux variations saisonnières,

La substitution pour partie de l'approche par la mesure par une approche par modélisation pourrait être privilégiée, comme décrit dans le PNGMDR. En effet, « *une fois analysé, l'ensemble des éléments [étudiés] [...] va dans le sens d'une origine naturelle des différentes contributions de la dose* ».

Site de La Baconnière :

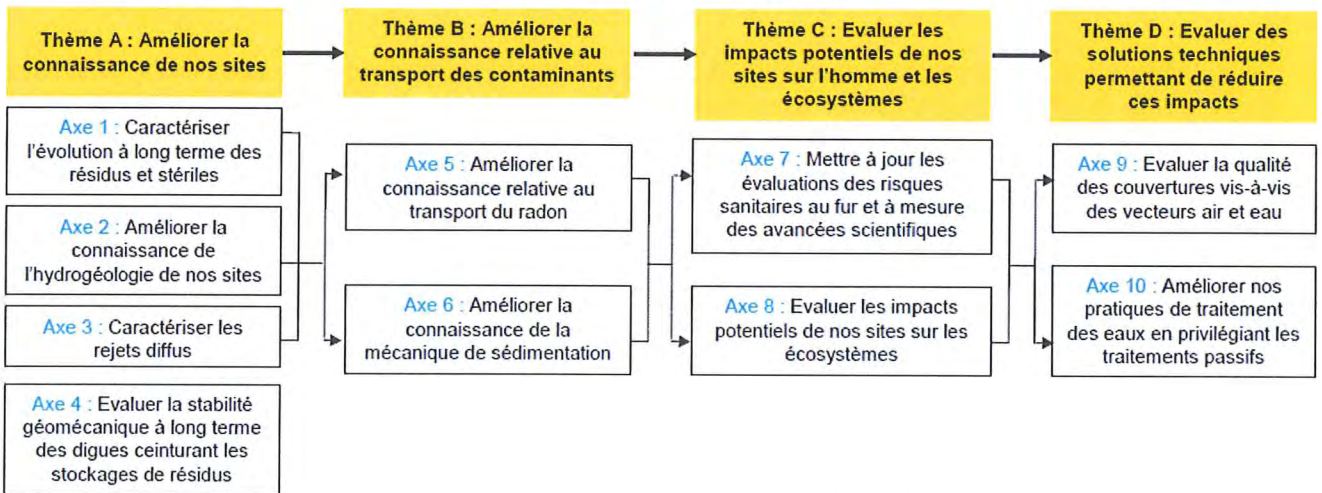
Suite au rapport Géoamor « Etude des incidences liées à la qualité des eaux de l'ancienne mine à ciel ouvert » - Décembre 2009, il apparaît que la majorité des puits fermiers, pour lesquels l'arrêté préfectoral D3-2006 n°702 du 30 novembre 2006 fixe une surveillance réglementaire, sont situés en amont hydraulique du site, donc hors influence minière.

⇒ A ce titre, AREVA demande un allègement de la surveillance des puits fermiers situés autour du site de la Baconnière et propose le suivi radiologique (pH, uranium et radium 226 solubles à fréquence semestrielle) des puits suivants :

- BOISS (village de la Basse Boissière), situé en aval hydraulique du site,
- BCN 54 (village de la Haute Boissière – captage privé pour l'eau potable), situé en latéral hydraulique du site,
- BCN 52 (village de la Malécotière), situé en amont hydraulique du site.

DANS LE CADRE DU PNGMDR :

L'amélioration de la connaissance des sites fait l'objet d'études à l'échelle nationale menées dans le cadre du PNGMDR. Elles sont énoncées dans la figure ci-après.



L'ensemble de ces études sont applicables dans le département du Maine-et-Loire.

11.2 GESTION DES STERILES MINIERES

La circulaire du 22 juillet 2009, cosignée entre l'ASN et le MEEDDM, portant sur la gestion des anciennes mines d'uranium, précise dans l'axe 3 « Gérer les stériles » qu'il est nécessaire de :

- réaliser un recensement des stériles miniers réutilisés dans le domaine public,
- recenser les usages du sol où ces stériles ont été valorisés en dehors du périmètre des anciennes mines d'uranium,
- et enfin, de vérifier la compatibilité des usages à l'aplomb et dans l'environnement immédiat des zones où des stériles ont été réutilisés.

Afin de répondre à cette demande, AREVA a prévu deux grandes phases de reconnaissance :

- PHASE 1 : Survol aérien de reconnaissance sur l'ensemble des communes concernées par les sites miniers uranifères inclus dans les concessions de Clisson et d'Evrunes. La figure 21 présente la zone concernée par ce survol aérien.
- PHASE 2 : Vérification et identification au sol des anomalies relatives repérées par le survol aérien, puis vérification de la compatibilité des usages.

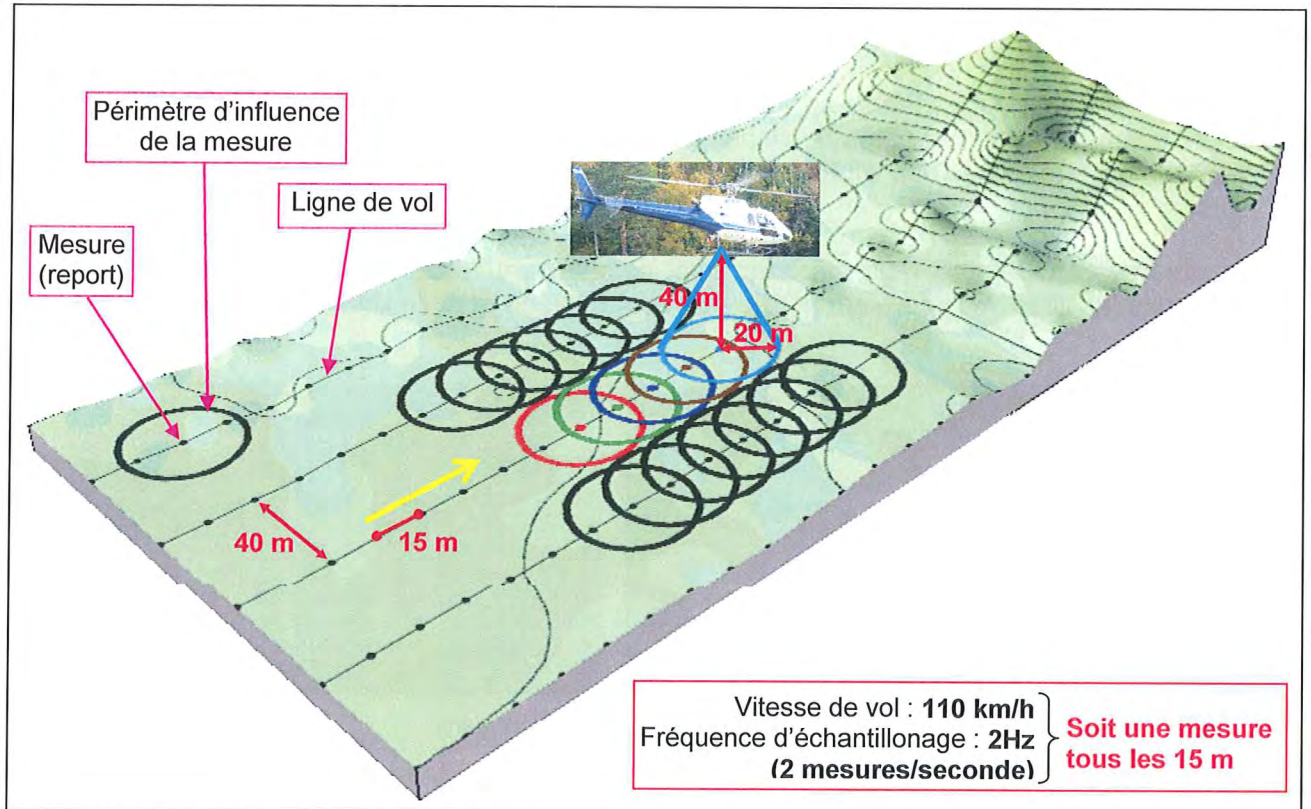
La méthode retenue est la réalisation d'un levé spectrométrique hélicoptéré de très haute résolution.

La spectrométrie gamma est la seule méthode de détection directe d'anomalies radiométriques. Il s'agit d'une méthode classique et systématique en exploration minière pour l'uranium, à l'échelle régionale ou sur cible. Ce dispositif hélicoptéré permet un inventaire systématique et rapide.

Les spécifications retenues ont été adaptées à la problématique des stériles miniers et sont les suivantes :

- Vitesse de l'hélicoptère : 110 km/h,
- Echantillonnage : 2 Hz, soit 15 m entre deux mesures consécutives,
- Volume de cristal (NaI): 41.8 l (deux spectromètres),
- Espacement entre les lignes de vol : 40 m,
- Hauteur de vol : 40 m.

Le schéma suivant reprend ces caractéristiques :



A l'issue de cette campagne aérienne, les cartes suivantes seront élaborées :

- des cartes en couleur ombragée et contour du potassium (%), de l'uranium (ppm), du thorium (ppm), du comptage total (débit de dose en nGy/h) et des radioéléments (ternaire, ratios,...) ;
- une carte du modèle numérique de terrain.

La seconde phase comprend la reconnaissance au sol des anomalies relatives observées sur ces cartes. La reconnaissance au sol peut se faire de manière pédestre ou autoportée en fonction des cas et sera accompagnée d'une vérification de l'origine des matériaux créant ces anomalies.

Enfin, si les matériaux repérés par la reconnaissance au sol s'avèrent être des stériles miniers, il sera réalisé des mesures de débit de dose sur les zones concernées puis une évaluation dosimétrique avec des scénarios génériques.

En cas d'incompatibilité d'usage, la situation sera étudiée au cas par cas en lien avec l'ARS (anciennement DDASS) et l'ASN.

Sur le département du Maine-et-Loire, la phase 1 (reconnaissance par survol hélicoptéré) a été réalisée en septembre 2010. A ce jour, les résultats sont en attente d'interprétation après reconnaissance au sol (phase 2 – date prévisionnelle de rendu : juin 2013).

11.3 INFORMATION DU PUBLIC

La circulaire du 22 juillet 2009, cosignée entre l'ASN et le MEEDDM, portant sur la gestion des anciennes mines d'uranium, précise, dans l'axe 4 « Renforcer l'information et la concertation », qu'un affichage doit être réalisé afin d'informer le public de la présence d'anciennes mines d'uranium.

Les sites ayant fait l'objet d'un affichage sont ceux faisant l'objet d'une surveillance réglementaire, c'est-à-dire les sites de l'Ecarpière (ICPE – travaux miniers) et de la Baconnière (travaux miniers).



Affichage – site de l'Ecarpière



Affichage – site de la Baconnière

Ces panneaux mentionnent entre autres les arrêtés préfectoraux de surveillance, un lien vers le site Internet du Réseau National de Mesures de Radioactivité de l'Environnement où AREVA transmet l'ensemble des mesures réglementaires réalisées sur ces sites.

Références bibliographiques

- [1] G. CHAPOT, R. COUPRIE, J. DUMAS, P. LEBLANC et J-L. KEROUANTON, « L'uranium vendéen » - Cahier du patrimoine n°45.
- [2] BRGM, Notices et cartes géologiques au 1/50000^e : Feuilles de *Clisson* (n°509) et *Cholet* (n°510)
- [3] Site Internet de Loire-Anjou Environnement : <http://www.loire-anjou-environnement.fr/>
- [4] Site Internet de l'INSEE : Statistiques locales (Cartes interactives) : <http://www.statistiques-locales.insee.fr>
- [5] Wikipédia, article sur le climat du Maine-et-Loire : http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_de_Maine-et-Loire
- [6] Hydro banque : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>
- [7] Site Internet de la DDASS & DRASS des Pays de Loire (rubrique Eaux potables en Maine-et-Loire) : <http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr/envir/seep49.html>
- [8] Site Internet du Conseil Général du Maine-et-Loire, rubrique « Environnement et développement durable / L'eau » : Charte départementale de l'eau : <http://www.cg49.fr/le-conseil-general-a-votre-service/environnement-et-developpement-durable/leau/>
- [9] Site Internet du bassin versant de la Sèvre Nantaise : <http://www.sevre-nantaise.com>
- [10] Site internet du MEDTL : Plan National du Gestion des Matières et Déchets Radioactifs : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-national-de-gestion-des.html>
- [11] Site internet de l'IRSN : Programme MIMAUSA : http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/Environnement/surveillance-environnement/sites-miniers-uranium/Pages/4-bdd.aspx
- [12] IRSN, *Expertise globale du bilan décennal environnemental d'AREVA NC, 2ème partie : impact environnemental à l'échelle des bassins versants et évaluation de la surveillance*, Rapport DEI/SARG/2007-042, 2007

Liste des figures, annexes et plans

FIGURES

- Fig. 1 : Relief et paysages du Maine-et-Loire
- Fig. 2 : Sites miniers et bassin versant : La Moine
- Fig. 3 : Site de l'Ecarpière : Emprise du maillage du modèle hydrodynamique réalisé dans le cadre de l'étude hydrogéologique (BRGM – Janvier 1992)
- Fig. 4 : Site de La Baconnière : Localisation des points de mesures de débits sur le réseau hydrographique proche
- Fig. 5 : Département du Maine-et-Loire : Production cumulée Minerais et stériles
- Fig. 6 : Comparaison débit de Photons mesuré au SPP γ et débit de Dose Gamma mesuré avec DTL ou chambre d'ionisation
- Fig. 7 : Inventaire de cession de stériles miniers : sites du Maine-et-Loire
- Fig. 8 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : "Références « Milieu Naturel » et « Amont site »
- Fig. 9 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site de l'Ecarpière
- Fig. 10 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site de la Baconnière
- Fig. 11 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site de l'Anjouerie
- Fig. 12 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site de la Bonnière
- Fig. 13 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site du Retail
- Fig. 14 : Vecteur EAU : Résultats d'analyses : site des Quatre-Chênes
- Fig. 15 : Vecteur AIR : Résultats d'analyses : site de l'Ecarpière
- Fig. 16 : Vecteur AIR : Résultats d'analyses : site de la Baconnière
- Fig. 17 : Vecteur CHAINE ALIMENTAIRE : Résultats d'analyses : site de l'Ecarpière
- Fig. 18 : Vecteur CHAINE ALIMENTAIRE : Résultats d'analyses : site de la Baconnière
- Fig. 19 : Cartographie de la répartition par zone des flux surfaciques d'exhalation de radon 222 sur le site de l'Ecarpière
- Fig. 20 : Moyennes par zone des débits de photons gamma au moyen d'un appareil type SPP γ sur le site de l'Ecarpière
- Fig. 21 : Zone concernée par le survol aérien en Maine-et-Loire

ANNEXES

Annexe 1 : Fiches de sites, fiches de chantiers

Annexe 2 : Planches photographiques

Annexe 3 : Cartes IGN de localisation des sites miniers et des points de prélèvements

Annexe 4 : Situation des sites miniers sur fonds cadastraux

Annexe 5 : Carte géologique départementale, cartes géologiques et structurales

Plan : Situation des sites miniers uranifères exploités en Maine-et-Loire

Glossaire

ACTIVITE

L'activité caractérise l'intensité d'une source radioactive, c'est-à-dire le nombre de désintégration par unité de temps dont elle est le siège. L'activité s'exprime en Becquerels (Bq).

ANDRA (AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS)

Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous tutelle des ministères de l'Ecologie et du Développement Durable, de l'Industrie et de la Recherche. Depuis 1993, l'ANDRA publie un rapport sur l'« Etat de la localisation des déchets radioactifs en France ».

ARENE

Produit de consistance sableuse, issu de l'altération d'une roche cristalline.

ASSAINISSEMENT RADIOLOGIQUE

Pour une installation ou un site nucléaire, ensemble des opérations visant à éliminer ou réduire la radioactivité, notamment par décontamination ou évacuation de matériels, en permettant la récupération contrôlée des substances radioactives.

BASSIN VERSANT

Entité géographique spatiale qui participe à l'alimentation d'un cours d'eau. Le bassin versant est délimité par des lignes de partage des eaux.

BECQUEREL

Unité du système international de mesure de l'activité. Un becquerel est égal à une désintégration par seconde. Des multiples de cette unité sont fréquemment utilisés : le kilo becquerel (1kBq = 1000 Bq), le Méga becquerel (1MBq = 1 million de Bq), le Giga becquerel (1GBq = 1 milliard de Bq) et le Téra bequerel (1TBq = mille milliards de Bq). L'Ancienne unité était le Curie (Ci) qui équivaut à 37 GBq. Le curie correspondait à l'activité d'un gramme de radium 226.

CEA (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE)

Organisme public de recherche, créé en 1945 pour donner à la France la maîtrise de l'atome et de son utilisation dans les domaines de l'énergie, de l'industrie, de la santé et de la défense.

CHAINE RADIOACTIVE (OU DE DESINTEGRATION) D'UN RADIONUCLEIDE

Succession des différents radionucléides fils apparaissant au cours du temps par transformation spontanée, d'un noyau instable au cours du temps. Cette chaîne se termine sur un isotope stable (non radioactif). Pour U238 et U235, les deux chaînes aboutissent à un isotope du plomb, respectivement Pb206 et Pb207. Il existe trois familles radioactives naturelles, avec comme « têtes de chaîne » (premier radionucléide) : l'uranium 238, l'uranium 235 et le thorium 232.

COGEMA (COMPAGNIE GENERALE DES MATIERES NUCLEAIRES)

Groupe industriel du secteur de l'énergie, qui a bénéficié du transfert de l'ensemble des installations qui relevait de l'ancienne Direction des Productions du CEA (décret n°75-1250 du 29 décembre 1975). COGEMA est intégré à AREVA depuis septembre 2001.

CONTAMINATION (RADIOACTIVE)

Présence indésirable, à un niveau significatif, de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque. Pour l'homme, la contamination peut être externe (sur la peau) ou interne (par ingestion ou inhalation).

DEBIT DE DOSE

Quotient de l'accroissement de dose par la durée de l'intervalle de temps durant lequel il se produit. L'unité légale est le Gray par seconde (Gy/s). Comme cette unité est très grande, le débit de dose s'exprime, par exemple, en millième de gray par heure (mGy/h) ou en millionième de gray par heure (μ G/h).

DECHETS

« Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » (Article 541-1 II du Code de l'Environnement).

DECHETS RADIOACTIFS

Substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

DEMANTELEMENT

1. Ensemble des opérations techniques exécutées pour démonter et, éventuellement, mettre au rebut un équipement ou partie d'une installation nucléaire.
2. Dans la réglementation française, phase de la déconstruction d'une installation nucléaire qui comprend toutes les opérations postérieures au décret de mise à l'arrêt définitif.

DESINTEGRATION

Transformation d'un noyau instable en noyau stable ou instable, avec modification du nombre et de la nature des nucléons (protons et neutrons, constitutifs du noyau initial). Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un ou plusieurs rayonnements (alpha, beta, gamma).

DOSIMETRIE

Théorie et application des principes et des techniques de mesures ou d'estimation des doses de rayonnements ionisants reçues ou susceptibles de l'être.

EXHAURE OU SURVERSE

Dans le domaine minier, le terme d'exhaure désigne l'évacuation des eaux d'infiltration dans des ouvrages souterrains. Elle peut s'effectuer par drainage gravitaire ou au moyen d'installations de pompage.

EXUTOIRE

Débouché à l'extérieur d'un milieu assurant l'écoulement d'une substance, en particulier de l'eau.

FONTIS

Affaissement, ou l'effondrement du sol, causé par un éboulement souterrain minier proche de la surface.

IRSN (INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE)

Etablissement public à caractère industriel et commercial créé en février 2002, regroupant les compétences de l'OPRI et de l'IPSN. Placé sous tutelle des ministères de : l'Industrie, la Défense, l'Environnement, la Recherche et la Santé.

LIXIVIATION

Au sens courant, désigne la percolation lente d'un solvant, en général l'eau, au travers d'un matériel, accompagné de la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Le liquide résultant de ces opérations est appelé le lixiviat.

MARQUAGE

Observation des concentrations de substances chimiques ou radiologiques, naturelles ou artificielles, supérieures aux concentrations naturelles habituellement observées dans le milieu naturel concerné sans préjuger de leur origine, ou de leur impact sur la santé et sur l'environnement.

MARQUE (SITE)

Site présentant des traces de radionucléides naturels ou artificiels, détectables sans qu'il y ait nécessairement d'action particulière envisagée.

PERIODE RADIOACTIVE (OU DEMI-VIE)

Durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'atomes d'un nucléide radioactif. La valeur de sa période radioactive est une caractéristique essentielle de chaque nucléide radioactif.

POLLUE (SITE)

Dans le contexte de contamination radioactive, qualifie une zone ou un site contaminé de manière importante par des substances radioactives, naturelles ou artificielles.

PPM

La partie par million (ppm) est utilisée pour quantifier des traces ou des faibles teneurs. Par exemple, la teneur des minerais d'uranium peut s'exprimer en ppm. Cette teneur, exprimée en ppm, est le rapport de la masse de métal recherchée sur la masse de minerai renfermant la matière recherchée. Ce rapport est donc un nombre sans dimension.

RADIOPROTECTION

Ensemble des mesures destinées à réaliser la protection sanitaire de la population et les travailleurs contre les effets des rayonnements ionisants et à assurer le respect des normes de base. Elle comprend aussi la mise en œuvre des moyens nécessaires pour y parvenir.

REMBLAYAGE HYDRAULIQUE / SABLES CYCLONES

Comblement de travaux miniers par la fraction sableuse (granulométrie variant entre 150 et 500 ppm) obtenue par cyclonage des résidus de traitement. Cette fraction sableuse constitue « les sables cyclonés ».

RESIDUS DE TRAITEMENT

Produits résultant de l'extraction de l'uranium à partir des minerais et contenant tous les autres radionucléides de la famille de l'uranium et minéraux d'origine, à l'exception de l'uranium qui a été extrait en plus ou moins grande partie (5 à 40%), ainsi qu'une partie des produits de traitement.

SCENARIO

Ensemble d'hypothèses relatives à des événements ou des comportements permettant de décrire les évolutions possibles d'un système dans le temps et dans l'espace.

STERILES

Produits constitués par les sols et/ou les roches excavées pour accéder aux minéralisations d'intérêt. Ces roches peuvent contenir, ou non, de l'uranium ou du minerai d'uranium en fonction de leur proximité avec le gisement.

STOCKAGE DE DECHETS RADIOACTIFS

Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

Ensemble des mesures réalisées autour de l'installation afin de vérifier le respect des prescriptions réglementaires en matière de rejets et d'évaluer son impact sur l'environnement et les populations.

TENEUR DE COUPURE

La teneur du minerai en uranium dépend essentiellement de données économiques, comme le coût du marché de l'uranium, le coût d'extraction du minerai. Cependant, le souci d'un Etat visant à obtenir de l'uranium de façon indépendante, peut le conduire à exploiter un minerai pauvre en uranium, indépendamment du coût qui en résultera.

URANIUM NATUREL

Uranium dont la composition isotopique est celle de l'uranium tel qu'il se présente à l'état naturel c'est-à-dire sous la forme d'un mélange de trois isotopes dans des proportions massiques bien définies (uranium 238 : 99,28% ; uranium 235 : 0,71% ; uranium 234 : 0,0054%).

Sigles et abréviations

ANDRA	Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs
ARS	Agence Régionale de Santé
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
COGEMA	Compagnie Générale des MATières nucléaires
DAM	Direction de l'Après-Mines
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DEAA	Dose Efficace Ajoutée Annuelle
DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
DTL	Dosimètre Thermo-Luminescent
EAP	Energie Alpha-Potentielle
ENSMP	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement Industriels et des riSques
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IPSN	Institut de Protection et de Sureté Nucléaire
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
MCO	Mine à Ciel Ouvert
MEEDDM	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
OPRI	Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants
RGIE	Règlement Général des Industries Extractives
SCPRI	Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants
SIMO	Société Industrielle des Minerais de l'Ouest
SPP2 et SPPy	Scintillomètre Portatif de Prospection
TB	Travers-banc
TMS	Travaux Miniers Souterrains
TRPC	Travaux de Reconnaissance par Petit Chantier

