



BILAN ENVIRONNEMENTAL

Sites miniers de la Loire-Atlantique

ARFVA

DRES / Direction de l'Après-Mines Etablissement de Bessines



Préambule

Le présent bilan environnemental a été prescrit par l'arrêté préfectoral du 7 juin 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 Mi nistère 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, à l'exception du « Bichet ». Ce dernier, situé en mer, a fait l'objet de sondages de recherches en 1985, et aucuns travaux miniers n'ont été réalisés.

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 de la Loire-Atlantique 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 chaine 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 de Loire-Atlantique, 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02	/02/2012	Page : 3/211
---	----------	--------------



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 7. De plus, un glossaire général et une liste des sigles et abréviations utilisés sont présentés aux pages 196 et 201.

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



Sommaire

	NTATION GENERALE DES ACTIVITES MINIERES ET INDUSTRIELLES DE L. E	
1.1 SI	TUATION GEOGRAPHIQUE	15
1.2 HIS	STORIQUE [1]	16
2 PRESE	NTATION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT DES SITES	17
2.1 CC	NTEXTE GEOLOGIQUE [1]	17
2.1.1	Géologie des terrains uranifères [2]	17
2.1.2	Tectonique [1] et [2]	18
2.1.3	Caractéristiques des minéralisations	18
2.1.4	Fond radiologique régional	20
2.2 EN	VIRONNEMENTS PAYSAGERS ET DEMOGRAPHIQUES	20
2.2.1	Relief et paysage à l'échelle régionale [3]	20
2.2.2	Démographie du département [4]	20
2.3 CC	NTEXTE CLIMATIQUE [5]	21
2.3.1	Pluviométrie	22
2.3.2	Températures	22
2.3.3	Vents	22
2.4 CC	NTEXTE 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 CC	NTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	27
2.5.1	Généralités	27
2.5.2	Site de l'Ecarpière	28
2.5.3	Site du Chardon [11]	34
2.5.4	Site de Pen Ar Ran [12]	41
3 CADRE	REGLEMENTAIRE	47
3.1 RE	GLEMENTATION EN VIGUEUR	47
3.1.1	Polices sectorielles	47
3.1.2	Polices transversales	54
3.1.3	Tableau de synthèse des polices applicables aux sites miniers	56
3.2 PL	AN D'ACTIONS DE L'ETAT	
3.2.1	Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR)	56
3.2.2	MIMAUSA [14]	57
3.2.3	Circulaire du 22 juillet 2009 sur la gestion des anciennes mines d'uranium	58
4 EXPLO	TATION MINIERE ET TRAITEMENT DES MINERAIS	59

4.1	LES METHODES D'EXPLOITATION	59
4.1.1	Les travaux de reconnaissance	59
4.1.2	Exploitation souterraine	60
4.1.3	Exploitation à ciel ouvert	61
4.2	LE TRAITEMENT DU MINERAI [1]	62
4.2.1	Le traitement dynamique	
4.2.2		
4.2.3	Le traitement des effluents durant l'exploitation	65
5 PRES	SENTATION DES SITES MINIERS	67
5.1	GENERALITES	67
5.2	SITUATION REGLEMENTAIRE DES SITES ET INSTALLATIONS ARRETEES	69
5.2.1	Titres miniers	
5.2.2		
	SITES MINIERS ET BASSINS VERSANTS	
	PRESENTATION DES SITES	
5.4.1	Bassin versant de la Sèvre Nantaise	
5.4.2		
5.4.3	Zone côtière de Piriac-sur-Mer	84
6 RESI	DUS ET DECHETS D'EXPLOITATION	87
6.1	LES STERILES MINIERS	87
6.1.1	Généralités – Teneur en uranium	
6.1.2		
6.1.3		
6.1.4	·	
	LES RESIDUS DE TRAITEMENT	
6.2.1	Les résidus de traitement statique	
6.2.2	1	
	LES PRODUITS DE DEMANTELEMENT	
6.3.1	Origine des produits mouvementés pendant le réaménagement	
6.3.2	'	
6.3.3	Boues des stations de traitement	98
7 EVAL	LUATION DES IMPACTS EN TERME DE SECURITE PUBLIQUE	101
7.1	NTRODUCTION	101
7.2	LES RISQUES LIES AUX TRAVAUX MINIERS SOUTERRAINS	102
7.2.1	Les ouvrages de liaison fond-jour	102
7.2.2	Les infrastructures et chantiers souterrains	107
7.3	LES RISQUES LIES AUX MINES A CIEL OUVERT	111
7.4	LES RISQUES LIES AUX VERSES A STERILES	112
7.5	LES RISQUES LIES AUX DIGUES	112

8	EVALUA7	TION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	115
	8.1 IMP/	ACT SUR LE VECTEUR EAU	115
	8.1.1	Voies de contamination sur le milieu aquatique	115
		Valeurs de référence « milieu naturel »	
	8.1.3	Analyse par bassin versant de l'impact réel sur le milieu aquatique	118
	8.1.4	Bilan sur le milieu aquatique	144
	8.2 IMP/	ACT SUR LE VECTEUR AIR	146
	8.2.1	Voies de contamination de l'air	146
	8.2.2	Surveillance de la qualité radiologique de l'air	147
	8.2.3	Résultats de la surveillance de la qualité de l'air	148
	8.3 IMP/	ACT SUR LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LES SOLS	155
	8.3.1	Voies de contamination de la chaine alimentaire	155
	8.3.2	Contrôles de la chaine alimentaire	155
	8.3.3	Résultats des contrôles de la chaîne alimentaire	156
9	EVALUAT	TION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE	157
	9.1 PRIN	NCIPE DE L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES	157
		QUES RADIOLOGIQUES	
		IOTION DE DOSE EFFICACE	
	9.4 MET	HODE D'EVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE	DANS
	L'ENVIRON	NEMENT PROCHE DES SITES	159
	9.4.1	Voies d'exposition à considérer	159
	9.4.2	Détermination des groupes de références	160
	9.4.3	Calcul de la dose efficace annuelle ajoutée	161
	9.4.4	Résultats	162
		LUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR MODELISATION – S RE	
1(0 MESURE	S PRISES POUR REDUIRE LES IMPACTS	171
	10.1 RED	UCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR EAU	171
	10.1.1	Le site de l'Ecarpière	171
		Le site du Chardon	
	10.2 RED	UCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR AIR	187
	10.2.1	Les résidus de traitement	187
	10.2.2	Les stériles miniers	190
1 .	1 CONCLU	SIONS	195
	11.1 CON	ICLUSIONS DE L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE ET PROPOSITIONS D'AC	CTIONS
		ENTAIRES A METTRE EN ŒUVRE	
	11.2 GES	TION DES STERILES MINIERS	197
	11.3 INFC	DRMATIONS DU PUBLIC	199



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).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 11/211
---	------------	---------------

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 <u>et</u> 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 <u>ou</u> de neutrons est en excès. Pour se stabiliser, le proton en surplus se transforme en neutron avec émission d'un positon (rayonnement bêta plus) <u>ou bien</u> 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29	29/02/2012	Page : 12/211
--	------------	---------------

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 Bg = 1 désintégration par seconde

1 000 Bg = 1 kilobecquerel (1 kBg)

1 000 000 Bq = 1 mégabecquerel (1 MBq)

 1.10^9 Bq = 1 gigabecquerel (1 GBq)

 1.10^{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: $1 \text{ Ci} = 3,7.10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 13/211
---	------------	---------------

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 <u>radioactivité naturelle</u> correspondant à un milliard de désintégrations par seconde (10°), 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
	2 à 6 Bq/l
Eau minérale naturelle	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 DE LA LOIRE-ATLANTIQUE

1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le périmètre concerné par le présent bilan environnemental couvre l'ensemble des activités minières uranifères passées sur le département de la Loire-Atlantique. Les communes concernées sont listées dans le tableau suivant :

Secteurs	Sites	Communes
	L'Ecarpière	Gétigné
	E Edaipiere	(Saint-Crespin-sur-Moine, Maine-et-Loire)
Clisson	Le Chardon	Gorges
Clissori		Gorges
	Les Mortiers	Monnières
		Saint-Lumine-de-Clisson
	Kercredin	Guérande
	Keroland	Guérande
	Métairie Neuve	Guérande
Guérande	Tesson	Guérande
Guerande	La Garenne	Guérande
	Saint-Nom	Guérande
	Coispean	Turballe
	Le Cormier	Saint-Molf
Piriac-sur-Mer	Kervin	Piriac-sur-Mer
Fillac-sul-iviel	Pen Ar Ran	Piriac-sur-Mer

Le département de la Loire-Atlantique comporte ainsi 13 sites miniers, ayant fait l'objet d'extraction de minerais d'uranium, et 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.

Par ailleurs, il est à noter que le site de l'Ecarpière est situé sur deux départements : la Loire-Atlantique (commune de Gétigné) et le Maine-et-Loire (commune de Saint-Crespin-sur-Moine).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 15/211
---	------------	---------------

1.2 HISTORIQUE [1]

Le département de la Loire-Atlantique a vu l'exploitation, de 1952 à 1990, d'un ensemble de gisements uranifères granitiques qui ont produit 8 400 tonnes d'uranium métal à partir de 6 702 000 tonnes de minerai d'une teneur moyenne de 1,23 ‰ (1,23 kg d'uranium par tonne).

En 1945, le Général de Gaulle créait 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 du département de la Loire-Atlantique est découvert à l'Ecarpière. Cette même année, un travers-banc est creusé pour reconnaître plus précisément ce gisement qui deviendra un des plus importants de la région des Pays de la Loire.

En 1954, la division minière de Vendée est créée. Suite à la découverte de nombreux gisements dans la région, le projet d'implantation d'une usine de traitement à l'Ecarpière est confié à la Société Industrielle des Minerais de l'Ouste (SIMO), société créée par le CEA et les Etablissements Kuhlmann.

La construction de l'usine commença en 1956, et les premières tonnes de minerais sont traitées dès 1957.

Parallèlement, la prospection continuait, avec la découverte en 1957 du gisement du Chardon, toujours dans le secteur de Clisson. Le site de l'Ecarpière et du Chardon firent l'objet de travaux miniers souterrains. Une première mine à ciel ouvert fut exploitée, de 1962 à 1966, sur le site de l'Ecarpière.

En 1974, le choc pétrolier relança l'exploration et l'exploitation des gisements de la Loire-Atlantique, dans les différents secteurs :

- Clisson : mines à ciels ouvert de l'Ecarpière, du Chardon et des Mortiers,
- Guérande: exploitation de 6 mines à ciel ouvert, et recherches avec ouverture de 2 tranchées,
- Et Piriac-sur-Mer: exploitation par mine à ciel ouvert et travaux miniers souterrains du gisement de Pen-Ar-Ran, et tranchée à Kervin.

En 1976, la COmpagnie GEnérale des MAtières nucléaires (COGEMA) succède au CEA dans le secteur des mines uranifères.

Il est à noter que la méthode d'exploitation par mine à ciel ouvert est alors privilégiée, en particulier à partir de 1980, du fait de la diminution du prix de l'uranium, donc de la nécessité de réduire les coûts d'exploitation et de prendre les têtes de gisements.

La chute du prix de l'uranium conduisit à l'arrêt des dernières exploitations ligériennes : l'Ecarpière en 1990, puis le Chardon en 1991.

La division de 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 de la Crouzille (Limousin).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-At	lantique
---	----------

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 la partie sud-est de ce dernier. 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 plagues tectoniques Aguitaine et Armorique, qui entraina 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 massif de Guérande, localisé dans le domaine Ouest Vendéen et 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 les terrains suivants:

Les micaschistes du groupe de la Vilaine (annexe 5.2) :

Deux sites (Pen Ar Ran et Kervin) sont concernés par ces terrains. Il s'agit de micaschistes, à muscovite, chlorites et quartz, de couleur verte et souvent très altérés, ne conservant que leur aspect structural externe.

Ces micaschistes sont séparés du massif granitique de Guérande par une faille orientée E-W.

В	Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/201
---	---	-----------

• Le massif granitique de Guérande (annexe 5.3) :

Huit sites (Coispéan, Le Cormier, Métairie Neuve, Keroland, La Garenne, Kercredin, Tesson, Saint-Nom) sont localisés au sein de ce massif. Le massif de Guérande apparait nettement comme intrusif dans les micaschistes du groupe de la Vilaine. Il est constitué d'un granite de teinte clair, à grain grossier à moyen, à muscovite et biotite. La muscovite est dominante sous forme de grandes lames et la biotite est toujours altérée sous forme de petites paillettes.

• Le batholite granitique de Mortagne (annexes 5.4 et 5.5) :

Trois sites (Mortiers, Le Chardon, L'Ecarpière) sont localisés en bordure nord de ce batholite. Il est constitué par un granite rose clair porphyroïde à gros grains, contenant de la biotite et de la muscovite. Les contacts entres le batholite de Mortagne et les terrains encaissants situés au Nord sont faillés et mylonitisés.

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 », le long de laquelle sont localisés les sites du Chardon, de l'Ecarpière et de Mortiers (cf. annexes 5.4 et 5.5), s'est accompagnée de la formation d'une zone mylonitisée.

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.

Les structures faillées du Massif de Guérande sont également liées à la ZBSA. En effet, plusieurs failles, parallèles à cette dernière et orientées NW-SE, ont façonné le relief actuel du Massif. Les deux principales failles normales correspondent ainsi au Coteau de Guérande (faille allant de Piriacsur-Mer à Pornichet) et à la Côte du Croisic (faille allant du Croisic au Pouliguen). L'affaissement du bloc situé entre ces failles a, entre autre, permis la mise en place de marais du Croisic et de Guérande).

En revanche, les micaschistes de la Vilaine sont affectés par une série de failles, parfois chevauchantes, orientées globalement N80°, auxquell es sont associées des failles conjuguées orientées N45°. Ces failles chevauchantes sont égal ement bordées par des terrains métamorphiques de type quartzites, notamment dans le secteur du site de Pen Ar Ran.

2.1.3 Caractéristiques des minéralisations

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

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 18/211
---	------------	---------------

Terrains encaissants	Sites miniers	Caractéristiques des minéralisations et des gisements
Micaschistes du groupe de	Pen Ar Ran	Minéralisations (pechblende et produits jaunes) présentes au contact entre les micaschistes et les quartzites graphitiques du groupe de la Vilaine.
la Vilaine	Kervin	Absence d'information
	Kercredin	Gisement lié à une enclave schisteuse, orientée N30E intra-granitique avec une minéralisation située sur un système de fractures N15E et N35E 80E.
	Keroland	Gisement lié à une enclave schisteuse, orientée N30°E à pendage 70°E intra-granitique, de puissance 20 à 50 Minéralisation liée au contact granite/schiste et à des structures orientées N50°E à N70°E subverticales.
Massif	Métairie Neuve	Gisement lié à une enclave schisteuse intragranitique à graphite et pyrite. Minéralisation (produits noirs, pechblende) présente au contact schiste/granite et sur une fine structure N%0°E su bverticale.
granitique de Guérande Tesson		Gisement lié à une enclave schisteuse N-S pentée Est avec une minéralisation située sur des structures brechiques argileuses à enduits graphiteux intercalées dans les schistes ou au contact avec le granite.
	La Garenne	Absence d'information
	Saint Nom	Absence d'information
	Coispean	Minéralisation liée à des fractures intragranitiques.
Le Cormier		Gisement au contact granite/schiste avec une minéralisation liée à des fractures intragranitiques.
L'Ecarpière		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.
Batholithe de		Minéralisation constituée de pechblende et de produits noirs, très souvent accompagné de fluorine, de pyrite et de marcassite.
Mortagne	Le Chardon	Gisement (extension : 500 m d'Est en Ouest et 500 m du Nord au Sud) localisé au contact entre le gabbro du Pallet et le granite de Mortagne, qui est mylonitisé au niveau de la faille. Minéralisation (pechblende et de produits noirs) au sein de zones de cisaillement orientées NW-SE à décrochement dextre (zones bréchiques et fissures associées) et dans les brèches siliceuses.
	Les Mortiers	Gisement lié au contact gneiss / granite, mylonitisé au niveau de la faille. Minéralisation (autunite dans la zone superficielle et pechblende à partir de 5 m de profondeur accompagnée de pyrite) au sein de cassures bréchiques N65W.

2.1.4 Fond radiologique régional

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

En Loire-Atlantique, pour les secteurs visés par une ancienne exploitation uranifère, l'ordre de grandeur du fond radiométrique est 80 à 100 chocs/seconde SPPγ, quelque soit la nature des terrains encaissants (granite de Guérande, micaschistes de la Vilaine ou granite de Mortagne).

2.2 ENVIRONNEMENTS PAYSAGERS ET DEMOGRAPHIQUES

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

La Figure 1 présente le relief et les paysages de la Loire-Atlantique. Le relief de département est peu contrasté (Point culminant : La Colline de la Bretèche - 116 m).

Au Nord-Est de la Loire, se trouve un ensemble de plateaux d'environ 100 m d'altitude moyenne, correspondant au Bocage angevin et au Pays des Trois Rivières. Les paysages rencontrés sont majoritairement composés de bois et forêts, et de terrains dédiés à l'agriculture.

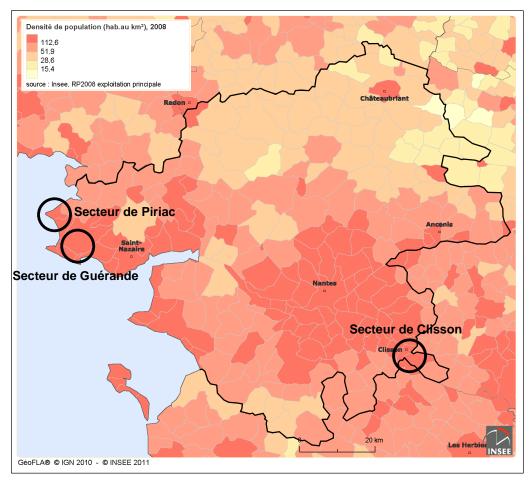
Au Sud-Est de la Loire, le relief se présente sous forme d'une succession de collines d'environ 30 m d'altitude, sur lesquelles est installé le Vignoble Nantais.

Au Nord de l'estuaire de la Loire, le département est marqué par de nombreux marais comme le Parc Naturel Régional de la Brière. La proximité du littoral a également permis le développement de marais salants au Sud de Guérande et sur les communes de Mesquer et Saint-Molf.

La Loire-Atlantique compte également près de 130 km de côtes orientées vers l'Océan Atlantique.

2.2.2 Démographie du département [4]

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



Densité de population par commune, département de la Loire-Atlantique

Globalement, le Nord du département est moins peuplé que le Sud, notamment la zone côtière et la périphérie des villes de Saint-Nazaire et Nantes.

La population du département de la Loire-Atlantique comptait 1 255 871 habitants en 2008. La population augmente régulièrement depuis 1968 : 1 134 493 habitants en 1999, et 1 052 183 habitants en 1990, 995 498 habitants en 1982, 934 499 habitants en 1975 et 861 452 habitants en 1968.

2.3 CONTEXTE CLIMATIQUE [5]

Le département de la Loire-Atlantique bénéficie d'un climat tempéré océanique, variant peu d'un endroit à l'autre du département. Les hivers sont doux et les étés faiblement chauds. Les précipitations sont fréquentes en hiver et au printemps, mais rarement violentes.

2.3.1 Pluviométrie

Le tableau suivant présente les précipitations moyennes sur l'ensemble du département :

Secteurs	Précipitations moyennes
Nantes et son agglomération	environ 780 mm/an
Saint-Nazaire et la cote atlantique	environ 820 mm/an
Châteaubriant	entre 700 et 800 mm/an

2.3.2 Températures

Le tableau suivant présente les températures moyennes sur l'ensemble du département :

Secteurs	Températures moyennes
Nantes et son agglomération	11,9℃
Saint-Nazaire et la cote atlantique	11,7℃
Châteaubriant	11,2℃

2.3.3 Vents

La cote atlantique est soumise à des vents de dominante ouest liés aux dépressions cyclonales de l'océan. Leur direction est généralement de nord, nord-ouest et d'ouest. Les vents de sud-ouest et nord-est sont plutôt rares.

Dans les terres (secteur de Clisson), 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 sont répartis sur trois bassins versants principaux (cf. Figure 2) :

- la zone côtière de Piriac-sur-Mer, qui concerne deux sites (Pen Ar Ran et Kervin),
- le bassin versant d'un ruisseau dit « Le Canal » qui se jette dans l'Etier du Pont d'Arm situé dans les marais salants de Saint-Molf. Huit sites (Tesson, Métairie Neuve, Kercredin, Keroland, Saint-Nom, Coispéan, La Garenne et Le Cormier) sont localisés sur ce bassin versant.
- le **bassin versant la Sèvre Nantaise**, auquel est rattaché trois sites miniers (Les Mortiers, Le Chardon et l'Ecarpière).

Au sein de la zone côtière de Piriac-sur-Mer, la zone concernée par les exploitations minières est localisée au Sud-Est de Piriac-sur-Mer, dans le quartier de Pen Ar Ran pour un site et au Nord du village du Kervin pour le second site. Ce secteur présente un seul ruisseau, qui est busé sur environ 770 m, depuis l'étang de la Prée situé en amont du site de Pen Ar Ran, jusqu'à son embouchure dans l'océan Atlantique.

Le ruisseau dit « Le Canal », d'une longueur totale de 9,1 km, coule vers le Nord en direction des marais salants de Saint-Molf. La portion concernée par les activités minières correspond à la partie amont de son bassin versant, situé sur les communes de La Turballe et Guérande, où plusieurs petits ruisseaux alimentent Le Canal.

Le bassin versant de la Sèvre Nantaise, d'une superficie totale de 2350 km², couvre la partie Sud-Est du département de la Loire-Atlantique. Le tronçon concerné par les anciennes activités minières correspond à celui traversant les communes de Clisson à Monnières. Un des affluents principaux de la Sèvre Nantaise est la rivière La Moine, qui longe le Nord du site de l'Ecarpière (commune de Gétigné).

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 les secteurs concernés par les exploitations minières, seules les rivières La Moine et La Sèvre Nantaise possèdent des stations de mesures [6].

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

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 23/211
---	------------	---------------

		Surface	Surface Débits		Débits d'étiage		ues	Débits maxi	Débits maxi
Bassin versant	Localisation	du BV km²	moyens m³/s	QMNA2 m³/s	QMNA5 m³/s	QIX biennal m³/s	QIX décennal m³/s	journaliers m³/s	instantanés m³/s
La Sèvre	Tiffauges (La Moulinette)	814	9,00	0,53	0,20	120	240	331	442
Nantaise	Clisson	1390	14,40	1,20	0,72	140	280	360	474
La Moine	Saint-Crespin-sur - Moine	373	3,15	0,56	0,37	55	110	95,1	120

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]

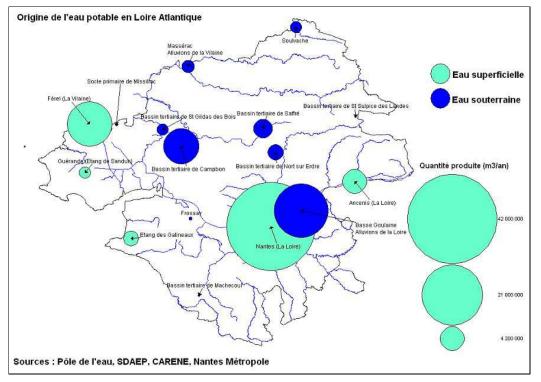
En Loire-Atlantique, il existe 107 captages d'alimentation en eau potable. Ce nombre de captages est faible au regard de la moyenne nationale (300 à 400 captages par département en moyenne). Cette situation est liée à la nature même du sous-sol de Loire Atlantique (granite et schiste) qui renferme peu de nappes d'eau souterraine.

Ainsi, la production d'eau potable fait ainsi largement appel aux eaux de surface, prélevées dans la Loire et dans des étangs. La provenance de l'eau distribuée se répartie de la manière suivante :

- eaux de surface traitées : 60%
- eaux de nappes alluviales traitées : 20% (les plus importantes : Campbon, Nort-sur-Erdre, St Gildas-des-Bois)
- eaux souterraines traitées : 20%

La carte suivante présente l'origine de l'eau potable en Loire-Atlantique en fonction des zones géographiques :

Page: 24/211



Carte de l'origine de l'eau potable en Loire-Atlantique

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 de la Loire-Atlantique (anciennement DDASS).

Irrigation [8]

L'irrigation consomme environ 20 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
Directs dans la Loire	35 %
Autres cours d'eau	10 %
Eaux souterraines	30 %
Retenues collinaires uniquement remplies par ruissellement	25%

<u>Remarque</u>: L'eau des mines à ciel ouvert de Kercredin, Keroland, Métairie Neuve et Le Cormier est utilisée à des fins d'irrigation par les propriétaires et/ou locataires actuels des sites. Dans le cadre du dossier de fin de travaux miniers des sites de Kercredin, Keroland et Métairie Neuve, la lettre DRIRE du 25/05/1993 actant de la déclaration de délaissement, mentionne : « *J'ai donc l'honneur de vous indiquer que je prends acte de votre déclaration de délaissement sur ces sites, suivant les dispositions indiquées ci-après :*

- interdiction de construction de bâtiments et de fouille sur les zones remblayées, et les anciennes verses à stériles;
- interdiction de tout sondage, forage et pompages sur l'ensemble du site. »

En revanche, l'arrêté préfectoral du 23/06/1983, actant de l'abandon des travaux miniers du site du Cormier, ne présente aucune servitude relative à d'éventuel pompage sur le site.

Le tourisme et les loisirs [9]

Le département de la Loire-Atlantique a développé sur son territoire un tourisme spécifique selon les secteurs, et lié à la diversité du paysage. Les 130 km de littoral orienté vers l'océan Atlantique, constitue un fort attrait touristique en saison estivale, notamment autour des stations balnéaires de la Baule-Escoublac, Pornic, Saint-Brevin-les-Pins,...

L'arrière pays dispose également d'atouts touristiques, y compris en dehors de la haute saison. En effet, le département possède un important patrimoine historique, lié au passé maritime et fluvial, comme Nantes ou Saint-Nazaire, mais aussi la cité médiévale de Guérande ou la ville de Clisson, ancienne place forte assurant la protection de la frontière sud de la Bretagne.

Enfin, la région de Guérande – Saint-Molf est également mise en avant, d'une part par la présence de marais salants et du Parc Régional de la Brière.

Le département compte également un grand nombre de circuits de randonnées (près de 5000 km de sentiers), VTT... (Circuits du littoral, des marais, des vignobles ou au fil de l'eau avec l'estuaire de la Loire ou encore le long des rivières l'Erdre et la Sèvre Nantaise.

La capacité d'hébergement touristique du département de la Loire-Atlantique 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 [8]

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 tableau suivant présente les différents SAGE du département et leur état d'avancement :

SAGE	Etat d'avancement au 20/10/2011	Sites concernés
Estuaire de la Loire	Mis en œuvre	Pen Ar Ran, Kervin
Vilaine	En première révision	Tesson, Métairie Neuve, Le Cormier, Coispéan, Keroland, Kercredin, Saint-Nom, La Garenne
Sèvre Nantaise	En première révision	Les Mortiers, Le Chardon, L'Ecarpière

2.5 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

2.5.1 Généralités

Les aquifères sont liés à la nature même du sol et du sous-sol. En Loire-Atlantique, près de 80 % des eaux brutes sont prélevées dans les eaux de surface. Ceci est dû à la nature compacte du sous-sol (granite et schiste) peu propice à la formation d'une porosité souterraine permettant d'accueillir de grands aquifères.

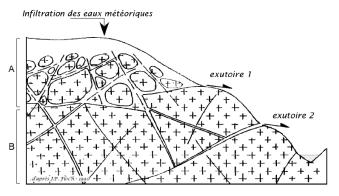
Les secteurs concernés par les sites miniers correspondent à des roches cristallines (socle) ne comportant que de petites réserves dans les zones altérées.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02	02/2012	Page : 27/211
---	---------	---------------

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 permanant 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.

Page: 29/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

- 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 ≈ 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 :

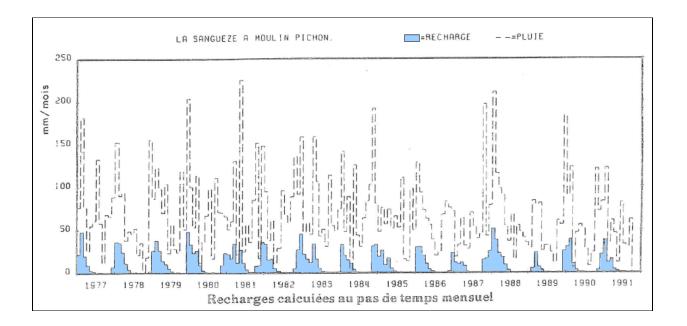
	Stations de mesures la plus proche du site	Plage de données utilisée pour la modélisation
Pluie	La Haie Fouassière située à 16 km à l'Ouest de l'Ecarpière	Série journalière sur 17 ans (1975 à 1991)
Evapotranspiration potentielle (ETP) (mesures de l'insolation et de la température)	Nantes	Série décadaire 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

- 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 30/211
---	------------	---------------



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 accroit 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 m³/h	Remarques
Débits	01/1977 à 12/1979	Mensuelle	243	Les débits d'exhaure augmentent au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux
d'exhaure	01/1987 à 08/1989	Mensuelle	301	miniers souterrains
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
	01/1987 à 12/1989	Quotidienne	252	partie de l'eau est directement évaporée : avec une ETP moyenne de 788 mm/an sur 72 ha le débit moyen évaporé est 65 m³/h. En été, le débit moyen évaporé est 120 m³/h avec une ETP moyenne égale à 120 mm/an.

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 ».

<u>BILAN HYDROGEOLOGIQUE DES ECOULEMENTS DANS LA MINE: DEFINITION D'UN MODELE HYDRODYNAMIQUE</u>

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 :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 32/211
---	------------	---------------

	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'infiltre 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.
 - Il n'y a pas indépendance complète entre la nappe des arènes et celle des granites mais l'infiltration profonde est faible devant l'écoulement en surface vers la rivière Moine ou vers

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 33/211
---	------------	---------------

des zones marécageuses. De toute manière le sens des écoulements est de la surface vers le granite profond et non l'inverse.

- Après arrêt de l'exhaure, la reconstitution du stock d'eau contenu sur le site de la mine est due essentiellement à l'apport venant de l'ensemble du massif granitique, et de son encaissant. L'infiltration directe depuis la surface du seul bassin versant superficiel de la mine ne peut à elle seule expliquer la remontée enregistrée des niveaux après l'arrêt de la mine.
- Le suivi des fluctuations saisonnières du ou des niveaux aquifères du système est un élément indispensable pour l'appréciation des volumes échangés par les transits d'eau dans le milieu semi-profond. Il permet de déterminer la recharge, en liaison avec l'analyse des données climatiques, et la piézométrie renseigne sur les directions d'écoulement. Suite à l'arrêt de l'exploitation, les nappes ont retrouvé une situation d'équilibre naturel avec le réseau hydrographique matérialisé par la rivière Moine qui est une limite hydraulique. »

2.5.3 Site du Chardon [11]

Etude hydrogéologique de 1995

Dans le cadre du dossier de délaissement, il a été réalisé une étude hydrogéologique du site minier du Chardon, en février 1995.

CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le site du Chardon est localisé à 1,3 km à l'Ouest de La Sèvre Nantaise qui constitue le cours d'eau principal drainant la région. Deux ruisseaux coulent à proximité du site, celui de la Margerie à l'Est et celui de la Brécholière au Sud.

Concernant le volet « hydrologie » de cette étude, les données présentées sont celles utilisées dans l'étude hydrogéologique sur le site de l'Ecarpière, réalisée par le BRGM en janvier 1992 (cf. paragraphe 2.5.2 : Modélisation de la réalimentation de la nappe superficielle par les pluies). L'analyse des données a montré que le comportement des bassins versants du secteur est caractéristique de ceux « des régions de socle cristallin avec des bassins peu perméables, de faible inertie, avec une évacuation rapide des précipitations vers les cours d'eau par ruissellement et par transfert dans les formations superficielles ».

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

• Observations de surface :

Un suivi a été effectué sur plus de 200 puits et mares dans l'environnement du site minier au cours de son exploitation. Ces puits, d'une profondeur de 5 à 8 m, sont majoritairement localisés dans le compartiment "granitique" et dans une moindre mesure dans l'encaissant : l'eau provient alors de la nappe des formations superficielles (arène argilo-sableuse d'altération du granite ou des dépôts sédimentaires récents pliocènes). Le faible nombre de puits dans la zone du gabbro s'explique par son altération argileuse constituant de faibles réservoirs.

Page: 34/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

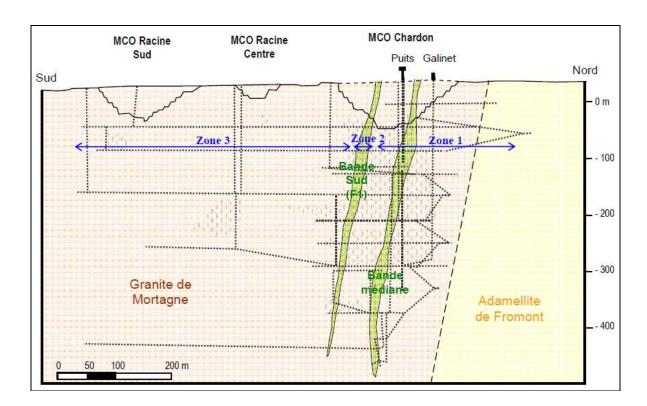
Ces puits ont été largement influencés par l'activité minière par soutirage des eaux superficielles vers le fond suite aux travaux entraînant leur assèchement. La Figure 4 présente cette zone d'influence minière sur l'assèchement des puits au cours d'exploitation. Avec le noyage de la mine depuis 1991, la plupart des puits ont retrouvé leur situation antérieure, seuls les plus proches de la mine à ciel ouvert sont encore secs.

Remarque: L'exploitation, par l'entreprise AUBRON MECHINEAU, de la carrière de la Margerie, « située entièrement dans les gabbros du Pallet, a débuté après les travaux miniers et n'a, semble-t-il, entraîné aucune perturbation. L'analyse des eaux est complètement différente de celle du siège minier ».

Observations faites pendant l'exploitation minière :

Les principales observations faites au cours de l'exploitation minière, reportées sur le schéma cidessous, sont les suivantes :

- « une absence presque totale d'eau dans le compartiment Nord [zone 1],
- une présence réduite d'eau dans le granite au Nord de F1, les "anciens" se rappellent que le puits a été foncé "au sec" [zone 2],
- une présence parfois abondante d'eau dans le granite au Sud de F1 [zone 3] ».



En octobre 1990, les différentes venues d'eau dans la mine ont été repérées et leurs débits mesurés permettant une reconstitution de l'exhaure totale.

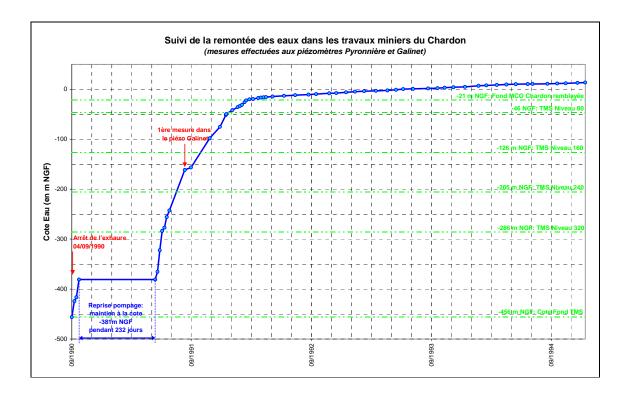
De plus, il a été mis en évidence que ce sont bien les structures ouvertes orientées N-S du granite qui constituent la principale réserve d'eau et que les structures orientées E-W (comme la bande médiane et la bande Sud (ou faille F1)) jouent un rôle de barrage à son écoulement vers le Nord.

Remontée des eaux après l'arrêt de l'exhaure :

A l'arrêt de l'exhaure, l'eau a envahi les travaux miniers souterrains jusqu'à la mine à ciel ouvert du Chardon avec une stabilisation probable du niveau d'eau autour de la cote +20 m NGF (altitude des MCO comblées de la Racine et des cours d'eau environnants).

En plus de 3 ans, le niveau d'eau est remonté de près de 400 m : il a été suivi par deux ouvrages verticaux, le sondage de la Pyronnière et le sondage Galinet puis dans la fosse du Chardon. La vitesse de remontée de l'eau dans la mine est fonction des vides à remplir constitués par les travaux miniers et du débit des eaux de noyage.

Le graphique ci-dessous présente la remontée des eaux dans les travaux miniers du site du Chardon :



Etude sur la possibilité de résurgence :

Suite à la montée du niveau d'eau dans la fosse du Chardon, des risques de résurgence ont été envisagés, à des points topographiquement plus bas autour du site, soit lorsque le niveau d'eau dans la fosse avoisinera la cote +20 m NGF.

Sont alors concernés : le ruisseau de la Brécholière au Sud et le ruisseau de la Margerie à l'Est. Il n'y a pas de risque de débordement de la carrière.

L'étude structurale du site a montré que les structures faillés Nord-Sud constitueraient les drains préférentiels tandis que les structures Est-Ouest argileuses joueront le rôle de barrage hydraulique. Ainsi, les points de résurgence seraient localisés :

 pour le premier, sur la structure N-S de la Racine au niveau du ruisseau de la Brécholière à la cote +18 m NGF :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique)
---	---

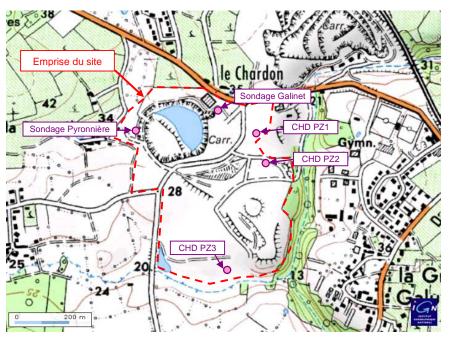
 pour le second, au niveau des structures E-W qui forment un barrage hydraulique : un écoulement pourrait se produire le long de ces structures qui recoupent le ruisseau de la Margerie.

Trois piézomètres ont été installés sur le site dont la localisation est reportée sur la carte ci-après :

- CHD PZ 1 et CHD PZ 2, d'une profondeur de 40 m, implantés sur les 2 structures Est Ouest dont F1.
- CHD PZ 3, d'une profondeur de 30 m, localisé sur la structure de la Racine, à proximité du ruisseau de la Brécholière.

Ces piézomètres ont permis de vérifier :

- le niveau de l'eau,
- la qualité de l'eau,
- l'évolution de la qualité, en comparaison avec celle de la fosse avec la pluviométrie et les capacités de pouvoir fixateur du radium et de l'uranium du granite encaissant,
- le contrôle des résurgences.



Carte de localisation des piézomètres sur le site du Chardon

Conclusions:

« Depuis l'arrêt de l'exhaure en Mai 1991, la mine souterraine du Chardon s'est noyée en 224 jours [...]. Cette étude permet de confirmer le comportement hydrologique typique d'un site en milieu cristallin avec un bassin peu perméable où l'écoulement superficiel et de subsurface est prépondérant. L'infiltration directe des précipitations contribue dans une moindre mesure à l'exhaure minière.

Avec leur noyage, l'influence des travaux miniers sur les puits environnants s'estompe progressivement, la situation redevient comparable à celle existante avant l'exploitation minière sauf pour l'instant pour les puits les plus proches de la MCO. »

Etude hydrogéologique de 2002

A la demande de COGEMA, la société Géoarmor a réalisé une seconde étude hydrogéologique en 2002 (Rapport GL – R2671a – Novembre 2002), ayant pour objectifs d'examiner le fonctionnement hydraulique du site du Chardon et de proposer un programme pour la mise en place de solutions. Cette étude est basée sur une compilation des études existantes, un travail de terrain et une intégration des données de suivi du site de 1995 à 2002.

Après des rappels sur le contexte géologique et hydrogéologique, extraits de l'étude de 1995, ce rapport comporte les chapitres suivants :

- Effets de l'exhaure et de son arrêt,
- Nouvelles investigations et suivi,
- Fonctionnement hydrogéologique du site.

LES EFFETS DE L'EXHAURE ET DE SON ARRET

L'étude Géoarmor rappelle, tout d'abord, les observations formulées par l'étude de 1995, sur les débits d'exhaure pendant exploitation et sur l'impact du site sur les puits environnants.

Ensuite, un volet portant sur la qualité des eaux minières mentionne :

- « La particularité des eaux de la mine du Chardon est leur concentration en NaCl qui atteint, voire dépasse 10 mg/l. La valeur maximale dans les résultats que nous avons examinés est de 15,5 g/l en 1989.
- Plusieurs études ont été menées afin de déterminer l'origine des chlorures. La dernière (Beaucaire et al - 1999) concluait sur une origine multiple des eaux. Dans cette étude, l'évolution chimique de la haute teneur en ions CI- dans les eaux souterraines de la mine du Chardon est assimilée à un mélange entre eau de recharge oxydée et une composante d'eau fossile d'origine marine sur lesquelles viennent se surimposer les interactions eau/roche.
- Cette distribution par niveau et par compartiment géologique montre bien l'indépendance de l'adamellite mais précise surtout le rôle de F1. Les teneurs en chlorure de sodium augmentent de façon notable du Sud vers le Nord et atteignent leur maxima à proximité de la structure. Ceci dénote l'importance de la faille F1 sur la remontée des eaux chlorurées. Malgré son rôle de barrière hydraulique indiscutable de par sa nature argileuse et confirmé par les faibles venues d'eau du côté Nord lors de l'exploitation et ceci jusqu'au plus bas niveau d'exploitation, il existe tout de même une relation entre les deux compartiments. En revanche, la bande médiane parait être la structure qui fasse chuter les teneurs en chlorure de sodium. »
- Après étude des différents faciès des eaux, « il en ressort que les eaux du granite sont très majoritairement influencées par [des] eaux saumâtres profondes tandis que [l'adamellite] semble être isolée de cette source. Entre ces deux compartiments, les résultats reflètent la complexité des circulations fluides. »
- « Avant traitement, les eaux d'exhaure étaient très riches en radium. » (cf. suivi de l'évolution des eaux en radium et en uranium pendant l'exploitation figurant dans l'étude hydrogéologique, associée au dossier de délaissement de 1995).

Page: 38/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

Le dernier volet de ce chapitre concerne la remontée des eaux après l'arrêt de l'exhaure, à partir du dispositif de suivi présenté dans les paragraphes concernant l'étude hydrogéologique de 1995. La remontée des eaux dans les travaux miniers du Chardon (TMS et MCO) s'est déroulée de la manière suivante :

- Pour la période septembre 1990 (arrêt du pompage de l'exhaure minière) à fin décembre 1994,
 la remontée des eaux est présentée dans l'étude hydrogéologique décrite précédemment.
- « Vers mai-août 1995, la cote 16 m N.G.F. est atteinte dans la MCO du Chardon et la vitesse de remontée se ralentit nettement (rupture de pente). Cette rupture peut être due à l'alimentation progressive de l'aquifère superficiel (zone d'altération).
- En juin 1997, une émergence [(émergence n^a)] apparaît en bordure de la MCO remblayée de la Racine. Les eaux étaient riches en Ra226 soluble, en NaCl et ne pouvaient donc être rejetées au milieu naturel » (cette émergence avait été prévue par la première étude réalisée en 1995).
- Une solution d'urgence a été mise en place : elle consistait à pomper au point d'émergence (le niveau de l'eau dans la MCO du Chardon atteignant la cote 22,20 m) en renvoyant les eaux dans la MCO.
- Le 17/10/1997, dans le secteur Racine, un effondrement s'est produit au droit d'un ancien montage minier et une seconde émergence est apparue au Nord-Est de la première. Son débit était fonction du niveau dans la MCO.
- « La solution mise en place consiste à maintenir bas le niveau de la MCO pour que les émergences disparaissent et à rejeter les eaux pompées dans le ruisseau de la Margerie sous condition de débit et de qualité. Cette solution est autorisée par l'arrêté préfectoral du 23/04/1998. Les rejets se font de novembre à fin mai au débit moyen d'environ 50 m3/h, adapté au débit du ruisseau récepteur. [L'émergence n°l] s'est tarie lorsque le niveau dans la MCO a été rabattu sous la cote 19,48 m N.G.F. »

NOUVELLES INVESTIGATIONS ET SUIVI

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique de 2002, Géoarmor a réalisé des investigations complémentaires qui ont eu pour objectifs :

- de répertorier l'ensemble des points d'eau (mares, puits, forages, sources,...) dans un rayon de 1 à 2 km autour du site,
- d'établir, à partir des différents relevés, des cartes piézométriques du secteur. Deux cartes ont été réalisées :
 - o la première présente la piézométrie en 1990, effectuée à partir des mesures disponibles dans les documents d'archives de COGEMA.
 - o la seconde concerne la piézométrie du secteur en mai 2002, réalisé à partir des mesures de terrain de Géoarmor. Cette carte met en évidence le drainage général par les cours d'eau, la position du contact granite-gabbro qui se marque par une rupture très nette dans la piézométrie, ainsi qu'une estimation de la zone (d'une superficie estimée à 140 ha) d'où peuvent venir les eaux pompées dans la fosse du Chardon.
- d'effectuer des mesures de conductivité dans les différents points d'eau répertoriés, permettant ainsi de lier les valeurs directement à la minéralisation, en particulier aux chlorures, afin de repérer les ouvrages où se produit une remontée d'eau salée. Les constats sont les suivants :

	Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 39/211
ı	•		ŭ

- « L'eau des ouvrages peu profonds situés sur le gabbro est plus minéralisée que l'eau du même type d'ouvrage sur le granite. »
- Peu d'anomalies ont été rencontrées :
 - les ouvrages Galinet et Pyronnière, en relation avec les travaux miniers souterrains où ont été reconnues les eaux les plus salées, présentent une conductivité élevée (supérieure à 8000 μS/cm).
 - les piézomètres PZ1 à PZ7 (ouvrages peu profonds 36 m au plus) présentent des conductivités allant de 502 à 1600 μS/cm et confirmant les analyses régulières de ces eaux.
 - des conductivités élevées ont été mesurées dans un forage de 54 m de profondeur à Naudière et dans quelques puits (Bas Mortiers, Hauts Mortiers, La Brie et le Printemps), pouvant être associées à « des pollutions par les eaux de surface ».
- et d'examiner les résultats du suivi environnemental, qui ont permis de faire les constats suivants:
 - Concernant les eaux de la MCO du Chardon, les teneurs en NaCl diminuent globalement de 1996 à 2001, avec toutefois une baisse des teneurs en NaCl plus importante au cours de la période hivernale, due à l'effet de dilution, et une remontée des teneurs, en période estivale, provoquée par l'alimentation de la MCO par des eaux profondes.
 - « Des rabattements importants, comme en 2002, peuvent inverser cette tendance à la baisse mais celle-ci devrait reprendre si le niveau de la MCO est maintenu au-dessus de 17 m N.G.F. (après éventuellement une période de stabilisation). »

FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DU SITE

Concernant le fonctionnement hydrogéologique local, l'étude hydrogéologique de 2002 confirme les observations faites dans l'étude de 1995.

En revanche, l'étude de 2002 confirme l'hypothèse sur la stratification des eaux en liaison avec la teneur en NaCl :

- « les teneurs en NaCl augmentaient avec la profondeur des travaux miniers,
- les teneurs en NaCl dans la MCO du Chardon se sont mises brusquement à augmenter lorsque le niveau de l'eau est passé en dessous des 17 m N.G.F.,
- un pompage dans le forage Pyronnière a montré la présence d'eau saumurée en profondeur,
- les teneurs en NaCl augmentent sur Pz2 en période de basses eaux. »

Concernant le fonctionnement hydrogéologique du site, l'étude de 2002 a mis en évidence les points suivants :

 Lorsque le niveau dans la MCO du Chardon a atteint la cote de 22,2 m NGF, la modification des gradients hydrauliques (correspondant à l'arrêt de l'exhaure) a provoqué l'apparition d'émergences en aval du site. Ces émergences proviennent de la profondeur des travaux miniers souterrains et nécessitaient un traitement du NaCl, Ra226, U238 et du fer.

Page: 40/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

- A partir de 1998, un système de pompage hivernal, avec rejet dans le ruisseau de la Margerie (sous contrôle de la qualité des eaux en aval) a été mis en place pour rabattre le niveau d'eau dans la MCO afin stopper les émergences. La MCO du Chardon est donc maintenue en dépression par rapport à la nappe aux environs.
- Le système d'alimentation en eau de la MCO du Chardon se fait de la manière suivante :
 - « Pendant la période de pompage, la MCO est alimentée par la pluviométrie directe, l'aquifère superficiel qui se recharge par infiltration – les eaux sont pauvres en NaCl et peuvent contenir un peu de radium et d'uranium (lessivage de la verse à l'Est de la MCO ».
 - « Entre les pompages, la MCO est alimentée par de l'eau profonde (TMS) et un peu d'eau de l'aquifère superficiel (le niveau de celui-ci étant bas, il ne peut fournir beaucoup d'eau). »

CONCLUSION DE L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE 2002

« Si le niveau de l'eau dans la MCO du Chardon dépasse un certain seuil (fixé à 21,5 m pour avoir une marge de sécurité), de l'eau profonde sort par l'émergence 1 (située à proximité du piézomètre CHD PZ3). Si, par contre, le niveau baisse en dessous de 17 m N.G.F., de l'eau saumâtre remonte dans la MCO.

La remontée des eaux dans la MCO entre les périodes de pompage est de l'ordre de 3 m sur la période suivie depuis 1998. Il faut donc rabattre la MCO à la cote 18,5 m au minimum à la fin de la période de pompage : par sécurité, il faut considérer que 18 m est la cote à atteindre. La marge est donc étroite puisque le niveau minimal dans la MCO devra rester compris entre 17 et 18 m N.G.F. (mieux encore, entre 17,5 et 18 m N.G.F.) pour éviter toute émergence et assurer une teneur en NaCl minimale. »

« En maintenant le niveau bas de la MCO, un peu en dessus de 17 m, les teneurs en NaCl (limitant le rejet) continueront à baisser : ceci doit permettre d'allonger la période de pompage et en conséquence de limiter les remontées intermédiaires. »

2.5.4 Site de Pen Ar Ran [12]

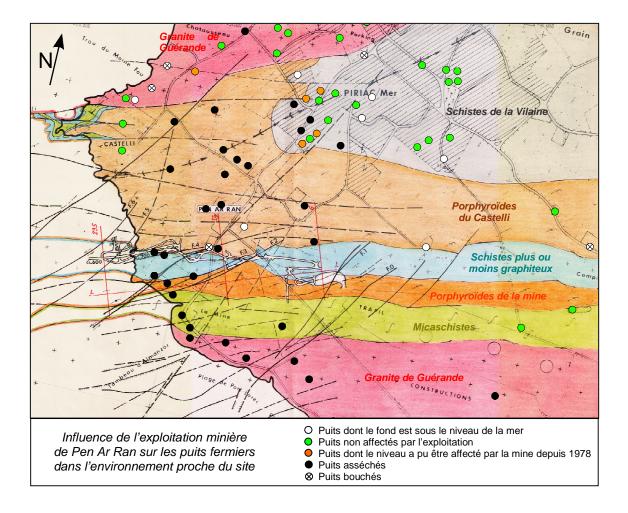
Dans le cadre de la fermeture du site minier de Pen Ar Ran, il a été réalisé une étude hydrogéologique, en février 1990.

Observations hydrologiques :

La particularité du site de Pen Ar Ran tient en sa localisation en bord de mer, avec des travaux miniers se prolongeant sous l'océan.

La topographie environnante est peu marquée avec seulement, au niveau de la mine, le passage d'un ruisseau intermittent et busé sur environ 770 m depuis l'étang de la Prée jusqu'à la cote. Ce ruisseau engendre un petit bassin versant ouvert vers le Sud d'une centaine d'hectares séparé du petit bassin de Piriac-sur-Mer ouvert vers le Nord par un léger relief de quelques mètres de dénivelé.

Dans le cadre des travaux d'exploitation, 88 puits fermiers ont été répertoriés dans l'environnement du site, comme le montre la carte suivante :



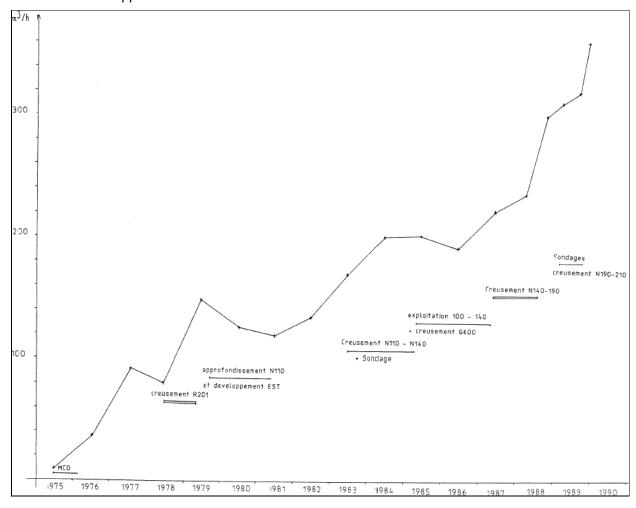
Ces puits ont été creusés dans la partie altérée ("arène") des terrains : granite, schistes et surtout porphyroïdes du Castelli. Il s'agit de puits peu profonds excédant rarement 10 mètres de profondeur.

Les travaux miniers semblent avoir affecté totalement ou en partie un assez grand nombre de puits, en particulier, tous ceux situés au Sud de la mine – y compris ceux creusés dans le granite de Guérande. On peut donc dire que les travaux miniers ont perturbé la réalimentation des réserves d'eau de surface.

Remarque: « La mesure des teneurs en NaCl faites en 1978 dans ces puits montre des salinités variant de 128 à 912 mg/l. Ceci indique que ces puits ne sont pas exclusivement alimentés par les eaux douces superficielles venant de l'arrière pays et qu'il existe une relation tout à fait indirecte avec les eaux saumâtres plus profondes. »

Observations hydrogéologiques :

Pendant l'exploitation de la mine, les différentes venues d'eau dans les galeries et alimentant l'exhaure minière, ont été répertoriées Le graphique suivant montre l'évolution du débit d'exhaure en fonction du développement de la mine :



L'exhaure de la mine a été rapidement importante, atteignant plus de 100 m³/h en 1979 et plus de 300 m³/h en 1989. L'eau provient essentiellement des travaux construits dans les porphyroïdes du Castelli, notamment au niveau des dépilages situés au contact avec les schistes graphiteux.

Au niveau -60 : la recoupe (R 201) a été tracée en 1979 puis en 1980 vers le Sud pour reconnaître des minéralisations dans les micaschistes. Ce traçage a été arrêté suite à de fortes venues d'eau (environ 50 m³/h), qui se sont maintenues pendant toute l'exploitation. « Géologiquement ces venues d'eau sont vraisemblablement à mettre en relation avec la fracturation, la plus récente, de direction N 30'E surtout quand elle recoupe les bancs quartzitiques plus compétents de l'unité des micaschistes. »

Dans les niveaux les plus profonds de la mine (en dessous de N-160), les travaux miniers recoupent les micaschistes et atteignent le granite : les venues d'eau sont alors en liaison avec les structures plus ou moins minéralisées en uranium mais le débit est relativement inférieur à celui constaté dans les porphyroïdes de la mine.

Page: 43/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

Concernant la qualité des eaux, des analyses de la teneur en NaCl des eaux ont été effectuées dans la mine. Globalement, on remarque que l'eau est devenue de plus en plus salée avec la profondeur, comme le montre le tableau suivant :

Lieu de prélèvement	Teneur moyenne en NaCl
Début de descenderie	0,8 g/l
Entre le niveau -40 et le niveau -60 dans la descenderie (fin 1979)	7 à 15 g/l
Descenderie sous le niveau -90	20 g/l
Niveau 130	25 g/l
Au fond de la mine (autour de N-200)	25 g/l

[«] Cependant, il ne semble pas que cette évolution globale des salinités avec l'approfondissement de la mine reflète bien la salinité originelle des eaux avant les travaux miniers. En effet, il semble qu'à l'intérieur des porphyroïdes, l'eau douce avançait davantage vers la mer : par exemple une mesure faite en R 402 au niveau 90 en zone "stérile" montre une teneur de 1,4 g/l. Il semble au contraire que les travaux de dépilage effectués trop au contact schistes-porphyroïdes ont provoqué l'invasion par les eaux profondes et salées, le long des structures plus ou moins minéralisées à ce contact.

[...]

On voit donc qu'il y a eu, dès le début des travaux miniers une "avancée" rapide des eaux salées, le front "eau salée - eau douce" devant être initialement beaucoup plus près de l'Océan. »

Les analyses d'eau et les observations effectuées sur les sondages profonds réalisés en 1980 ont montré :

- la confirmation des observations précédentes sur la circulation des eaux profondes et salées ;
- qu'à partir des relevés piézométriques, l'unité géologique des porphyroïdes de la mine est relativement indépendante : le rabattement de la nappe se faisait beaucoup plus rapidement que dans les schistes graphiteux et les micaschistes.
- une relation directe entre le niveau piézométrique des sondages recoupant les micaschistes au Sud de la mine, et les marées, confirmant l'importance des structures N 30° probablement responsables des arrivées d'eau de la recoupe 201 (niveau -60).

L'ensemble de ces observations hydrogéologiques permet de conclure qu'il existe une certaine indépendance des différentes unités géologiques :

- les porphyroïdes du Castelli constituent l'aquifère le plus important, peu (ou pas) perturbé par les travaux miniers
- les porphyroïdes de la Mine, initialement bon aquifère, a été largement perturbé par les travaux miniers. La nappe a été largement rabattue, entraînant latéralement un assèchement progressif des eaux d'arène superficielles. De plus, la limite eau douce / eau salée initialement proche de la cote et très verticale, a été fortement déplacée et portée à l'horizontal.

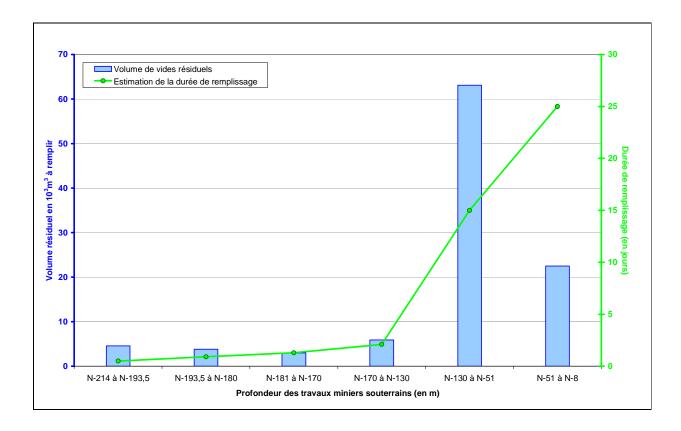
Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 44/211
---	------------	---------------

- les micaschistes du Sud sont recoupés par une fracturation ouverte dans les quartzites responsable d'arrivée d'eau significative et salée dès le niveau -60.
- Remontée des eaux dans les travaux miniers souterrains :

Il a été effectué une évaluation :

- des vides résiduels pour chaque niveau, avec un volume de vides total dans les travaux miniers souterrains évalué à 102 900 m³.
- une estimation de la durée de remplissage à partir des débits moyens observés aux différentes arrivées d'eau pendant l'exploitation.

Le graphique suivant présente la relation entre la durée estimée de remplissage et les volumes de vides résiduels pour groupes de niveaux exploités :



Le remplissage des travaux souterrains a été estimé à environ 25 jours.

• Conclusions:

« L'analyse précédente montre qu'il faut distinguer un système hydrogéologique "profond" constitué par deux principaux aquifères : les porphyroïdes de la mine (affectés par les travaux miniers) ainsi que les porphyroïdes du Castelli (peu affectés par les travaux miniers) et un système hydrogéologique "superficiel" constitué par les "arènes" superficielles (et assez largement affecté par les travaux miniers).

Sans être tout à fait indépendants, ces systèmes ont une dynamique propre :

 A la remontée des eaux dans la mine, l'eau du système "profond" poussée par la charge de l'Océan, va envahir d'abord rapidement les vides de toutes les galeries et travaux miniers puis plus lentement les terrains fracturés qui les encaissent essentiellement dans les porphyroïdes de la mine.

Ces eaux profondes, salées (à une teneur voisine de 25 g/l), vont monter jusqu'à un niveau très voisin du niveau de la mer. Avec le temps (plusieurs années), les eaux profondes "continentales", mises en charge plus loin et en amont sous les reliefs terrestres, reprendront le "dessus" sur les eaux "marines" : l'interface eau salée - eau douce reprendra à terme sa limite originelle proche de l'Océan.

Ces eaux profondes vont donc rapidement, passé le temps du noyage de la mine, avoir une très faible dynamique.

Par ailleurs elles n'ont pas de possibilité de résurgence dans l'environnement dans la mesure où la mine à ciel ouvert est bouchée. Ces eaux n'ont donc pratiquement de liaison avec l'environnement que si les puits [fermiers] descendent sous le niveau 0.

• Au-dessus du niveau de la mer, ce sont les eaux superficielles terrestres qui alimentent les "nappes d'arène".

Après la remontée des eaux "profondes" dans la mine, ces eaux "superficielles" viendront donc charger les arènes de surface progressivement en "glissant" au-dessus des eaux profondes. »

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.

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).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

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

- L'obtention d'un titre minier :
 - o 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 de la Loire-Atlantique 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 des sites du Chardon et de l'Ecarpière, ainsi que la mine à ciel ouvert dite « Est » de l'Ecarpière.
 - 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 d u 04 juillet 1972.
 - Ce décret concerne les sites de Pen Ar Ran, la Métairie Neuve, Keroland, la Garenne et Saint-Nom, ainsi que les mines à ciel ouvert du site du Chardon.
- Pour la période de 1980 à 1995 : décret n°80-330 d u 07 mai 1980.
 - Ce décret concerne les MCO dites « Le Moine », « Braudière », et « Le Tail » du site de l'Ecarpière, ainsi que les sites les Mortiers, Tesson, Coispean, le Cormier et Kervin.

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.

→ 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 48/211
---	------------	---------------

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.

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 nonrenouvellement 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®0-330 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).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 49/211
Dian civilonian Citos illinois de Zene / Maringae	20/02/20:2	. ago, =

Parmi les intérêts mentionnés à l'article L.161-1du 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 1 er de la Loi n\u00a76-629 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, rela tif 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).

Page: 50/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

Toutefois des mesures peuvent encore être prescrites après ce donner acte lorsque des évènements 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 n²2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux trava ux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et stockages souterrains.

Le décret nº2006-649 du 2 juin 2006 encadre les dis positions 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 de la Loire-Atlantique, 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 : « 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. »
Mai 1980 à mai 1995	Décret n%0-330 du 7 mai 1980	Procédures de délaissement et d'abandon
A partir de mai 1995	Décret nº95-696 du 9 mai 1995	Procédure d'arrêt définitif des travaux miniers
A titre indicatif : A partir de juin 2006	Décret nº2006-649 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. ».

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02	9/02/2012	Page : 51/211
---	-----------	---------------

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®0-331 du 7 Mai 1980 complété par le décret n®0-222 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 de la Loire-Atlantique. 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 de la Loire-Atlantique 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.

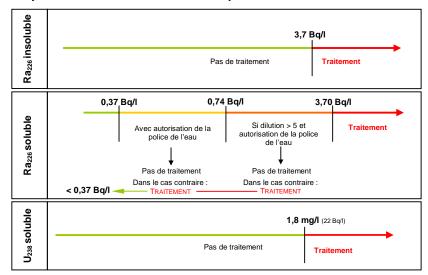
En ce qui concerne les produits solides, de manière très générale, le décret n°90-222 précité dispose que « Les dépôts de minerais et de déchets ayant une teneur en uranium supérieure à 0,03%, de minerais lixiviés, de résidus des opérations de traitement, de produits provenant des bassins de réception 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° 90-2 22 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 a nnuelles :

- 3,7 Bg/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 Bg/l.
 - 0,74 Bq/l si la dilution du rejet par le cours d'eau récepteur est inférieure à 5,
 - 3,70 Bq/l si la dilution du rejet par le cours d'eau récepteur est supérieure à 5.

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 :

A - Nomenclature des installation classées N°			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 plusie urs radionucléides sont utilisés, le rapport Q (sans dimension) est calculé d'après la formule : Q = Σ (A _I / Aex) dans laquelle : A représente l'activité totale (en Bq) du radionucléide i Aex 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 montionnées 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 nucléaires 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 ⁴ . 2. La valeur de Q est égale ou supérieure à 1 et strictement inférieure à 10 ⁴ .	A	1	Le rapport Q tel que défini au 3º) de la rubriqu e 1700 de la nomenciature étant : a) supérieur ou égal à 10 ⁶ b) supérieur ou égal à 10 ⁶	3 1
4725		D			
1735	Substances radioactives (dépôt, entreposage ou stockage de) sous forme de résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium, ainsi que leurs produits de traitement ne contenant pas d'uranium enrichi en isotope 236 et dont la quantité totale est supérieure à 1 tonne	А	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

Version 18 - Janvier 2010

Page: 54/211

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
	1

⁽²⁾ Rayon d'affichage exprimé en kilomètres

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 ».

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

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 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	Protection de l'eau et de la nature, gestion des déchets			
rolices transversales	Radioprotection			

3.2 PLAN 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) [13]:

- 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 56/211
---	------------	---------------

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 [14]

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 ræsembler 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.

Page: 57/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012

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 un 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 de la Loire-Atlantique, prescrit à AREVA NC par arrêté préfectoral du 07 juin 2010 (Annexe 6), s'inscrit parfaitement dans le cadre de l'axe 2 de cette circulaire.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 58/211
---	------------	---------------

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

Les travaux de reconnaissance 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 sondages et tranchées, consistant principalement à étudier les indices mis en évidence par la prospection de surface et le cas échéant à en extraire les minéralisations.
- les travaux de reconnaissance par petits chantiers, consistant 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).

Le tableau suivant présente les sites ayant fait l'objet de travaux de reconnaissance sur le département de la Loire-Atlantique :

Secteur	Sites miniers	Périodes d'exploitation	Nature des travaux
Guérande	La Garenne	1975	Tranchée
Guerande	Saint Nom	1978	Tranchée
Piriac-sur-Mer	Kervin	1983	Tranchée

4.1.2 Exploitation souterraine

L'infrastructure d'accès aux mines souterraines, dans le département de la Loire-Atlantique, 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 de la Loire-Atlantique :

Sites miniers	Période d'exploitation	Méthodes d'exploitation
L'Esserière	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. Différentes méthodes de dépilages utilisées suivant les périodes : • 1952-1959 : Chambres magasins
L'Ecarpière		 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)
Le Chardon 1957 – 1991 Le Chardon 1957 – 1991 Creuse galerie Différer Tran cime Char Abat Char Plan		Creusement de 2 puits et 2 descenderies accompagnés d'un réseau de galeries sur 13 niveaux. Différentes méthodes de dépilages selon les quartiers : • Tranche montante remblayée (remblayage hydraulique ou graveciment / stériles) charpentée, boulonnée ou par foration verticale • Chambre Magasin • Abattage stot par stot • Chambre vide charpentée • Plan incliné minerai • Tranche descendante remblayée (sous grave-ciment)
Pen Ar Ran 1977 – 1990		Creusement d'une descenderie accompagnée d'un réseau de galeries sur 9 niveaux. Dépilages exploités par tranches montantes remblayées

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 60/211
---	------------	---------------

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 radiamétrique 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) :

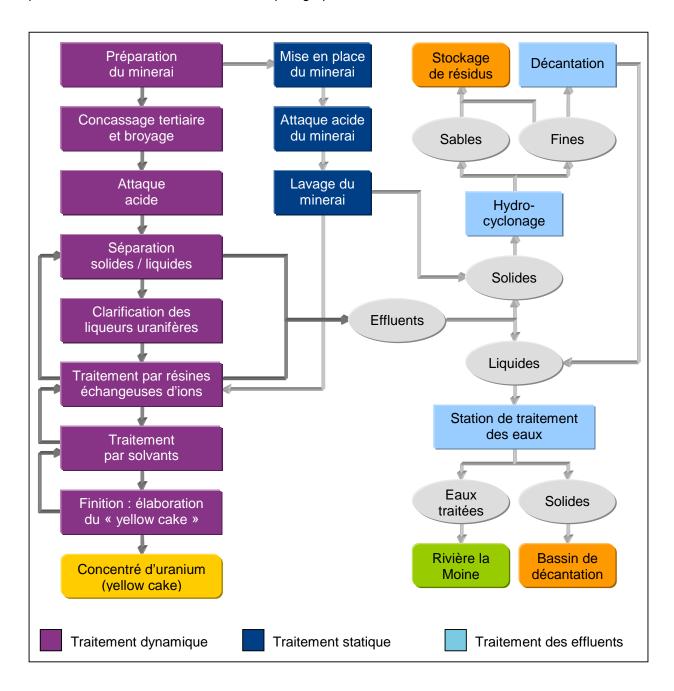
Site minier	Période d'exploitation	Nom du chantier	Tonnage brut extrait
	1962 - 1966	MCO Est	630 000 t
L'Eggraière	1985 - 1987	MCO le Moine	585 000 t
L'Ecarpière	1986 - 1990	MCO Braudière	2 202 000 t
	1987 - 1989	MCO Le Tail	3 130 000 t
	1957 - 1991	MCO Le Chardon	3 044 260 t
Le Chardon	1976 - 1978	MCO Racine Sud	1 432 051 t
Le Chardon	1979	MCO Racine Centre	62 767 t
	1980 - 1981	MCO La Margerie	56 166 t
Les Mortiers	1981 - 1982	MCO	310 000 t
Kercredin	1985	MCO	56 787 t
Keroland	1975 - 1976	MCO	67 000 t
Métairie Neuve	1977 - 1978	MCO	64 193 t
Tesson	1985	MCO	227 309 t
Coispean	1985	MCO	10 000 t
Le Cormier	1982 - 1983	MCO	320 000 t
Pen Ar Ran	1975 - 1976	MCO	55 000 t

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 61/211
---	------------	---------------

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.



4.2.1 Le traitement dynamique

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

La préparation 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 broyage

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 séparation 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 épaississeurs 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 uranifères

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 63/211
---	------------	---------------

Le traitement par résines échangeuses 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'élaboration du concentré 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.

Page: 64/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

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 achevée, 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 durant 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 MINIERS

5.1 GENERALITES

Les activités minières uranifères du département de la Loire-Atlantique comprennent 13 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),
 - o De travaux miniers souterrains (creusement d'environ 43 km de galeries),
 - o D'une usine de traitement (traitement dynamique et aires de lixiviation en tas),
 - o D'un stockage de résidus de traitement du minerai ;
- Sur le site du Chardon :
 - De 4 mines à ciel ouvert d'importance inégale (56 000 à 3 000 000 tonnes brutes extraites),
 - o De travaux miniers souterrains (creusement d'environ 27 km de galeries).

L'emprise des terrains concernés par les sites miniers de Loire-Atlantique représente une surface totale d'environ 306 hectares, dont 240 hectares pour le site de l'Ecarpière.

Afin d'établir ce bilan de fonctionnement des sites miniers de la Loire-Atlantique, 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 6.

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 à 112.

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 de l'été et l'automne 2011 sont également présentées en Annexe 2.

L'emplacement des sites miniers et des concessions en cours de validité est figuré sur le plan n^a. Des zooms cartographiques replaçant les sites dans leur environnement proche sont présentés en Annexe 3. Ces cartes ont été réalisées sur fonds IGN géoréférencés à partir de cartes détaillées d'exploitation et de fonds topographiques précis.

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 68/211
---	------------	---------------

5.2 SITUATION REGLEMENTAIRE DES SITES ET INSTALLATIONS ARRETEES

5.2.1 Titres miniers

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

Site minier	Période(s) d'exploitation	Dernier titre minier auquel à appartenu le site à la fin de son exploitation
L'Ecarpière	1952 – 1990	Concession de Clisson
Le Chardon	1957 – 1991	Concession de Clisson
Les Mortiers	1981 – 1982	Concession de Clisson
Kercredin	1985	Concession du Haut-Mora
Keroland	1975 – 1976	Concession du Haut-Mora
Métairie Neuve	1977 – 1978	Concession du Haut-Mora
Tesson	1985	Concession du Haut-Mora
La Garenne	1976	Concession du Haut-Mora
Saint Nom	1978	Concession du Haut-Mora
Coispean	1985	Permis d'exploitation de Coispean
Le Cormier	1982 – 1983	Permis d'exploitation de Coispean
Kervin	1983	Permis d'exploitation de Pennaran
Pen Ar Ran	1975 – 1970	Permis d'exploitation du Bichet

L'échéance des concessions du Haut-Mora et de Clisson ont été fixées respectivement au 26/04/2014 et au 31/12/2018. L'emprise de ces concessions figure sur le plan n°1. Les autres titres miniers du département ne sont plus valides.

Il n'existe aucun autre titre minier en cours de validité en Loire-Atlantique.

5.2.2 Situation administrative relative à la fermeture des sites

Sur les 13 sites miniers uranifères figurant dans ce bilan environnemental, 6 sites ont fait l'objet d'un dossier de délaissement, 3 d'une procédure d'abandon, et 1 d'un arrêt définitif des travaux. Les 3 sites ayant fait l'objet uniquement de travaux de recherches (tranchées) n'étaient 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 de la Loire-Atlantique.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 69/211
---	------------	---------------

Site minier	Procédures	Actes administratifs	Surveillance réglementaire	Servitudes
		Arrêté inter-préfectoral du 15/04/2008	OUI	OUI
	Arrêt définitif	(1 ^{er} donné acte)	Arrêté préfectoral	n 63 du 30/11/95
L'Ecarpière	des travaux	Arrêté inter-préfectoral du 30/09/2009 (2 ^{ème} donné acte) • Arrêté préfectoral N° 2008/ du 21/11/2008		N° 2008/ICPE/253
		(Arrêté inter-préfec	toral du 30/09/2009
			OUI	OUI
Le Chardon	Délaissement	Arrêté préfectoral du 21/11/1995	Arrêtés préfectoraux du 03/12/2001 et du 25/01/2002	
Les Mortiers	Délaissement	Lettre DRIRE du 30/11/1992	NON	OUI
Kercredin	Délaissement	Lettre DRIRE du 25/05/1993	NON	OUI
Keroland	Délaissement	Lettre DRIRE du 25/05/1993	NON	OUI
Métairie Neuve	Délaissement	Lettre DRIRE du 25/05/1993	NON	OUI
Tesson	Délaissement	Lettre DRIRE du 25/05/1993	NON	NON
La Garenne	Ces sites, considérés comme travaux de recherches de minime importance		NON	NON
Saint Nom	qui n'or	nt pas nécessité de procédure de fermeture.	NON	NON
Coispean	Abandon	Arrêté préfectoral du 27/03/1986	NON	NON
Le Cormier	Abandon	Arrêté préfectoral du 23/06/1986	NON	OUI
Kervin		Ce site, considéré comme travaux de recherches de minime importance qui n'a pas nécessité de procédure de fermeture.		NON
Pen Ar Ran	Abandon	Arrêté préfectoral du 19/11/1991	NON	NON

5.3 SITES MINIERS ET BASSINS VERSANTS

L'emprise des sites miniers d'une part, la localisation des points d'exutoire (naturels ou forcés) d'autre part, 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 (le Chardon, les Mortiers, Kercredin, Keroland, Métairie Neuve, Tesson, La Garenne, Le Cormier).
 - 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 verses. Leur débit est intermittent (l'Ecarpière, les Mortiers).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 70/211
---	------------	---------------

• Eaux de ruissellement ou écoulements souterrains avec points de rejets non identifiés : leur impact est jugé potentiel. (Tesson, la Garenne, Saint Nom, Coispean, Kervin, Pen Ar Ran).

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		
Le Chardon	Identifié	-		Ruisseau de la Margerie		la Sèvre
	Potentiel	-		Ruisseau	Ruisseau de la	Nantaise
Les Mortiers	Identifié	-		Ruisseau	Margerie	
Tesson	Potentiel	Etang	Etang de Ste Barbe			
Kercredin	Identifié	Etang de St	e Barbe		Ruisseau	
La Garenne	Potentiel	Etang de St	e Barbe	Ruisseau		
Saint Nom	Potentiel	Etang	Etang de Keroland	11355		
Métairie	Potentiel	Etang	Etang de Keroland			Ruisseau Le Canal
Neuve	Potentiel	Etang	Etang de Keroland			
Keroland	Potentiel	Etang	Etang de Keroland			
Le Cormier	Identifié	- Ruisseau		ıu		
Coispean	Potentiel	Etang du Bois de la Cour	Etang	Ruisseau		
Kervin	Potentiel	-				
Pen Ar Ran	Potentiel	-		Ruisseau		Océan Atlantique
reli Al Rall	Potentiel	-				

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 été et automne 2011.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 71/211
---	------------	---------------

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

Les sites sont présentés de l'amont des cours d'eau principaux vers l'aval.

5.4.1 Bassin versant de la Sèvre Nantaise

Le bassin versant de la Sèvre Nantaise comprend 3 anciens sites miniers uranifères.

Site	Période d'exploitation	Commune(s) concernée(s)	Nature des chantiers
L'Ecarpière	1952 - 1990	Gétigné (44) Saint-Crespin-sur-Moine (49)	 Travaux miniers souterrains Mines à ciel ouvert (4) Usine de traitement du minerai Stockage de résidus de traitement
Le Chardon	1957 – 1991	Gorges	Travaux miniers souterrainsMines à ciel ouvert (4)
Les Mortiers	1981 – 1982	Gorges Monnières Saint-Lumine-sur-Clisson	Mine à ciel ouvert

Ces trois sites sont décrits dans les paragraphes suivants.

• SITE DE L'ECARPIERE (FICHE 100, ANNEXES 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 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. paragraphe 4.2). Les résidus de traitement ont été stockés à proximité.

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

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 72/211
---	------------	---------------

Les travaux miniers :

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. La piste d'accès a été remblayée jusqu'à la cote NGF +40 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 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 : 57m45). 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 stocké 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 miniers 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.

Rilan environnemental -	 Sites miniers de Loire-Atlantique 	

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
- 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 - REDUCTION DES IMPACTS SUR LE VECTEUR EAU - Le site de l'Ecarpière, du présent bilan.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Travaux miniers	Ancien carreau minier	150 – 400
souterrains	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
MCO la Braudière	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

• SITE DU CHARDON (FICHE 101, ANNEXES 2.2, 3.2, 4.2 ET 5.3)

Le site du Chardon est localisé dans un paysage faiblement vallonné de prairies, de vignes et de bois. Il est situé à 1,3 km de Gorges.

Les travaux miniers ont été réalisés :

- En souterrain de 1957 à 1991, par creusement de 2 puits et 2 descenderies, accompagnés d'un réseau de galeries sur 13 niveaux
- Par mines à ciel ouvert, avec l'exploitation, de 1976 à 1983, de 4 MCO.

Les travaux de réaménagement ont été réalisés suivant le type d'ouvrages :

• Pour les travaux miniers souterrains :

- Les ouvrages de liaisons fond-jour :
- → Les ouvrages débouchant sous la zone remblayée de la MCO du Chardon :

Les montages M 312, M 328 et M 342 ont été remblayés par stériles et béton dans leurs parties supérieurs. Le fond de la MCO a ensuite été remblayé sur 15 m avec des produits stériles issus du creusement de la descenderie. Une plateforme béton recouvre 50% de la surface actuelle du fond de la MCO au niveau 65.

→ Les autres ouvrages débouchant au jour :

Ces ouvrages ont été condamnés en tête par des bouchons de grave-ciment sur une hauteur fonction de leur ouverture (au minimum trois fois leur diamètre ou largeur). Les ouvrages verticaux ont été auparavant comblés avec des stériles provenant soit de l'exploitation des travaux miniers, soit des produits de découverture de la carrière de gabbro.

Les zones de dépilages :

Les dépilages ont fait l'objet d'un remblayage partiel avec, selon les quartiers, des stériles et/ou des sables provenant du site de l'Ecarpière. Suite à un effondrement en mars 1992, dû à l'écoulement de sable de remblayage et à l'effondrement de la bande médiane, un périmètre de sécurité a été mis en place. Ce périmètre a été déterminé lors de l'étude des causes de l'affaissement spontané et massif survenu sur le carreau du Chardon réalisée par E. TINCELIN. Le cratère formé a fait l'objet d'un remblayage avec du tout-venant en 1993.

· Pour les mines à ciel ouvert :

• Les mines à ciel ouvert Racine Sud et Racine Centre

Les mines à ciel ouvert de la Racine ont été réaménagées lors de l'exploitation de la MCO du Chardon par remblayage total avec des stériles issus de cette dernière.

• La mine à ciel ouvert du Chardon

La mine à ciel ouvert du Chardon a été remblayée en partie au Sud-Ouest avec des produits terrigènes inertes provenant du chantier de terrassement routier et du criblage de la verse de la Racine. La fosse est actuellement en eau.

Un accès a été aménagé afin d'installer un système de gestion du niveau d'eau de la mine souterraine par pompage dans la MCO afin d'éviter toute émergence dans le milieu naturel.

L'emprise de la mine à ciel ouvert est entièrement clôturée incluant la zone de sécurité définie par M. TINCELIN suite à l'effondrement survenu sur le carreau en mars 1992.

Une signalisation est en place autour de la MCO indiquant « Accès interdit », Un panneau d'information concernant le site minier est placé au portail d'accès.

• La mine à ciel ouvert de la Margerie

La mine à ciel ouvert de la Margerie a été remblayée intégralement.

• Pour le carreau minier et les autres installations de surface :

Dans un premier temps, les bâtiments (bureaux, vestiaires, garage, ateliers et magasins) ont été conservés, ils ont été déconstruits en 2004.

Les autres installations présentes sur le carreau (station de remblayage hydraulique, trémies, chevalement et station de traitement des eaux) ont été démantelées. Le matériel a été acheminé sur le site de l'Ecarpière, ou vers d'autres sites miniers uranifères pour réutilisation.

Les 4 bassins de décantation ont fait l'objet d'un assainissement radiologique, deux d'entre eux ont ensuite été comblés avec des produits de découverte de la carrière de gabbro.

Le ruisseau de la Brécholière s'écoule à 100 m au Sud du site, il rejoint le ruisseau de la Margerie situé en bordure Est du site qui se jette dans la rivière Sèvre Nantaise.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors de la visite d'état des lieux de 2011. *

Un pompage est réalisé annuellement dans la mine à ciel ouvert du Chardon, actuellement en eau, avec rejet dans le ruisseau de la Margerie pour éviter l'apparition de toute émergence dans l'environnement.

Bilan environnemental –	Sites miniers	s de Loire-Atlantique

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
A l'aplomb des travaux miniers souterrains	60 - 150
Mine à ciel ouvert du Chardon (partie remblayée)	80 – 100
Mines à ciel ouvert la Racine Sud et Centre et la Margerie	Absence de mesures Entreposage de produits et matériel issus de la carrière de gabbro
Verse à stériles	250 – 1250

• SITE DES MORTIERS (FICHE 102, ANNEXES 2.3, 3.2, 4.3 ET 5.3)

Le site des Mortiers, situé à 2,4 km au Nord-Ouest de Saint-Lumine-de-Clisson, est localisé dans un paysage légèrement vallonné de prairies et vignobles.

Les travaux, effectués de 1981 à 1982, ont consisté au creusement d'une mine à ciel ouvert de 30 m de profondeur.

Les réaménagements ont consisté en :

- Un comblement de la partie Ouest de la fosse dès la fin de l'exploitation. La partie Est a été aménagé en plan d'eau d'une profondeur de 8 m et la verse à stériles a été remodelée;
- Un décapage, en 1991, de l'ancienne aire de stockage du minerai ;
- La mise en place d'une clôture du site en 1992.

Un panneau a été mis en place à l'entrée du site, afin d'informer le public sur le risque de noyade lié au plan d'eau, ainsi que sur la mise en place de servitudes de droit privé sur l'ancienne emprise de la mine.

La verse à stériles et la partie remblayée de la MCO sont utilisées comme terrain de moto-cross. Une déchèterie clôturée et règlementée a été installée au niveau de l'ancien carreau minier, au NE de la MCO.

Le ruisseau de la Brécholière prend sa source à quelques centaines de mètres du site. Il se jette dans le ruisseau de la Margerie, affluent de la rivière la Sèvre Nantaise.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors de la visite d'état des lieux de 2011. Un exutoire a été mis en place en cas de débordement de la MCO lors de très fortes pluies.

Des mesures au SPPγ ont été effectuées au cours des visites d'état des lieux en 2011. Le bruit de fond est de l'ordre de 60 à 80 chocs/s. Les valeurs mesurées sur le site sont présentées dans le tableau suivant.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 77/211
---	------------	---------------

Secteurs	Valeurs radiométriques (mesurées en chocs/seconde SPPγ)
Pourtour de la MCO en eau	100 – 800
Aire de stockage du minerai	180 à 350
Ancienne aire à stériles	90 – 380 (ponctuellement 500 sur 8 m²)
Déchèterie	80 - 100 (ponctuellement 280)
Reste du site	60 – 90 (ponctuellement 350)

5.4.2 Bassin versant du ruisseau du Canal

Le bassin versant du ruisseau du Canal comprend 8 anciens sites miniers uranifères.

Site	Période d'exploitation	Commune(s) concernée(s)	Nature des chantiers
Tesson	1985	Guérande	Mine à ciel ouvert
Kercredin	1985	Guérande	Mine à ciel ouvert
La Garenne	1976	Guérande	Travaux de recherches (tranchée)
Saint Nom	1978	Guérande	Travaux de recherches (tranchée)
Métairie Neuve	1977 – 1978	Guérande	Mine à ciel ouvert
Keroland	1975 – 1976	Guérande	Mine à ciel ouvert
Le Cormier	1982 – 1983	Saint Molf	Mine à ciel ouvert
Coispean	1985	Turballe	Mine à ciel ouvert

Ces huit sites sont décrits dans les paragraphes suivants.

• SITE DE TESSON (FICHE 106, ANNEXES 2.7, 3.3, 4.7 ET 5.4)

Le site de Tesson est situé à 1,4 km au Nord-Ouest de Guérande. Il est situé dans un paysage légèrement vallonné, composé de bois et de quelques prairies.

Le site a exploité en 1985 par mine à ciel ouvert, d'une profondeur maximale de 25 m.

Les travaux de réaménagement ont consisté en un adoucissement des contours de la mine et en un comblement de la tranchée d'accès. Le site constitue aujourd'hui un plan d'eau.

Une couche de terre végétale a été mise en place, et un bois de chênes et de pins a été créé.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 78/211
---	------------	---------------

Le ruisseau le Canal s'écoule à 800 m au Nord du site. Il se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Etier du Pont d'Arm.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Autour de la mine à ciel ouvert	90 – 140
Reste du site	80 – 100

• SITE DE KERCREDIN (FICHE 103, ANNEXES 2.4, 3.3, 4.4 ET 5.4)

Le site de Kercredin est localisé à 1,8 km au Nord-Ouest de Guérande, dans une zone légèrement vallonnée de prairies, de cultures et de quelques bois.

Le site a fait l'objet en 1985 d'une exploitation par mine à ciel ouvert, d'une profondeur maximale de 22 m.

Il a été réaménagé par adoucissement de la pente du monogradin et comblement de la tranchée d'accès. Une couche de terre végétale a été mise en place.

L'ancienne mine est aujourd'hui en eau. Elle est utilisée pour l'arrosage de cultures maraichères.

Le ruisseau le Canal s'écoule au Nord du site. Il se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Étier du Pont d'Arm.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Autour de la mine à ciel ouvert	90 – 140
Reste du site	80 – 100

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 79/211
---	------------	---------------

• SITE DE LA GARENNE (FICHE 107, ANNEXES 2.8, 3.3, 4.8 ET 5.4)

Le site de la Garenne est situé dans une zone de bois et de prairies, à 2 km au Nord-Ouest de Guérande.

Des travaux de reconnaissance ont été menés, en 1976, par creusement d'une tranchée.

Suite à la demande du propriétaire du terrain, cette tranchée a dans un premier temps été conservée en eau. Elle a ensuite fait l'objet, en 2010, d'un remblayage.

Un fossé, situé à proximité immédiate du site, rejoint le ruisseau le Canal qui se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Étier du Pont d'Arm.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Emprise de l'ancienne tranchée	150 – 250
Autour de l'ancienne tranchée (zones non exploitées)	300 – 1450 (moyenne : 500)

• SITE DE SAINT NOM (FICHE 108, ANNEXES 3.3, 4.6 ET 5.4)

Le site de Saint Nom est situé à 2,5 km de Guérande, dans un paysage de bois et de prairies présentant un vallonnement adouci.

Le site a fait l'objet des travaux de reconnaissance, en 1978, par creusement d'une tranchée.

Cette tranchée a été intégralement remblayée, et a retrouvé son usage agricole d'origine.

Un étang est situé en aval hydraulique du site. La surverse de cet étang forme un ruisseau qui se jette dans l'étang de Keroland, puis dans l'étang du Cardinal, avant de se jeter dans le ruisseau du Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 80/211
---	------------	---------------

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Emprise de l'ancienne tranchée	80 – 100

• SITE DE LA METAIRIE NEUVE (FICHE 105, ANNEXES 2.6, 3.3, 4.6 ET 5.4)

Le site de la Métairie Neuve est localisé dans un paysage faiblement vallonné de prairies, de cultures et de quelques bois. Il est situé à 2,5 km au Nord-Ouest de Guérande.

Une mine à ciel ouvert de 15 m de profondeur a été exploitée en 1977 et 1978 sur ce site.

A la fin de l'exploitation, les pentes du contour de la mine ont été adoucies, et la tranchée d'accès a été remblayée. Une couche de terre végétale a été mise en place. Le site constitue aujourd'hui un plan d'eau clôturé utilisé pour l'arrosage de cultures.

Un étang est situé en aval hydraulique du site. La surverse de cet étang forme un ruisseau qui se jette dans l'étang de Keroland, puis dans l'étang du Cardinal, avant de se jeter dans le ruisseau du Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPy 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 SPPγ)
Autour de la mine à ciel ouvert	90 – 140 (ponctuellement 450 sur 3 m² à l'entrée au niveau de la pompe)
Reste du site	80 – 100 (Point ponctuel à 450 en bordure de route)

• SITE DE KEROLAND (FICHE 104, ANNEXES 2.5, 3.3, 4.5 ET 5.4)

Le site de Keroland est situé à 2,7 km au Nord-Ouest de Guérande, dans un paysage légèrement vallonné de prairies, cultures et quelques bois.

Le site a été exploité de 1975 à 1976 par mine à ciel ouvert d'une profondeur d'environ 26 m.

Le réaménagement du site a consisté en un adoucissement du contour de la fosse et un comblement de sa tranchée d'accès. De la terre végétale a été mise en place. Le site constitue aujourd'hui un plan d'eau, utilisé pour l'arrosage de cultures céréalières.

Le site est situé en amont de deux petits étangs qui alimentent un ruisseau. Ce dernier traverse l'étang de Keroland, puis se jette dans l'étang du Cardinal, situé sur le cours du ruisseau le Canal.

Lors de la visite d'état des lieux de 2011, aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site.

Des mesures au SPPy 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 SPPγ)
Autour de la mine à ciel ouvert	90 – 180
Reste du site	80 – 100

AIRE DE STOCKAGE DES MINERAIS DES MINES DU SECTEUR DE GUERANDE

Les mines de Tesson, Kercredin, la Garenne, la Métairie Neuve et Keroland possédaient une aire de stockage des minerais commune. Cette aire est située au centre des sites précédemment cités, à 700 m à l'Ouest du site de Tesson. Elle est actuellement recouverte d'une végétation dense de ronces et d'épineux.

Des mesures au SPPγ ont été réalisées, lors des visites d'état des lieux de 2011, au niveau des zones accessibles de l'aire de stockage. Le bruit de fond est de l'ordre de 80 à 100 chocs/s.

Secteurs	Valeurs radiométriques (mesurées en chocs/seconde SPPγ)
Aire de stockage du minerai Sites de Tesson, Kercredin, la Garenne, la Métairie Neuve et Keroland	150 – 350 au niveau de l'entrée Reste de l'aire inaccessible (végétation)

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/	29/02/2012	Page : 82/211
---	------------	---------------

• SITE DU CORMIER (FICHE 110, ANNEXES 2.10, 3.4, 4.10 ET 5.4)

Le site minier le Cormier est situé à 2,6 km de Saint Molf. Il est localisé dans un paysage faiblement vallonné de prairies, de cultures et de quelques bois.

Les travaux ont consisté en l'exploitation, de 1982 à 1983, d'une mine à ciel ouvert d'une profondeur maximale de 27 m.

En fin d'exploitation, le contour de la mine a été adouci, la tranchée d'accès a été comblée et de la terre végétale a été mise en place. Le site correspond aujourd'hui à un plan d'eau clôturé et utilisé pour l'arrosage de cultures.

Un ruisseau traverse le site et se jette dans le ruisseau le Canal à 800 m au Nord-Ouest. Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Autour de la mine à ciel ouvert	90 – 120
Aire de stockage du minerai	150 – 250 (ponctuellement 750 sur 2 m²)
Ancienne emprise de la verse à stériles	90 – 150
Reste du site	80 - 100

• SITE DE COISPEAN (FICHE 109, ANNEXES 2.9, 3.4, 4.9 ET 5.4)

Le site de Coispean, situé à 3,4 km au Nord-Est de la Turballe, est localisé dans le hameau de Coispean.

En 1985, le site a fait l'objet d'une exploitation par mine à ciel ouvert, d'une profondeur maximale de 15 m.

Les travaux de réaménagement ont été réalisés dès la fin de l'exploitation, en 1985. L'excavation a été comblée avec les stériles extraits. Une couche de terre végétale a été mise en place sur l'ensemble de l'emprise de l'ancienne MCO. Le site a ensuite fait l'objet d'un ensemencement.

Le site était utilisé comme aire collective de jeux jusqu'à l'été 2011. Cette aire de jeux est aujourd'hui démontée.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 83/211
---	------------	---------------

Un étang est situé à 300 m au Nord-Est du site. Sa surverse se jette dans un ruisseau qui alimente l'étang du Bois de la Cour puis l'étang de Bel-Air et se jette dans le ruisseau le Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite de 2011.

Des mesures au SPPγ 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 SPPγ)
Emprise de l'ancienne mine à ciel ouvert	100 – 170 (ponctuellement 200 - 250 sur 10 m²)
Reste du site	80 - 100

5.4.3 Zone côtière de Piriac-sur-Mer

La zone côtière de Piriac-sur-Mer comprend 2 anciens sites miniers uranifères.

Site	Période d'exploitation	Commune(s) concernée(s)	Nature des chantiers
Kervin	1983	Piriac-sur-Mer	Travaux de recherches (tranchée)
Pen Ar Ran	1975 – 1990	Piriac-sur-Mer	Travaux miniers souterrains Mine à ciel ouvert

Ces deux sites sont décrits dans les paragraphes suivants.

• SITE DE KERVIN (FICHE 111, ANNEXES 2.11, 3.5, 4.11 ET 5.5)

Le site de Kervin est situé dans un paysage légèrement vallonné de prairies et de bois, à 1 km à l'Est de Piriac-sur-Mer.

En 1983, une tranchée a été réalisée sur le site dans le cadre de travaux de recherches.

Cette tranchée a fait l'objet d'un remblayage intégral.

Le site a retrouvé sa vocation agricole initiale.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 84/211
---	------------	---------------

Le site est situé dans une zone côtière. Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPy ont été effectuées au cours de la visite de 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 SPPγ)
Emprise de l'ancienne tranchée	200 – 250
Reste du site	80 - 100

• SITE DE PEN AR RAN (FICHE 112, ANNEXES 2.12, 3.5, 4.12 ET 5.5)

Le site de Pen Ar Ran est situé en périphérie de Piriac-sur-Mer, à 300 m du bord de mer, dans un quartier résidentiel.

Le site a fait l'objet d'une exploitation :

- De 1975 à 1976 par mine à ciel ouvert, d'une profondeur maximale de 20 m,
- De 1977 à 1990 par travaux miniers souterrains, avec le creusement d'une descenderie et de deux montages accompagnés d'ouvrages techniques (cheminée, Robbins) et d'un réseau de galeries sur 9 niveaux.

La mine à ciel ouvert a été intégralement remblayée avec une partie des matériaux constituant la verse à stériles, puis nivelée selon la topographie environnante.

L'ensemble des ouvrages de liaison fond-jour ont été obturés.

Les installations de surface ont été démantelées. Les boues des bassins de décantations ont été évacuées sur le site de l'Ecarpière.

Une partie des terrains a été recouverte d'une couche de terre végétale, puis a fait l'objet d'un ensemencement.

Une partie du site a été goudronnée et est utilisée ponctuellement comme parking.

Un ruisseau intermittent prend sa source au niveau d'un petit étang localisé en bordure de la route D333, puis coule en direction de l'étang de la Prée. De là, il s'écoule en bordure Est du site, via une canalisation enterrée (d'environ 650 m de longueur) jusqu'à la côte atlantique.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Des mesures au SPPγ 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 85/211
---	------------	---------------

Secteurs	Valeurs radiométriques (mesurées en chocs/seconde SPPγ)	
Carreau de la mine	90 – 140 (un point ponctuel à 40 000 c/s au sol, sur l'aire goudronnée)	
Emprise de l'ancienne verse à stériles	120 – 320	
Emprise de mine à ciel ouvert	90 – 150	
Extrémité NE du site (buse béton) 600 – 1200 sur 10 m²		
Reste du site	80 – 100	

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 – Teneur 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 <u>les stériles francs</u>. 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 <u>les stériles de sélectivité</u>, 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 (département 49) et Ecarpière. L'ensemble de ces stériles (« francs » et dit « de sélectivité ») ont été misen 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 figurent sur le tableau suivant :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 87/211
---	------------	---------------

PROVENANCE	Période de Radiométrie moyenne		TENEUR (ppm)			
PROVENANCE	cession	(en c/s SPP2)	Min	Max	Moy	
ECARPIERE (44 / 49)	1984 - 1990	577	15	106	59	
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	
BACONNIERE (49)	1984 - 1996	408	-	-	49	
Anjougerie (49)	1984 - 1988	366	-	-	33	
BONNIERE (49)	1984 - 1985	498	16	87	26	
COMMANDERIE (79 / 85)	1984 - 1996	482	5	150	71	
POITOU-LA-GABRIELLE (85)	1986 - 1987	484	37	93	69	
BEAUREPAIRE (85)	-	-	60	60	60	
Dorgessière (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 apparait 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 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);

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 88/211
---	------------	---------------

- 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 (cm, dm) 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'ajoute des reliques de minéralisation, disséminées ou le plus souvent fissurales : pyrite altérée couverte d'hématite, chalcopyrite, 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 paragénèse 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

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 de la Loire-Atlantique à environ 12 500 000 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 m/s = 1/1), avec respectivement 88 % et 12 % 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.

Bilan environnemental – Sites miniers	de Loire-Atlantique
---------------------------------------	---------------------

Sites miniers	Remblayage		Sites actuellement	Verse à stériles
Sites miniers	МСО	concernés par un verse à stériles		ayant fait l'objet d'une cession
L'Ecarpière	✓	✓	✓	✓
Le Chardon	Partiellement	✓	✓	✓
Les Mortiers	Partiellement	NC	✓	✓
Kercredin, Keroland, Métairie Neuve, Tesson, Le Cormier	Partiellement	NC	NON	✓
Saint Nom, Kervin, La Garenne	✓	NC	NON	NON
Coispean	✓	NC	NON	✓
Pen Ar Ran	✓	✓	NON	✓

De cette manière, sur les 13 sites présentés dans le présent bilan, seuls 3 sites sont aujourd'hui concernés par la présence d'une verse à stériles : l'Ecarpière, le Chardon et les Mortiers.

Le tableau suivant met en évidence la nature du réaménagement effectué pour chacune des verses, et les mesures radiométriques réalisées au SPPy au cours des visites de terrain de 2011.

Sites miniers	Aspect actuel de la (des) verse(s)	Réaménagements	Radiométrie en chocs/s SPPγ	Estimation du débit de dose en nGy/h ⁽¹⁾	Remarques
L'Ecarpière	Verses remodelées	Verses remodelées selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemencement	130 – 950	184 – 668	Remodelées selon la topographie avoisinante
Le Chardon	Verse résiduelle	Verse à stériles résiduelle située à l'Est de la MCO du Chardon Sans remodelage particulier A fait l'objet pour partie d'une cession	250 – 1 250	255 – 845	Présence d'une verse liée à la carrière de Gabbro, et non à l'exploitation minière du site
Les Mortiers	Verse	Verse à stériles située au Nord de la MCO Remodelage suivant la topographie environnante	90 – 380 (ponctuellement 500 sur 8 m²)	160 – 331 (ponctuellement 402 sur 8 m²)	Actuellement utilisée comme terrain de moto-cross

⁽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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/	29/02/2012	Page : 90/211
---	------------	---------------

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 du Cormier en 1992.

6.2 LES RESIDUS DE TRAITEMENT

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

- Traitement par lixiviation statique pour des minerais à faible teneur (150 à 600 ppm d'uranium),
- 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlant	ique	29/02/2012	Page :
Dilan chiviloninemental — Oltes milliers de Lone-Atlant	ique	23/02/2012	i age

91/211

6.2.1 Les résidus de traitement statique

6.2.1.1 GENERALITES ET ACTIVITES

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).

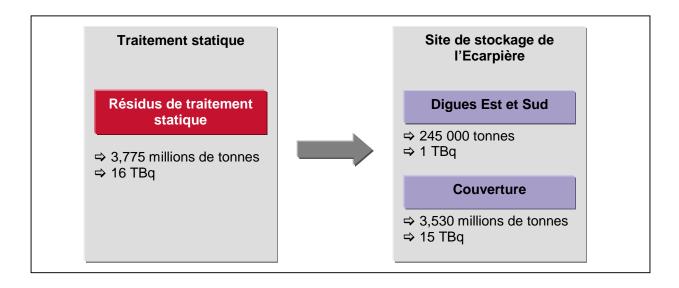
Seul un site de Loire-Atlantique a accueilli des installations de lixiviation statique en tas sur aire étanche : le site de l'Ecarpière, de 1967 à 1990, avec 3,8 millions de tonnes provenant de tous les sites exploités dans la région durant cette période.

6.2.1.2 GESTION DES RESIDUS 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 1TBq 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) :



Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

6.2.2 Les résidus de traitement dynamique

6.2.2.1 GENERALITES ET ACTIVITES

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 leurs 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 %		
Alumine	2 à 20 %		
Oxydes de fer	2 à 10 %	soit 99 % de produit	
Sulfates	5 à 8 %	radiologiquement inerte	
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	30it 1%	

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 93/211
---	------------	---------------

Analyses des radionucléides des résidus 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 :

U 238 e	n Bq/kg	Ra 226 en Bq/kg		Pb 210 en Bq/kg		Teneur équivale	
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 Ra 226 et Pb 210 non touchés par l'attaque acide et témoins de l'équilibre initial des minerais,
- Une activité en uranium liée à l'uranium résiduel non extrait (rendement usine de 95 à 97%).

Pétrographie des résidus de traitement dynamique :

Ces résidus se présentent sous forme de limons sableux composés d'éléments hérités des anciens minerais : quartz – feldspath potassique – plagioclase (albite – oligoclase) – biotite fraiche 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 :

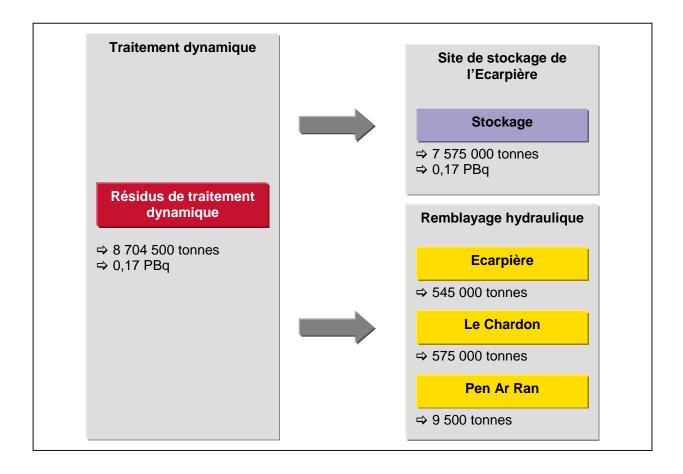
- La proportion de minéraux secondaires (sulfates, argiles, hydroxydes) au sein des stockages et leur dimension augmentent peu à peu avec le temps,
- Le développement de ces minéraux secondaires a une grande influence sur les caractéristiques physico-chimiques des résidus ; ils entraînent une diminution 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 minerai 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 94/211

6.2.2.2 GESTION DES RESIDUS 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.



Remblayage hydraulique des chantiers

Les vides créés après évacuation du minerai étaient comblés par des sables (granulométrie > 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

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
Le Chardon (44)	1966-1991	575 000
Pen Ar Ran (44)	1979-1989	9 500
то	ΓAL	1 720 000

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 résidus 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 (y compris Bretagne).

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 N 60. 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 (≈ 22 Bq.g⁻¹) ont ainsi été stockés (Fiche ANDRA N°PAY3).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 96/211
---	------------	---------------

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 million 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 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 97/211
---	------------	---------------

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 plates-formes de 1 hectare chacune, situées dans la partie sud du bassin de stockage de l'Ecarpière.

6.3.3 Boues des stations de traitement

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 000m³ 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 prélèvement	H₂0 %	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 (%)	AI (%)	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

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 98/211
---	------------	---------------

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'ouve rture 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 nº2006-649 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 installat ions 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 ;

Rilan environnemental -	 Sites miniers de Loire-Atlantique 	

5° Pour les mines, dans le cas où l'étude mentionné e 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 res ponsabilité 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 :
 - o l'existence d'ouvrages de liaison fond-jour (puits, galeries, montages ...),
 - o les risques de fontis, d'affaissement en surface,
 - o les risques de chute dans les ouvrages miniers non fermés,
- Pour les exploitations à ciel ouvert :
 - o les risques de chutes de personnes à partir des têtes de parois,
 - o les risques d'instabilité des parois,
 - o les risques d'instabilité des verses à stériles,
 - o les risques d'instabilité ou de rupture pour les digues de retenue de stockage.

7.2 LES RISQUES LIES AUX TRAVAUX MINIERS SOUTERRAINS

7.2.1 Les ouvrages de liaison fond-jour

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

7.2.1.1 <u>LES OUVRAGES VERTICAUX</u>

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'Ecarpiere :

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 mis 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 par site dans les tableaux suivants :

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			/		
M 260			/		
M 260 bis		Liaison Niv 70	1	Têtes d'ouvrage prises par l'exploitation de la MCO Braudière	
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	
M 102		27	/	travaux d'exploitation	
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			/		
M 105			/	Têtes d'ouvrage prises par l'exploitation de la MCO	
M 105 bis			/	Ecarpière Est	
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 DU CHARDON:

Un inventaire et une proposition de mise en sécurité des ouvrages verticaux débouchant au jour avait été faits dans la déclaration d'arrête définitif des travaux miniers (17 mai 1991). Les principes généraux avaient été présentés. Les configurations de remblayage ont été adaptées à chaque ouvrage. La liste et les type de mise en sécurité sont présentés dans le tableau suivant :

Ouvrage	Section Diamètre	Profondeur (m)	Type de mise en sécurité
ECO E	0,9	146	En pied : stériles surmontés par un bouchon de grave à 50 kg (h=D)
ECO F	0,9	150	Puis : stériles sur toute la hauteur En tête : bouchon de grave à 130 kg (h = 3D)
PUITS H	4,2 x 3,2	360	Bouchon de bois et échelles à 168 m : 168m à N 40 (stériles), N 40 à - 15 m (grave 50 kg), en tête (grave 150 kg + dalle)
GALINET G	2,4	306	En pied (grave 50 kg), puis sables jusqu'au Niv 120, grave à 50 kg au Niv 120, puis sables jusqu'à – 15 m. En tête : grave à 150 kg et dalle)
Robbins R 537 (D)	2,4	180	En pied : grave à 50 kg, puis stériles jusqu'à – 15 m ; En tête : grave à 150 kg
Montage R 292 (A)	< 10 m ²	10	Grave ciment à 150 kg sur toute la hauteur
Robbins R 533 (C)	2,4	186	En pied : grave à 50 kg, puis stériles jusqu'à – 15 m ; En tête : grave à 150 kg
M 214	< 10 m ²	10	Ouvrage débouchant dans le parement de la MCO (remblayage avec sable et bouchon grave à 150 kg en tête)
Accès R 190	< 10 m ²	9	Grave ciment à 150 kg sur toute la hauteur

POUR LE SITE DE PEN AR RAN:

Tous les ouvrages verticaux débouchant au jour ont été inventoriés. Le tableau suivant précise leurs caractéristiques et modalités de remblayage :

Ouvrage	Section Diamètre	Profondeur (m)	Type de mise en sécurité
M 104	2 x 1,5	8	Remblayage intégral par grave à 130 kg
Cheminée 104	0,8 x 0,9	11	Remblayage intégral par grave à 130 kg
M 100	1,6 x 1,3	24	Remblayage intégral (grave à 80 kg à la base, 130 kg sur les 15 derniers mètres
Robbins 1	2,4	140	De bas en haut : 25 m grave, 85 m matériaux tout venant, 15 m grave à 80 kg et 15 m grave à 130 kg

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 105/211
---	------------	----------------

7.2.1.2 <u>LES OUVRAGES HORIZONTAUX OU OBLIQUES</u>

Pour le site de l'Ecarpiere :

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	450t de stériles + 21m 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	/	Non traites car situes sous plus de 10 m de rembiais

POUR LE SITE DU CHARDON:

Pour le site du Chardon, les ouvrages horizontaux ou obliques sont listés dans le tableau suivant.

Ouvrage	Profondeur de comblement	Type de mise en sécurité	
Accès N 80	4	Ouvrages remblayés puis « noyés » dans le remblayage partiel de la MCO	
Desc L 395	12	Grave dans descenderie	
G 100 E	5	Ouvrages interceptés par la MCO (Niv 40) et obturé par grave à 130 kg	
G 100 W	5	Ouvrages interceptes par la MOO (MW 40) et obture par grave à 150 kg	

POUR LE SITE DE PEN AR RAN:

Pour le site de Pen Ar Ran, les ouvrages horizontaux ou obliques sont listés dans le tableau suivant

Ouvrage	Section	Profondeur de comblement	Type de mise en sécurité
Descenderie	3,5 x 3,5	30	Remblayée en grave à 130 kg

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 106/211
---	------------	----------------

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 voute,
- 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 épontes (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	H₁
1,4	2,5 H
1,5	2,0 H
1,6	1,7 H

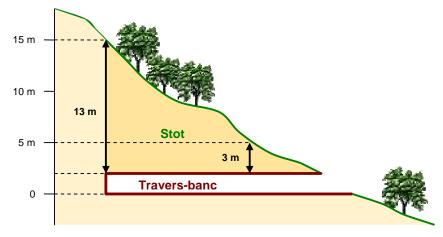
Si l'on veut avoir un coefficient de sécurité maximum, on appliquera comme critère la règle de TINCELIN (« La mécanique du foudroyage »... TINCELIN – FINE – BENYAKHLEF – 12ème congrès minier mondial – NEW DEHLI – novembre 1984) qui considère que la hauteur totale du vide disponible et du fontis (H et 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 "autoremblayage", 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'autoremblayage 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 effondrements « 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 Crouzille (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.

7.2.2.1 ANALYSE DES RISQUES SUR LE SITE DE L'ECARPIERE

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 guartier 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 (D223 et D 237) dont les stots avec la surface sont inférieurs à 30 m.

Pour le quartier Hautegente 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.

Page: 109/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012

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.

7.2.2.2 ANALYSE DES RISQUES SUR LE SITE DU CHARDON

Tous les chantiers souterrains avaient été, au cours de leur exploitation, remblayés hormis parfois la dernière tranche.

Toutefois dans la nuit du 24 au 25 mars 1992, alors que pratiquement tous les travaux souterrains étaient noyés, un effondrement important (surface = 750 m², profondeur = 25 m, volume = 12 500 m³) s'est produit sur le carreau de la mine en bordure de la MCO, entrainant 7 camions d'une entreprise de travaux publics stationnés sur le site.

Les causes ont été analysées par l'ENSMP et le scénario du phénomène a été reconstitué. Il est lié à la migration des sables de remblayage sous l'effet de l'arrivée des eaux de noyage dans les chantiers jusqu'à sa quasi-totale disparition. Il s'en est suivi un effondrement progressif dans les vides débarrassés de leur sable, puis un effondrement brusque « en tiroir » le long d'une structure géologique déjà connue pour sa mauvais tenue notamment au niveau de ses épontes (dite « Bande Médiane »)

Après une phase d'observation et de mesure de nivellements sur la « Bande Médiane » pendant un an, sans constat de mouvements supplémentaire, le cratère a été comblé avec autorisation de la DRIRE le 8 juillet 1993.

Un périmètre de sécurité a été mis en place en amont de cette zone sensible. Aucun mouvement n'a plus été constaté à ce jour.

7.2.2.3 ANALYSE DES RISQUES SUR LE SITE DE PEN AR RAN

Tous les chantiers souterrains ont été remblayés par des matériaux sableux et il ne subsiste que très peu de vides miniers. Toutefois l'évènement survenu sur le site du Chardon a conduit l'exploitant à solliciter l'avis de l'ENSMP pour évaluer le risque de migration de ces remblais.

L'analyse des risques a retenu l'existence d'une lentille (D 200) présentant un recouvrement de 15 m jusqu'au fond de la MCO, elle-même remblayée (soit un stot total de 25 à 35 m). En dépit d'absence de mouvement de surface plus de deux ans après noyage, et compte tenu de l'usage des sols et de sa sensibilité (la MCO remblayée est utilisée comme champ de foire par la commune de Piriac-sur-Mer), l'ENSMP préconisait l'exécution de sondages forés depuis la surface pour mettre en évidence l'existence éventuelle de vides dans la lentille d'une part et la hauteur atteinte par d'éventuels effondrements de voûte d'autre part.

Ces sondages ont été réalisés en 1993 et ont démontré que le noyage de la mine n'avait pas entrainé d'écoulement du sable de remblayage des tranches exploitées et que la voûte n'avait pas évolué.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 110/211
---	------------	----------------

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
	Ecarpière Est	Entièrement remblayée Légère dépression visible Absence de parement	-
L'Ecarpière	La Moine	Entièrement remblayée Située dans le lit de la Moine Absence de parement	 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	 Haut et pied du parement clôturé Panneaux signifiant le risque de chutes de pierres
	Le Tail	Partiellement remblayée Parements résiduels visibles = 30 m	Présence d'une clôture Panneaux signifiant le risque de noyade
	Racine Sud	Entièrement remblayée Sans parement visible	-
Le Chardon	Le Chardon	Partiellement remblayée En eau Parement visible = 20 m	Clôture en place autour de la fosse
Chardon	Racine Centre	Entièrement remblayée Sans parement visible	-
	Margerie	Entièrement remblayée Sans parement visible	-
Les	Mortiers	Partiellement remblayée En eau Parement remodelé en pente douce	Plan d'eau clôturé Panneaux signifiant le risque de noyade
Ke	rcredin	Partiellement remblayée En eau Parement = 1 m	Absence de clôture Végétation dense autour du plan d'eau
Ke	roland	Partiellement remblayée En eau Parement = 0,5 m	Absence de clôture Végétation dense autour du plan d'eau
Métai	rie Neuve	Partiellement remblayée En eau Parement = 1 m	Présence d'une clôture et d'une haie dense autour du plan d'eau
Tesson La Garenne		Partiellement remblayée En eau Parement = 1 m	 Absence de clôture Végétation dense autour du plan d'eau MCO incluse dans une propriété privée clôturée et interdite au public
		Tranchée entièrement remblayée	-
	nt Nom	Tranchée entièrement remblayée Entièrement remblayée	-
Coispean Le Cormier		Sans parement visible	-
		Partiellement remblayée En eau Parement = 1 m	●Plan d'eau clôturé
K	ervin	Tranchée entièrement remblayée	-
Pen Ar Ran		Entièrement remblayée Sans parement visible	-

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 111/211
---	------------	----------------

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 paragraphe 6.1, seuls 3 sites 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	 Verses remodelées selon la topographie avoisinante Ont fait l'objet d'un ensemencement 	Absence de risque de glissement (remodelage)
Le Chardon	Verse résiduelle	 Verse à stériles résiduelle située à l'Est de la MCO du Chardon Sans remodelage particulier A fait l'objet pour partie d'une cession 	Non accessible au public Faible risque de glissement
Les Mortiers	Verse	 Verse à stériles située au Nord de la MCO Remodelage suivant la topographie environnante 	Actuellement utilisée comme terrain de moto- cross Faible risque de glissement

7.5 LES RISQUES LIES AUX DIGUES

Le seul site de Loire-Atlantique 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 112/211
Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 112/211

• 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) po ur 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 diques, stockage et organes annexes.

Des visites par un consultant extérieur sont assurées depuis l'origine et font l'objet de comptesrendus 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 boites 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 boites 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 entrainé un abaissement de la nappe dans les anciens bassins qui ne peut que favoriser la stabilité déjà satisfaisante des digues.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 113/211
---	------------	----------------



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 de la Loire-Atlantique, les possibilités de marquage du vecteur eau sont résumées dans le tableau suivant :

Sites	Possibilités de marquage du vecteur eau
	 → 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
L'Ecarpière	 → Ecoulement des eaux souterraines dans les losses remblayées vers la happe → 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
Le Chardon	 → Ecoulements des eaux de la MCO du Chardon en souterrain vers la nappe → Pompage des eaux de la MCO du Chardon pour rejet dans une rivière → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Percolation des eaux météoriques dans la verse à stériles
	 → Percolation des eaux météoriques dans les fosses des MCO remblayées → Ecoulement des eaux souterraines des TMS vers la nappe → Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval
Les Mortiers	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Percolation des eaux météoriques dans la verse à stériles → Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval
Kercredin	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Pompage des eaux de la MCO à des fins d'irrigation
Keroland	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Pompage des eaux de la MCO à des fins d'irrigation
Métairie Neuve	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Pompage des eaux de la MCO à des fins d'irrigation
Tesson	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies
La Garenne	 → Percolation des eaux météoriques de la tranchée et infiltrations dans la nappe → Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval
Saint Nom	 → Percolation des eaux météoriques de la tranchée et infiltrations dans la nappe → Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval
Coispean	 → Ecoulement des eaux souterraines dans la fosse remblayée vers la nappe → Percolation des eaux météoriques dans la MCO remblayée → Ecoulement des eaux superficielles du site vers les cours d'eaux en aval
Le Cormier	 → Ecoulements des eaux de la MCO en souterrain vers la nappe → Surverse du plan d'eau en cas de très fortes pluies → Pompage des eaux de la MCO à des fins d'irrigation
Kervin	→ Percolation des eaux météoriques de la tranchée et infiltrations dans la nappe
Pen Ar Ran	 → Ecoulement des eaux souterraines dans la fosse remblayée vers la nappe → Percolation des eaux météoriques dans la MCO remblayée → Ecoulement des eaux souterraines des TMS vers la nappe - Ecoulement des eaux superficielles du site

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 116/211
---	------------	----------------

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 du Chardon (pompage périodique des eaux de la MCO en eau), l'absence de station de traitement pour les autres sites miniers de La Loire-Atlantique 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 »

Référence « milieu naturel » EAU :

En l'absence de point zéro et dans le cadre de leur surveillance réglementaire respectives, les sites de l'Ecarpière et du Chardon 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 des secteurs de Guérande et de Piriac-sur-Mer, quatre prélèvements ont été réalisés en amont de ces secteurs lors des visites d'état des lieux de 2011.

L'emplacement des points de prélèvements figure en Annexe 3. Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau suivant :

Points de prélèvement	Localisation	U ₂₃₈ soluble	Ra ₂₂₆ soluble
SERP A	Rivière la Moine En amont du site de l'Ecarpière	< 4 μg/l (moy 2006 – 2010)	< 0,04 Bq/l
RUMAR A	Ruisseau de la Margerie En amont des sites des Mortiers et du Chardon	2 μg/l (moy 2006 – 2010)	0,03 Bq/l
GERV B	Rivière la sèvre Nantaise En aval de l'intersection avec la Moine	< 2 μg/l (moy 2006 – 2010)	< 0,04 Bq/l
TES MAR A	Mare du château de Tesson A proximité du site de Tesson Hors bassin hydrographique des sites miniers uranifères de Loire-Atlantique	4,2 μg/l (soit 0,052 Bq/l)	< 0,02 Bq/l
CRM ETG A	Petit étang A 400 m au SW et en amont du site du Cormier	1,2 μg/l (soit 0,015 Bq/l)	< 0,02 Bq/l
COI ETG	Petit étang proche du hameau de Kerlivio. En amont hydraulique du site de Coispean	4,3 µg/l (soit 0,053 Bq/l)	0,03 Bq/l

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02	/02/2012	Page : 117/211
---	----------	----------------

Points de prélèvement	Localisation	U ₂₃₈ soluble	Ra ₂₂₆ soluble
PNR ETG A	Etang du Prée En amont du site de Pen Ar Ran	14 μg/l (soit 0,172 Bq/l)	0,06 Bq/l

Références « milieu naturel » SEDIMENTS :

En l'absence de point zéro, l'IRSN propose dans sa tierce expertise [9] des valeurs de références pour le milieu naturel pour la Division Minière de la Crouzille (Haute-Vienne) :

- U₂₃₈ compris entre 180 et 1100 Bg/kg de matière sèche,
- Ra₂₂₆ compris entre 150 et 800 Bg/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.

Les synoptiques de la Figure 2 présentent les rejets successifs, potentiels ou avérés, dans les différents cours d'eau récepteurs du fait des anciens sites réaménagés.

Les sites sont présentés de l'amont vers l'aval hydraulique des cours d'eau principaux à savoir : la Sèvre Nantaise et le ruisseau du Canal. Il est à noter la présence de deux sites dans la zone côtière de Piriac-sur-Mer.

Remarque:

Jusqu'en 2005, la quasi-totalité des valeurs mesurées en uranium 238 soluble dans les eaux prélevées en Loire-Atlantique dans le cadre de l'auto-surveillance sont souvent inférieures aux limites de détection de l'époque (< 70, < 50 puis < 10 µg/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 valeurs exploitables.

8.1.3.1 BASSIN VERSANT DE LA SEVRE NANTAISE

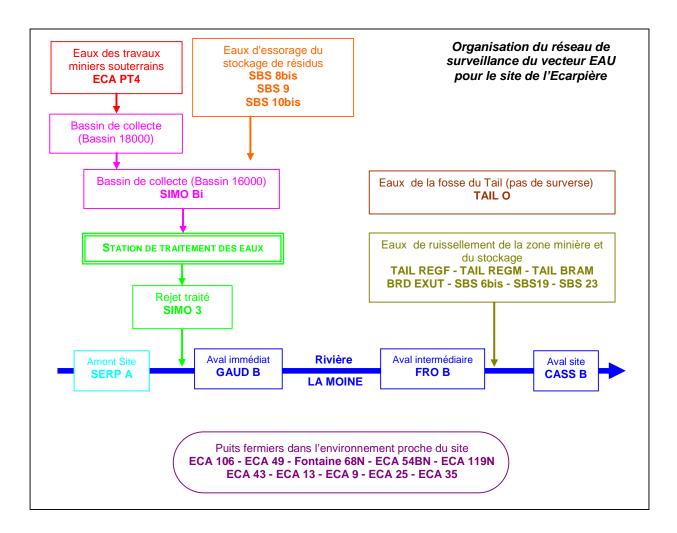
Site de l'Ecarpiere

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 :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 118/211
---	------------	----------------

- 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	Débit	Niveau	рН	MES	S Radium 226 sol. insol.		Uranium	Fe	AI	Ва
		prélèvement	Debit	d'eau	рπ	WES			sol.	re	A	Ба
		ECA PT4			М	М	М	М	М	M		
	<u>:</u> :	SBS 8bis	М		М		М	М	М			
	Av. trait.	SBS 9	М		М		М	М	М			
	٩٨	SBS 10bis	М		М		М	М	М			
		SIMO Bi			J	М	Н	Н	Н	М		
ē	Ap. trait.	SIMO 3	J		J	J	Н	Н	Н	М	М	М
Eaux de site		TAIL BRAM			М		М	S	M			
Р×		TAIL REGM			М		М	S	М			
Eal	int	TAIL REGF			М		М	S	М			
	Sans traitement	TAIL O			М		М	S	М			
	rait	SBS 6bis			М		М	S	М			
	ns t	SBS 16bis			М		М	S	М			
	Sa	SBS 23			М		М	М	М			
		SBS 19			М		М	S	М			
		BRD EXUT			М		M	S	М			
a	3	SERP A			М	М	М	М	М	M		
de l	vière La Moine	GAUD B			М	М	М	М	М	M		
Eaux de la	rivière La Moine	FRO B			М	М	М	M	М	М		
		CASS B			М		М	S	М			
ţua ţ		ECA 9		S	S		S		S			
E		ECA 13		s	S		S		S			
		ECA 25		s	S		S		S			
iya		ECA 35		s	S		S		S			
<u> </u>	proche	ECA 43		S	S		S		S			
Puite farmiars dans l'anvironnament	pro	ECA 106		S	S		S		S			
o d	5	ECA 49		S	S		S		S			
in in		ECA 54BN		S	S		S		S			
to fe	3	Fontaine 68 BN		S	s		S		S			
	-	ECA 119BN		S	S		S		S			

J: journalier H: hebdomadaire M: mensuel

L'ensemble des résultats des prélèvements d'eau (moyenne annuelle sur la période 2000 – 2010) est présenté en Figure 8.

S : semestriel

Page: 120/211

LES EAUX TRAITEES DU SITE

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

 $\begin{array}{lll} \text{pH} & \Rightarrow & 5,5 \text{ à 8,5} \\ \text{MES} & \Rightarrow & 30 \text{ mg/l} \\ \text{DCO} & \Rightarrow & 80 \text{ mg/l} \\ \text{Fer} & \Rightarrow & 5 \text{ mg/l} \\ \text{U}_{\text{soluble}} & \Rightarrow & 1,8 \text{ mg/l} \\ \text{Ra226}_{\text{soluble}} & \Rightarrow & 0,37 \text{ Bq/l} \\ \text{Ra226}_{\text{insoluble}} & \Rightarrow & 3,7 \text{ Bq/l} \\ \end{array}$

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 décroit 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.

Bilati environitemental – Sites militers de Loite-Atlantique 23/02/2012 Fage : 121/2	Bilan environnemental - Sites m	iniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 121/211
--	---------------------------------	----------------------------	------------	----------------

- 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 Bg/l (moyenne = 0,05 Bg/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 décroit 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.

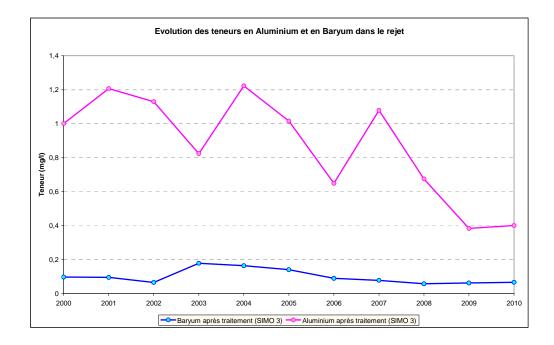
Remarque: Seules les eaux issues des travaux miniers souterrains présentent une concentration en fer non négligeable. Les eaux des travaux miniers souterrains, naturellement chargées en fer ferreux, sont d'abord collectées dans un premier bassin appelé « bassin 18 000 ». Dans ce bassin, le fer s'oxyde 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 :

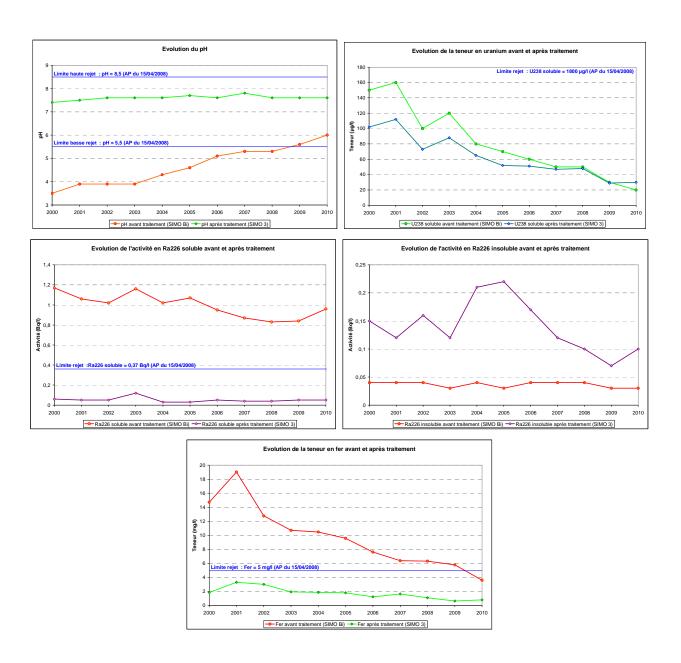
- un pH, stable sur la période étudiée et compris entre 7,4 et 7,8 (moyenne = 7,6);
- une concentration en matière en suspension (MES), comprise entre 7 et 17 mg/l (moyenne = 12 mg/l), qui tend à diminuer d'année en année;

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 122/211
---	------------	----------------

- une teneur en U238 soluble comprise entre 30 et 112 μg/l (moyenne = 63 μg/l) et qui décroit nettement depuis 10 ans;
- une teneur en Ra226 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 Ra226 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 physicochimique des eaux apportées par la station de traitement :

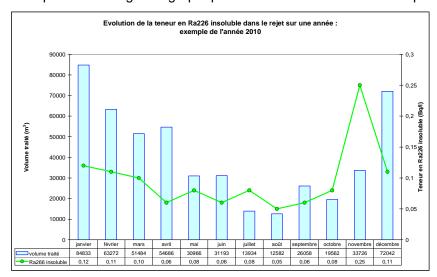


Ils mettent en évidence que :

- 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_{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 soluble]_{min} = 112 μg/l; ([U soluble]_{max} = 29 μg/l; [U soluble]_{moy} = 63 μg/l).

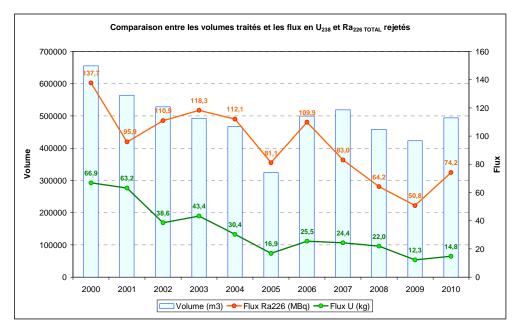
- la teneur en radium 226 soluble après traitement (SIMO Bi) est très nettement inférieure à celle mesurée dans les eaux avant traitement (SIMO 3) et respecte la limite prescrite par l'arrêté préfectoral du 16/04/2008, sur la période 2000 2010. Ceci montre l'efficacité du traitement choisi par AREVA pour l'insolubilisation du radium dans les eaux ([Ra226 soluble]_{min} = 0,03 Bq/l; ([Ra226 soluble]_{max} = 0,12 Bq /l; [Ra226 soluble]_{moy} = 0,05 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'étiage (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'étiage. 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 = $324 \ 446 \ m^3$ en 2005, volume maxi = $655 \ 580 \ m^3$ en 2000 et volume moyen décennal = $493 \ 238 \ m^3$) :

- 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 :
 - o un flux en 2000 de 66,9 kg d'uranium rejeté;
 - o un flux en 2010 de 14,8 kg d'uranium rejeté;
 - o les légères différences observables d'une année à l'autre étant imputables aux différences de volumes traités.

LES EAUX DU SITE NON TRAITEES

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, 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 U238 soluble comprise entre 225 et 400 μg/l (moyenne décennale = 314 μg/l);
- une teneur en Ra226 soluble inférieure à 0,20 Bq/l (moyenne < 0,06 Bq/l) ;
- une teneur en Ra226 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 8). Le tableau cidessous 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	рН	U ₂₃₈ sol. µg/l	Ra ₂₂₆ sol. Bq/l	Ra ₂₂₆ insol. Bq/l	Fer mg/l
N.	Moyenne annuelle minimum	5 (1seule	6,4	170	0,04	< 0,02	0,5 (1seule
TAIL REGM	Moyenne annuelle maximum	mesure en 2010)	6,9	320	0,08	0,04	mesure en 2010)
ΔT	Moyenne décennale	5	6,7	239	0,04	<0,02	0,5
F.	Moyenne annuelle minimum	2 (1seule	6,5	360	0,16	0,03	2
TAIL REGF	Moyenne annuelle maximum	mesure en 2008)	7,3	1820	0,29	0,09	2
T A	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 :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 127/211
---	------------	----------------

		рН	U ₂₃₈ sol. µg/l	Ra ₂₂₆ sol. Bq/I	Ra ₂₂₆ insol. Bq/l	Fer mg/l	
ΑM	Moyenne annuelle minimum	7	270	0,1	< 0,01	0,1	
TAIL BRAM	Moyenne annuelle maximum	7,5	559	0,28	0,09	0,5	
TAI	Moyenne décennale	7,3	433	0,21	<0,04	0,3	
si	Moyenne annuelle minimum	5,5	10	0,03	0,01	0,50	
SBS 6bis	Moyenne annuelle maximum	6,7	73	0,08	0,07	0,70	
SE	Moyenne décennale	6,1	<38	0,05	<0,03	0,59	
ois	Moyenne annuelle minimum	5,0	19	0,08	0,01	0,10	
SBS 16bis	Moyenne annuelle maximum	6,0	196	0,16	0,04	0,20	
SB	Moyenne décennale	5,4	88	<0,11	<0,03	0,17	
6	Moyenne annuelle minimum	7,1	50	0,03	0,02		
SBS 19	Moyenne annuelle maximum	8,0	121	0,08	0,07	/	
S	Moyenne décennale	7,4	76	0,05	0,05		
3	Moyenne annuelle minimum	6,2	< 3	0,03	0,02		
SBS23	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 physicochimique 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);

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 128/211
---	------------	----------------

- une teneur en U238 soluble comprise entre < 4 μg/l (moyenne 2006 2010);
- des teneurs en Ra226 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 :

		рН	M.E.S.	U ₂₃₈ sol.	Ra ₂₂₆ sol.	Ra ₂₂₆ insol.	Fer
			mg/l	μg/l	Bq/I	Bq/I	mg/l
В	Moyenne annuelle minimum	7,2	9	< 2	< 0,02	< 0,02	0,4
GAUD	Moyenne annuelle maximum	8,2	115	< 10	< 0,05	< 0,04	0,7
9	Moyenne décennale	7,6	22	< 4	< 0,03	< 0,03	0,6
	Moyenne annuelle minimum	7,3	9	< 2	0,02	< 0,02	0,4
FRO B	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
В	Moyenne annuelle minimum	7,3		< 5	0,02	0,02	
CASS	Moyenne annuelle maximum	8,1	/	< 10	0,04	0,07	/
S	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 PUITS 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 :

Pont de	Localisation	nU	U ₂₃₈ sol*.	Ra ₂₂₆ sol.
prélèvement	Localisation	pН	μg/l	Bq/I
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
Puit 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)

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.

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

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	Ra 226 total Bq/kg	U238 total Bq/kg	Pb 210 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 :

		Ra 226 total	U238 total	Pb 210
		Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
	Moyenne annuelle minimum	110	69	90
GAUD B	Moyenne annuelle maximum	696	654	628
	Moyenne décennale	291	249	288
	Moyenne annuelle minimum	50	49	70
FRO B	Moyenne annuelle maximum	180	150	140
	Moyenne décennale	87	92	98
	Moyenne annuelle minimum	50	60	30
CASS B	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 8.

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'attenue 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'accentue 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).

ilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 131/211
--	------------	----------------

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	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
SERP A	Bq/kg de végétal frais	Bq/kg de végétal frais	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 :

Mayanna dácannala	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
Moyenne décennale	Bq/kg de végétal frais	Bq/kg de végétal frais	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 8.

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.

SITE DU CHARDON

Le site du Chardon a été exploité par travaux miniers souterrains et par mines à ciel ouvert. Trois des MCO ont été remblayée. La MCO du Chardon a été partiellement remblayée et conservée en eau.

Le ruisseau de la Brécholière s'écoule à 100 m au Sud du site, il rejoint le ruisseau de la Margerie situé en bordure Est du site qui se jette dans la rivière Sèvre Nantaise.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors des visites d'état des lieux de 2011.

Un pompage de la MCO est réalisé annuellement, et permet d'abaisser le niveau piézométrique à une altitude telle qu'elle interdise toute émergence naturelle. Ce pompage doit être réalisé sous les conditions suivantes :

 Le rejet par pompage de l'eau contenue dans l'ancienne MCO est autorisé du 1 novembre au 1 juin suivant;

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 132/211
---	------------	----------------

- Ce rejet doit être effectué :
 - o dans le ruisseau de la Margerie sous réserve que le débit du ruisseau soit au minimum 6 fois celui du pompage,
 - o dans la Sèvre Nantaise par canalisation spéciale.

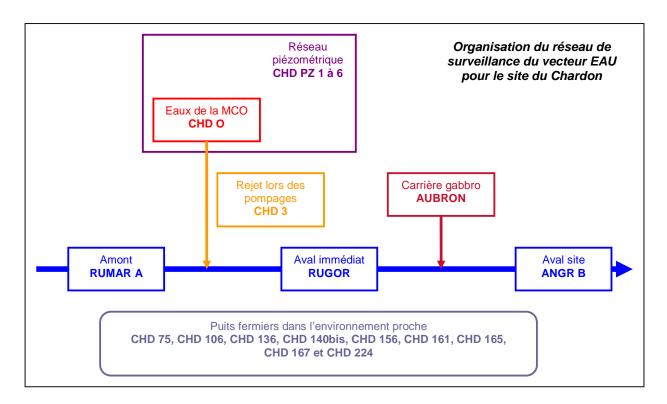
Ce système de gestion des eaux du site du Chardon, permet de gérer le niveau d'eau dans la mine à ciel ouvert afin d'éviter toute émergence dans le secteur de la Racine.

Lors du pompage, le rejet, ainsi que les points de prélèvement aval immédiat, font l'objet d'un suivi hebdomadaire.

Le réseau de surveillance du site concerne trois « catégories » d'eau, comme décrit dans le schéma ci-après :

Les eaux du site :

- o Les eaux de la mine à ciel ouvert du Chardon (prélèvement CHD O),
- o Le rejet d'eau de la mine lors des opérations de pompage (prélèvement CHD 3),
- o Le réseau piézomètrique (CHD PZ1 à 6);
- Les eaux de la carrière de gabbro voisine (prélèvement AUBRON);
- Les eaux du ruisseau de la Margerie, en aval du site du Chardon (prélèvements RUGOR, ANGR B et AUBRON);
- Les eaux des puits fermiers (prélèvements CHD 75, CHD 106, CHD 136, CHD 140bis, CHD 156, CHD 161, CHD 165, CHD 167 et CHD 224).



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

LES EAUX DU SITE

Les eaux de la mine à ciel ouvert du Chardon (CHD O), dont le plan d'eau ne possède pas de surverse, présentent les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques suivantes :

- Un pH de 7,7 de moyenne, stable de 2000 à 2003,
- Une concentration en radium 226 soluble comprise entre 0,13 et 0,41 Bq/l (0,26 Bq/l en moyenne entre 2000 et 2003), en légère augmentation sur ces 4 années, correspondant à un abaissement du niveau d'eau dans la MCO,
- Une concentration en uranium soluble en augmentation de 2000 à 2003, comprise entre 760 et 2 260 μg/l (moyenne à 1 575 μg/L),
- Des teneurs en chlorure de sodium variables, comprises entre 1 570 et 2 993 mg/l, diminuant entre 2003 et 2008; cette diminution correspond à une augmentation du niveau d'eau dans la MCO.

Les eaux rejetées lors des opérations de pompage annuelles (CHD 3) présentent les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques suivantes :

- La concentration en radium 226 soluble rejetées est stable entre 2000 et 2010. Elle est de 0,20 Bq/l en moyenne sur cette décennie, et correspond à des eaux marquées en radium soluble. Elle est en diminution sur 10 ans;
- Les concentrations en uranium soluble varient entre 759 et 2 260 μg/l de 2000 à 2010. La moyenne de ces concentrations est de 1 529 μg/l. Ces eaux présentent donc un marquage significatif mais en diminution en uranium soluble;
- Le pH mesuré entre 2000 et 2010 est relativement stable, avec une moyenne sur cette période de 7,8;
- Les eaux présentent, de 2000 à 2010, des concentrations en chlorure de sodium comprises entre 1,35 et 2,21 mg/l. Ces concentrations sont en diminution sur la période considérée ;
- Les concentrations en fer sont stables depuis 2000, avec des valeurs variant entre 0,02 et 0,17 mg/l.

Les concentrations significatives en chlorure de sodium sont liées au contexte hydrogéologique du site (cf. paragraphe 2.5.3).

Le site fait également l'objet d'une surveillance des eaux souterraines via un réseau piézométrique. Une synthèse des résultats obtenus entre 2000 et 2010 figure dans le tableau ci-après.

Point de prélèvement	Valeurs	рН	Ra 226 soluble Bq/l	U 238 soluble µg/l	NaCl mg/l
	Moyenne annuelle minimale	5,6	0,65	8	30
CHD PZ 1	Moyenne annuelle maximale	6,8	1,09	52	124
	Moyenne décennale	6,2	0,85	26	44
	Moyenne annuelle minimale	5,1	0,26	5	43
CHD PZ 2	Moyenne annuelle maximale	6,1	0,66	51	201
	Moyenne décennale	5,5	0,42	23	109
	Moyenne annuelle minimale	6,2	0,75	4	163
CHD PZ 3	Moyenne annuelle maximale	7,5	1,85	51	1 048
	Moyenne décennale	6,7	1,31	22	531
	Moyenne annuelle minimale	4,5	0,29	2,6	153
CHD PZ 4	Moyenne annuelle maximale	5,6	0,60	879	551
	Moyenne décennale	5,0	0,44	438	319
	Moyenne annuelle minimale	3,9	0,09	563	25
CHD PZ 5	Moyenne annuelle maximale	5,6	0,97	2 897	42
	Moyenne décennale	4,5	0,27	1567	32
CHD PZ 6	Moyenne annuelle minimale	4,4	0,31	114	41
	Moyenne annuelle maximale	6,8	0,56	503	69
	Moyenne décennale	5,0	0,44	234	50

Les eaux prélevées dans le cadre du suivi piézométrique présentent un marquage en uranium soluble, en particulier sur le piézomètre CHD PZ 5, et en radium 226 soluble, particulièrement notable sur les piézomètres CHD PZ 1 et CHD PZ 3. Les teneurs en chlorure de sodium sont élevées, en particulier au niveau du piézomètre CHD PZ 3.

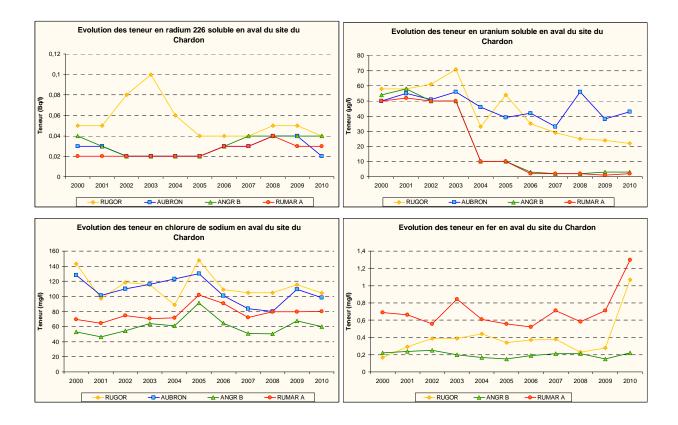
Ces résultats sont à relativiser. En effet, ces eaux sont des eaux souterraines, dont les caractéristiques diffèrent nettement de celles rencontrées en surface. De plus, jusqu'en 2010, les prélèvements étaient réalisés sans pompage préalable. La mise en place de cette nouvelle méthode de prélèvement d'eau a légèrement modifié les valeurs habituellement mesurées dans la cadre de cette surveillance.

LES EAUX DE LA CARRIERE DE GABBRO VOISINE ET DU RUISSEAU DE LA MARGERIE

Le ruisseau de la Margerie fait l'objet d'une surveillance de la qualité de ces eaux via un prélèvement en amont du site, et deux prélèvements en aval. Un prélèvement est également réalisé dans la carrière de gabbro voisine du site.

Les graphiques suivants présentant les résultats obtenus sur les onze dernières années sur ces quatre points de prélèvements.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--



Ces résultats mettent en évidence que les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques s'améliorent avec l'éloignement du site.

L'impact du site du Chardon est notable en aval immédiat du site pour l'uranium, tandis que le point de prélèvement situé en aval « lointain » présente des caractéristiques similaires au milieu naturel.

LES EAUX DES PUITS FERMIERS

Neuf puits fermiers, situés aux environs du site, font également l'objet d'un suivi radiologique.

Une synthèse des résultats obtenus de 2000 à 2010 est présentée dans le tableau ci-après.

Point de prélèvement	Valeurs	рН	Ra 226 soluble Bq/l	U 238 soluble µg/l
	Moyenne annuelle minimale	6,1	0,02	1
CHD 75	Moyenne annuelle maximale	8,2	0,08	50
	Moyenne décennale	6,5	0,04	21
	Moyenne annuelle minimale	6,0	0,06	1
CHD 106	Moyenne annuelle maximale	6,7	0,11	50
	Moyenne décennale	6,5	0,07	21
	Moyenne annuelle minimale	5,5	0,03	1
CHD 136	Moyenne annuelle maximale	6,0	0,10	50
	Moyenne décennale	5,7	0,06	21
	Moyenne annuelle minimale	5,8	0,07	1
CHD 140 bis	Moyenne annuelle maximale	6,6	0,27	50
	Moyenne décennale	6,1	0,17	< 14
	Moyenne annuelle minimale	6,9	0,02	9
CHD 156	Moyenne annuelle maximale	7,5	0,06	50
	Moyenne décennale	7,2	0,03	25
	Moyenne annuelle minimale	6,6	0,02	1
CHD 161	Moyenne annuelle maximale	7,2	0,10	50
	Moyenne décennale	6,9	0,04	21
	Moyenne annuelle minimale	5,9	0,10	5
CHD 165	Moyenne annuelle maximale	6,3	0,20	50
	Moyenne décennale	6,0	0,15	23
	Moyenne annuelle minimale	5,7	0,02	1
CHD 167	Moyenne annuelle maximale	6,3	0,07	50
	Moyenne décennale	6,0	0,04	21
	Moyenne annuelle minimale	6,5	0,02	1
CHD 224	Moyenne annuelle maximale	7,5	0,19	50
	Moyenne décennale	6,7	0,05	14

Ces eaux présentent des valeurs :

- En pH, d'une moyenne maximale de 7,2 (CHD 156),
- En radium 226 soluble au maximum de 0,17 Bq/l en moyenne (CHD 140 bis),
- En uranium soluble, d'une moyenne maximale de 25 μg/l.

Ces teneurs sont caractéristiques d'une eau souterraine.

Il n'y a donc pas d'impact radiologique du site du Chardon sur la qualité radiologique des puits fermiers environnants.

LES SEDIMENTS

Des prélèvements de sédiments sont effectués :

- dans le ruisseau la Margerie, aux points RUMAR A (référence « Amont site ») et RUGOR (Aval immédiat du site),
- dans la rivière la Sèvre Nantaise, aux points GERV B (référence « Amont site ») et ANGR B (Aval du site).

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

RUMAR A	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière sèche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	< 30	< 25	< 30
Moyenne annuelle maximum	71	< 123	120
Moyenne décennale	< 42	< 53	< 67

GERV B	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière sèche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	< 50	< 50	< 30
Moyenne annuelle maximum	240	< 124	190
Moyenne décennale	< 110	< 79	< 95

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

RUGOR	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière sèche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	120	< 49	< 30
Moyenne annuelle maximum	430	396	340
Moyenne décennale	287	< 147	< 184

ANGR B	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière sèche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	< 50	25	50
Moyenne annuelle maximum	100	110	150
Moyenne décennale	< 75	< 70	< 79

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la Figure 9.

Ces résultats mettent en évidence :

• un léger marquage en Ra226, U238 et Pb210 des sédiments du ruisseau de la Margerie en aval immédiat du rejet (point RUGOR : teneurs en radioéléments 2 à 6 fois plus élevées qu'en

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 138/211
---	------------	----------------

- amont du site). Cependant, ces valeurs restent dans la fourchette donnée par l'IRSN (cf. paragraphe 8.1.2);
- des teneurs en radioéléments des sédiments prélevés dans la rivière la Sèvre Nantaise en aval du site (point ANGR B) du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site du Chardon.

PRELEVEMENTS DE VEGETAUX AQUATIQUES

Des prélèvements de végétaux aquatiques sont effectués :

- dans le ruisseau la Margerie, aux points RUMAR A (référence « Amont site ») et RUGOR (Aval immédiat du site),
- dans la rivière la Sèvre Nantaise, aux points GERV B (référence « Amont site ») et ANGR B (Aval du site).

Les végétaux aquatiques prélevés en amont du site du Chardon présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2004 (absence de prélèvement de 2005 à 2010) :

RUMAR A	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière fraiche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	1,20	< 1,08	< 1,80
Moyenne annuelle maximum	8,50	3,28	3,50
Moyenne décennale	4,87	< 2,18	< 2,97

GERV B	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière fraiche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	1,00	< 0,50	< 0,90
Moyenne annuelle maximum	44,35	7,18	< 11,96
Moyenne décennale	<12,12	< 2,26	< 3,47

Les végétaux aquatiques prélevés en aval du site du Chardon présentent les caractéristiques radiologiques suivantes, pour la période 2000 – 2004 (absence de prélèvement de 2005 à 2010)

RUGOR	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière fraiche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	1,20	< 1,70	< 2,70
Moyenne annuelle maximum	14,10	3,80	6,20
Moyenne décennale	6,85	< 2,93	< 4,38

ANGR B	Ra 226 total	U238 total	Pb 210
(sur matière fraiche)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Moyenne annuelle minimum	< 0,60	1,03	< 0,60
Moyenne annuelle maximum	10,50	< 5,84	9,78
Moyenne décennale	< 4,43	< 1,99	< 3,02

Le détail des résultats d'analyses sur la période 2000 – 2010 est présenté à la Figure 9.

Ces résultats mettent en évidence :

- un léger marquage en Ra226 et Pb210 des végétaux aquatiques du ruisseau de la Margerie en aval immédiat du rejet (point RUGOR: teneurs en radioéléments 1,5 fois plus élevées qu'en amont du site);
- l'absence de marquage en U238 de ce ruisseau,
- des teneurs en radioéléments des végétaux aquatiques prélevés dans la rivière la Sèvre Nantaise en aval du site (point ANGR B) du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site du Chardon.

• SITE DES MORTIERS

Le site des Mortiers à fait l'objet d'une exploitation par mine à ciel ouvert.

En fin d'exploitation, cette MCO a été partiellement remblayée. Elle est actuellement en eau.

Le ruisseau de la Brécholière prend sa source à quelques centaines de mètres du site et coule en direction Ouest-Est (seulement en période hivernale). Il se jette dans le ruisseau de la Margerie, qui lui-même se jette dans la rivière la Sèvre Nantaise.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors des visites de sites de 2011.

Un prélèvement est réalisé annuellement dans la MCO en eau. Ces eaux présentent des teneurs moyennes, entre 2005 et 2011, de 14 μ g/l, soit 0,172 Bq/l, en uranium soluble, et inférieure à 0,10 Bq/l en radium 226 soluble. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

8.1.3.2 BASSIN VERSANT DU RUISSEAU LE CANAL

• SITE DE TESSON (Figure 11)

Le site de Tesson a été exploité par mine à ciel ouvert. Cette MCO est actuellement en eau.

Le ruisseau le Canal s'écoule à 800 m au Nord du site. Il se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Etier du Pont d'Arm.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 140/211
---	------------	----------------

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors des visites d'état des lieux de 2011.

Dans le cadre des visites d'état des lieux de 2011, un prélèvement a été réalisé en aval hydraulique, au niveau d'une buse en béton alimentant une retenue d'eau (prélèvement d'eau TES BUSE B). Ce prélèvement présente des teneurs en uranium 238 soluble de 8,4 µg/l)soit 0,103 Bq/l) et en radium 226 soluble de 0,09 Bq/l, soit un très léger marquage par rapport au milieu naturel.

Un prélèvement d'eau est réalisé annuellement dans le plan d'eau que constitue l'ancienne MCO (prélèvement d'eau TES O). Les teneurs mesurées sont, en moyenne entre 2006 et 2011, de 4 µg/l (soit 0,049 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 0,04 Bq/l en radium 226 soluble. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

SITE DE KERCREDIN (Figure 12)

Le site de Kercredin a été exploité par mine à ciel ouvert. Cette MCO est actuellement en eau.

Le ruisseau le Canal s'écoule au Nord du site. Il se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Étier du Pont d'Arm.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors des visites d'état des lieux de 2011.

Un prélèvement d'eau a été réalisé dans l'étang de Saint Barbe dans le cadre des visites de sites de 2011 (prélèvement d'eau KCD ETG). Les teneurs mesurées sont de $4,5\,\mu\text{g/l}$, soit $0,06\,\text{Bq/l}$, en uranium 238 soluble et < $0,02\,\text{Bq/l}$ en radium 226 soluble. Elles sont du même ordre de grandeur que le milieu naturel.

Un prélèvement d'eau est réalisé annuellement dans l'ancienne MCO en eau (prélèvement d'eau KCD O). Les teneurs mesurées sont, en moyenne entre 2006 et 2010, de 2 µg/l (soit 0,025 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 0,05 Bq/l en radium 226 soluble. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

SITE DE LA GARENNE (Figure 13)

Une tranchée a été creusée dans le cadre de travaux de recherches sur le site de la Garenne.

Un fossé, situé à proximité immédiate du site, rejoint le ruisseau le Canal qui se jette dans l'étang de Saint Barbe, puis dans l'étang du Cardinal et le marais de la Baronnière, avant de rejoindre l'Etier du Pont d'Arm.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré lors des visites d'état des lieux de 2011.

Suite à la demande du propriétaire du terrain, cette tranchée a dans un premier temps été conservée en eau. Elle a ensuite fait l'objet, en 2010, d'un remblayage.

Avant comblement, elle faisait l'objet d'un prélèvement annuel (prélèvement d'eau GAR O). Les valeurs moyennes mesurées de 2006 à 2010 sont de 18,6 µg/l (soit 0,229 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 5,96 Bq/l en radium 226 soluble. Les eaux présentaient donc un marquage en uranium et en radium.

SITE DE SAINT NOM

Le site de Saint Nom a fait l'objet de travaux de recherches par creusement d'une tranchée.

Un étang est situé en aval hydraulique du site. La surverse de cet étang forme un ruisseau qui se jette dans l'étang de Keroland, puis dans l'étang du Cardinal, avant de se jeter dans le ruisseau du Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Etant donnée la faible taille de ce site et sa situation hydrographique, aucun prélèvement d'eau n'a été réalisé dans le cadre des visites de sites de 2011.

• SITE DE LA METAIRIE NEUVE (Figure 13)

Le site de la Métairie Neuve a été exploité par mine à ciel ouvert. Cette MCO est actuellement en eau.

Un étang est situé en aval hydraulique du site. La surverse de cet étang forme un ruisseau qui se jette dans l'étang de Keroland, puis dans l'étang du Cardinal, avant de se jeter dans le ruisseau du Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Un prélèvement d'eau est réalisé annuellement dans le plan d'eau que constitue l'ancienne MCO (prélèvement d'eau MNR O). Les teneurs mesurées sont, en moyenne entre 2006 et 2011, de 3,2 µg/l (soit 0,039 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 0,05 Bq/l en radium 226 soluble. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

SITE DE KEROLAND (Figure 14)

Une mine à ciel ouvert a été exploitée sur le site de Keroland. Cette MCO est actuellement en eau.

Le site est situé en amont de deux petits étangs qui alimentent un ruisseau. Ce dernier traverse l'étang de Keroland, puis se jette dans l'étang du Cardinal, situé sur le cours du ruisseau le Canal.

Lors de la visite d'état des lieux de 2011, aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site.

Lors de cette même visite, un prélèvement d'eau a été réalisé dans l'étang de Keroland, situé en aval du site (prélèvement d'eau KRL ETG). Les teneurs en uranium 238 soluble (6,3 µg/l soit 0,077 Bq/l) et en radium 226 soluble (0,03 Bq/l) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

La mine à ciel ouvert en eau fait l'objet d'un prélèvement annuel (prélèvement d'eau KRL O). Ce prélèvement présente une teneur moyenne, de 2006 à 2011, de 5,7 µg/l (soit 0,070 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 0,11 Bq/l en radium 226 soluble, soit un léger marquage en radium.

• SITE DU CORMIER (Figure 15)

Le site du Cormier a fait l'objet d'une exploitation par mine à ciel ouvert. Cette MCO est actuellement en eau.

Un ruisseau traverse le site et se jette dans le ruisseau le Canal à 800 m au Nord-Ouest.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Un prélèvement d'eau a été réalisé dans le ruisseau en aval du site lors de cette visite de 2011 (prélèvement d'eau CRM RUB). Les teneurs mesurées sont de 20 µg/l, soit 0,246 Bq/l, en uranium 238 soluble et 0,04 Bq/l en radium 226 soluble. Elles présentent donc un marquage en uranium 238 soluble.

Un prélèvement d'eau est réalisé annuellement dans le plan d'eau que constitue l'ancienne MCO (prélèvement d'eau CRM O). Les teneurs mesurées sont, en moyenne entre 2006 et 2011, de 19 µg/l (soit 0,234 Bq/l) en uranium 238 soluble et de 0,06 Bq/l en radium 226 soluble. Ces eaux présentent donc un léger marquage en uranium 238 soluble.

SITE DE COISPEAN (Figure 15)

Une mine à ciel ouvert a été exploitée sur le site de Coispean. Cette MCO est aujourd'hui intégralement remblayée.

Un étang est situé à 300 m au Nord-Est du site. Sa surverse se jette dans un ruisseau qui alimente l'étang du Bois de la Cour puis l'étang de Bel-Air et se jette dans le ruisseau le Canal.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite de 2011.

Un prélèvement d'eau a été réalisé, lors de cette visite, en aval hydraulique du site, dans le petit étang localisé dans le village de Coispean (prélèvement d'eau COI MAR). Les teneurs mesurées en uranium 238 soluble (2,2 µg/l soit 0,027 Bq/l) et en radium 226 soluble (0,02 Bq/l) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le milieu naturel.

8.1.3.3 ZONE COTIERE DE PIRIAC-SUR-MER

SITE DE KERVIN

Le site de Kervin a fait l'objet de travaux de recherches par creusement d'une tranchée.

Le site est situé dans une zone côtière. Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Etant donnée la faible taille de ce site et sa situation hydrographique, aucun prélèvement d'eau n'a été réalisé dans le cadre des visites de sites de 2011.

• SITE DE PEN AR RAN (Figure 16)

Le site de Pen Ar Ran a fait l'objet d'une exploitation en deux temps :

- De 1975 à 1976 par mine à ciel ouvert,
- De 1977 à 1990 par travaux miniers souterrains.

Un ruisseau intermittent prend sa source au niveau d'un petit étang localisé en bordure de la route D333, puis coule en direction de l'étang de la Prée. De là, il s'écoule en bordure Est du site, via une canalisation enterrée (d'environ 650 m de longueur) jusqu'à la côte atlantique.

Aucun écoulement d'eau n'a été repéré sur le site lors de la visite d'état des lieux de 2011.

Un piézomètre datant de l'exploitation a fait l'objet d'un suivi jusqu'en 2002, date à laquelle il a été bouché. Les teneurs moyennes mesurées de 2000 à 2002 sont de 280 µg/l, soit 3,444 Bq/l, en uranium 238 soluble et de 3,42 Bq/l en radium 226 soluble. Ces teneurs, relatives à une eau d'origine souterraine, ne sauraient être comparées à celles des eaux de surface. Il est à noter que ces eaux peuvent être assimilées, de part leur teneurs en NaCl (230 mg/l en moyenne de 2000 à 2002), à des eaux saumâtres.

Un prélèvement d'eau a été réalisé, lors de la visite d'état des lieux de 2001, en aval hydraulique du site, à la sortie d'une buse localisée dans les rochers sur la plage du Port Lorec, visible seulement à marée basse (prélèvement d'eau PNR BUSE). Les teneurs mesurées en uranium 238 soluble (13 µg/l soit 0,160 Bq/l) et en radium 226 soluble (0,04 Bq/l) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont du site.

8.1.4 Bilan sur le milieu aquatique

Le contrôle des eaux réalisé dans le cadre de l'auto-surveillance 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, le Chardon),
- au niveau des ruisseaux (ou plans d'eau) récepteurs du rejet,
- au niveau des ruisseaux potentiellement impactés en aval hydraulique des sites miniers.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

Sites	F	Rejet / résurg	ence	N	ICO		u / plan d'eau epteur
	Avant tr	aitement	Après traitement		-		
	143 1,30	81 1.00	63 0.05		-		
	217 0,62	81 1,00	63 0,05		-		
L'Ecarpière	239 0,04 815 0,22 433 0,21 < 38 0,05 88 < 0,11 76 0,05		314	<0,06	< 22 < 0,03 < 22 < 0,03	< 0,03	
				-	< 24	< 0,03	
				-	- - -		
				-			
		< 36 < 0,0	09		-		
Le Chardon		1529 0,2	20	1575	0,26	43 46 22	0,05 0,03 0,03
Les Mortiers		-		14	< 0,10		
Tesson		-		4	0,04	8,4	0,09
Kercredin		-		2	0,05	4,5	< 0,02*
Métairie Neuve		-		3,2	0,05		-
Keroland		-		5,7	0,11	6,3	0,03*
Cormier		-		19	0,06	20	0,04
Coispean		-			-	2,2	0,02*
Pen Ar Ran		-			-	6,3	0,03

En vert : U₂₃₈ soluble en µg/l

En noir: Ra₂₂₆ soluble en Bq/l

* : plan 'eau

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;
 - o Un très léger marquage des sédiments en aval immédiat du site a été constaté ;
 - o 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 du Chardon :
 - Les eaux de la MCO et les eaux pompées lors des périodes autorisées de rejet présentent un marquage significatif en uranium soluble et radium 226 soluble, ainsi que des concentrations importantes en chlorure de sodium et en fer,
 - L'impact du site du Chardon est significatif en aval immédiat du site, tandis que le point de prélèvement situé en aval « lointain » présente des caractéristiques similaires au milieu naturel;
 - Il n'y a pas d'impact du site du Chardon sur la qualité radiologique des puits fermiers environnants ;
 - Le site a un léger impact sur la qualité radiologique des sédiments et des végétaux aquatiques prélevés en aval immédiat. Cependant, aucun impact n'a été mesuré en aval au niveau de la rivière la Sèvre Nantaise :
- Les eaux de la MCO des Mortiers ont des caractéristiques radiologiques similaires à celles rencontrées dans le milieu naturel;
- Un léger marquage en uranium et radium 226 solubles a été mesuré dans une buse en aval du site de Tesson et dans la mine à ciel ouvert de Keroland :
- Un marquage en uranium soluble dans la mine à ciel ouvert et dans le plan d'eau en aval hydraulique du Cormier;
- Les eaux des mines à ciel ouvert de Tesson, Kercredin et la Métairie Neuve présentent des teneurs en uranium et en radium 226 solubles du même ordre de grandeur que celles relevées dans le milieu naturel;
- Les plans d'eau situés en aval hydraulique des sites :
 - o De Saint-Nom, la Métairie Neuve et Keroland,
 - o De Tesson, Kercredin et la Garenne,
 - o De Coispean,

ne sont pas impactés par ces sites miniers uranifères.

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

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 microordinateur 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 mBg/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).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 147/211
---	------------	----------------

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 aéorologiques 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 du Chardon jusqu'en 2001 (AP du 21 novembre 1995).

8.2.3 Résultats de la surveillance de la qualité de l'air

8.2.3.1 SITE DE L'ECARPIERE (FIGURE 17)

REFERENCE MILIEU NATUREL

• <u>Débit de dose gamma</u>

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 (chaîne de l'uranium 238)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Brise (sommital)	33	52	44
Bel Air (sommital)	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 (chaîne du thorium232)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
La Brise (sommital)	11	20	16
Bel Air (sommital)	8	17	13
Boussay Bellevue (mi pente)	9	18	15
Beau Rivage (fond de vallée)	21	29	24

Remarques:

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.

• Activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières

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) :

- 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)

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 149/211
Bilari Givirorii Girari Gites miniers de Esire Malantique	23/02/2012	1 agc : 1+3/211

^{1 :} Boussay Bellevue (période 2008 à 2010

^{2 :} Le radon 220 n'étant pas un descendant de l'uranium238, il ne constitue pas le meilleur marqueur de l'impact potentiel des sites. Les données d'exposition au radon 220 (issues de la chaine du thorium232) sont néanmoins utilisées dans le cadre de l'évaluation de l'impact dosimétrique (cf. chapitre 9.)

- 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)

• <u>Débit de dose gamma</u>

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 (chaîne 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 (chaîne du thorium232)

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 Crepin Ouest	10	18	14
St Crepin 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.

Activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³)

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

EMPRISE DU SITE DE L'ECARPIERE

Le dispositif de contrôle de la qualité de l'air sur le site même de l'Ecarpière comprend :(Annexe 3) :

- 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 (chaîne 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/m³
Braudière	147	373	252
Gaudu	115	211	154

EAP Radon 220 (chaîne du thorium232)

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.

• Activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières

Page: 153/211

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (<1 mBq/m³)

8.2.3.2 SITE DU CHARDON (FIGURE 18)

ENVIRONNEMENT DU SITE DU CHARDON

Le dispositif comprenait jusqu'en 2001, un dosimètre placé sur le site du Chardon et un dosimètre dans son environnement proche (village du Chardon de 1995 à 1999 et village de La Pyronnière de 1999 à 2001). Ces dosimètres étaient placés en position sommitale.

Les résultats sont figurés dans les tableaux suivants :

• Débit de dose gamma

Station	Minimum en nGy/h	Maximum en nGy/h	Moyenne en nGy/h
Sur site	130	230	167
Village du Chardon	150	200	161
Village de Pyronnière	110	130	120

• Energie Alpha Potentielle radon 220 et 222

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci après (chronique 2000 à 2010) :

EAP Radon 222 (chaîne de l'uranium 238)

Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m ³
Sur site	44	74	57
Village du Chardon	35	52	42
Village de Pyronnière	30	45	39

EAP Radon 220 (chaîne du thorium232)

Les résultats, tant sur site que dans son environnement, sont du même ordre de grandeur que le milieu naturel. Les valeurs en EAP sont conformes à des stations placées en position sommitale

Activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières

Ces activités volumiques sont systématiquement inférieures aux limites de détection (< 1 mBq/m³)

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 154/211
---	------------	----------------

8.3 IMPACT SUR LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LES SOLS

8.3.1 Voies de contamination de la chaine 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 chaine alimentaire

Le site de l'Ecarpière 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.

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 figurées 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)

	Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 155/21
п	Phan chimeratan Chec himners de Zene / manique	20,02,20.2	. ageee, = .

Village	Lait	Viande	Légume « fruit »		Légume «	« racine »	Fruits	
Charpraie	2000 - 2010	2000 - 2010	2000 - 2006		2000 - 2006		2001 - 2006	
Hautegente	/	2000 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2002 - 2005	2007 2010
Tail	/	/	2000 - 2006	2007 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2001 - 2006	2007 - 2010
Braudière	/	/	/		2000 - 2006		2001 - 2006	
St Crespin Ouest	/		2000 - 2006		2000 - 2006	2002 - 2006 2007 - 2010 2002 - 2006		
Fromont	/	2000 - 2010	2000 - 2006	2007 - 2010	2000 - 2006		2002 - 2006	2007 - 2010
Gaudu	/		2000 - 2006		2001 - 2005		2001 - 2006	
La Gagnerie	2000 - 2010	/	/	/	/	/	/	/
La Brosse	2000 - 2010	/	/	/	/	/	/	/
La Verrie	2000 - 2010	/	/	/	-	/	/	/

8.3.3 Résultats des contrôles de la chaîne alimentaire

FRUITS, LEGUMES, VIANDES, LAIT, EAU DE CONSOMMATION

L'ensemble des résultats est figuré dans la Figure 19.

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-dessous) :

	Pourcentage de résultats de la surveillance de la chaîne alimentaire						
	Lait Viande Légume « feuilles » Légume « racines »						
Inférieurs à la limite de détection	92%	89%	94%	93%	92%		
Supérieurs à la limite de détection	8%	11%	6%	7%	8%		

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 PRINCIPE 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 157/211
---	------------	----------------

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 entrainer 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 entrainer 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.

$$\mathbf{H}_{\mathsf{T}} = \sum_{\mathsf{R}} \mathbf{D}_{\mathsf{T},\mathsf{R}} \cdot \mathbf{W}_{\mathsf{R}}$$

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.

$$\textbf{E} = \sum\nolimits_{\textbf{T}} \textbf{H}_{\textbf{T}} \cdot \textbf{W}_{\textbf{T}}$$

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

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

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02/2012 Page : 160/211

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'affranchie 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
innaiation	Poussières	sites miniers	1,4.10 ⁻² mSv/Bq	2,9.10 ⁻² mSv/Bq
	inhalées	sites stockage résidus	1,9.10 ⁻⁴ mSv/Bq	3,8.10 ⁻² mSv/Bq
		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
Ingestion		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 = Coefficient de dose (en mSv/mGy) × temps de présence (en h) × débit de dose ajouté au milieu naturel (en nGy/h) × 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) x temps de présence (en h) x EAP ajoutée au milieu naturel (en nJ/m³) x 10⁻⁶

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 161/211
Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 161/211

Pour l'ingestion de la chaîne alimentaire (E_{ii})

E_{ij} = Coefficient de dose (en mSv/Bq du radionucléide considéré (j)) x quantité d'aliment ou de liquide ingéré (en kg ou l) x activité ajoutée au milieu naturel du radionucléide considéré (en Bq/kg de matière fraiche)

La dose efficace ajoutée totale s'obtient en faisant la somme des doses efficaces obtenues pour chaque secteur d'exposition soit :

$$\boldsymbol{E}_{tot} = \boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2 + \boldsymbol{E}_3 + \sum \boldsymbol{E}_{ij}$$

9.4.4 Résultats

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.

Ainsi, <u>seul le site de l'Ecarpière fait l'objet d'une évaluation de la dose efficace annuelle ajoutée</u>.

Par ailleurs, 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	Exposition externe : ENFANT					
référence	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	
Charpraie 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	Exposition externe : ADULTE					
référence	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	
Charpraie 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	Situation	Exposition par inhalation : ENFANT				
référence	topographique	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
Charpraie 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

Page: 163/211

Scénario 2 : Adulte résidant sous influence du site

7 300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur)

Groupe de	Situation	Exposition par inhalation : ADULTE				
référence	topographique	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	Exposition par ingestion : ENFANT					
référence	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		Exposition par ingestion : ADULTE			
référence	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	Situation		Exposit	tion totale : E	NFANT	
référence	topographique	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 site7 300 h à l'intérieur des habitations + 1360 h à l'extérieur)

Groupe de	Situation		Exposit	ion totale : A	ADULTE	
référence	topographique	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 tonographique	Dose efficace ajoutée annuelle totale		
Scenario	Situation topographique	Minimum	Maximum	
Enfant	Sommitale	0,05 mSv	0,36 mSv	
Enlant	Mi-pente / Fond de vallée	0,46 mSv	0,97 mSv	
Adulte	Sommitale	0,04 mSv	0,31 mSv	
Addite	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 règlementaire 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;

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 166/211
Bilari Givirorine incinari Gites miniero de Estre Malantique	23/02/2012	1 agc : 100/211

 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
Situ	ation topographique	Mi-pente	Fond de vallée
	Scénario	Adulte	Adulte
	DEAA mSv	0,01	0,05
Exposition externe	% de la dose totale	1 %	5 %
	Augmentation par rapport à 2008	-	+ 67 %
	DEAA mSv	1,00	0,93
Exposition par inhalation	% de la dose totale	97 %	87 %
	Augmentation par rapport à 2008	+ 37 %	+ 60 %
	DEAA mSv	0,03	0,10
Exposition par ingestion	% de la dose totale	3 %	9 %
Augmentation par rapport à 2008		-	+ 233 %
Exposition	DEAA mSv	1,03	1,07
totale mSv	Augmentation par rapport à 2008	+ 34 %	+ 67 %

Ces résultats mettent en évidence que les dépassements de la valeur règlementaire 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 167/211
---	------------	----------------

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 micoteau 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 755mm 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantic	que	29/02/2012	Page: 168/211

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 règlementaire de 1 mSv/an.

9.5 EVALUATION DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR MODELISATION – SITE DE L'ECARPIERE

Dans le cadre de la loi de gestion durable des matières et déchets radioactifs n°2006/739 du 28 juin 2006 et du PNGMDR (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs), AREVA a remis fin 2008 au ministre chargé de l'environnement et de l'Energie, des études menées sur l'impact à long terme des stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium, dont celui de l'Ecarpière. Ces études ont été réalisées en appliquant une méthodologie basée sur la modélisation des différentes voies d'atteinte auxquelles sont exposées les populations riveraines.

Les voies de transfert prises en compte sont :

- La dose externe due au site,
- La dose inhalation due aux émanations de radon,
- La dose inhalation due aux poussières,
- La dose ingestion,
- La dose externe due à un dépôt suite à l'irrigation.

Conformément à la méthodologie, plusieurs scénarii ont été étudiés :

- Le scénario de référence correspondant à la situation d'évolution normale du stockage avec évaluation de la dose efficace ajoutée pour les groupes de référence (adulte, enfant) ou pour des personnes intervenant ou se promenant sur le site avec prise en compte des différentes voies d'exposition externe ou interne,
- Cinq scénarios altérés :
 - o Perte d'intégrité de la couverture et de la digue,
 - Résidence sur le stockage avec couverture,
 - o Chantier de terrassement d'une route de campagne,
 - Jeux d'enfants sur le tas excavé par le chantier routier,
 - Résidence sur le stockage sans couverture.

Il est à noter que les scénarii altérés cités précédemment possèdent une probabilité d'occurrence très faible voire nulle.

En conclusion, « pour le scénario de référence, en phase de surveillance active, la dose totale à l'adulte et à l'enfant aux alentours du site est largement inférieure à la limite réglementaire de 1 mSv sur une année. Elles sont respectivement de 730 µSv pour l'adulte et 760 µSv pour l'enfant.

Pour les scénarios altérés, le scénario le plus pénalisant est la construction d'une résidence sur site sans couverture pour lequel les doses totales sont de 30 mSv et de 39 mSv, respectivement pour l'adulte et l'enfant. ».

Bilan environ	nemental – Sites	miniers de L	oire-Atlantique		2
---------------	------------------	--------------	-----------------	--	---



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 ali 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 floculants 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 de la Loire-Atlantique à l'exception du site de l'Ecarpière. Les eaux du site du Chardon ne font pas l'objet d'un traitement physico-chimique mais sont soumises à des modalités de rejet propres au contexte local.

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 relat if 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 171/211
---	------------	----------------

Sont concernées :

- 1. Les eaux d'essorage
- 2. Les eaux de ruissellement
- 3. Les eaux de la station de traitement.

Les valeurs de rejet sont précisées dans le tableau suivant :

Paramètres	Limite de teneur	Type d'equ concerné	Fréquence de	prélèvement
rarametres	Limite de teneur	Type d'eau concerné	Hebdomadaire	Mensuel
Débit	/	1 + 3	3	1
рН	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 p	récisé

^{1 :} eaux d'essorage

En cas de rejet dans le milieu naturel, la qualité des eaux devra répondre aux critères suivants :

Paramètres	Limite de teneur
рН	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.

^{2 :} eaux de ruissellement

^{3 :} eaux de la station de traitement

^{*:} en moyenne mensuelle

Sont concernées :

- 1. Les eaux d'exhaure
- 2. Les eaux ruissellement
- 3. Les eaux de la station de traitement.

Paramètres	Limite de teneur	Fréquence des échantillons
рН	5,5 à 8,5 *	Hebdomadaire
MES	30 mg/l *	Hebdomadaire
Fer	Fer 5 mg/l * Hebd	
²³⁸ U _{soluble} 1,8 mg/l * Hebdomadaire		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.

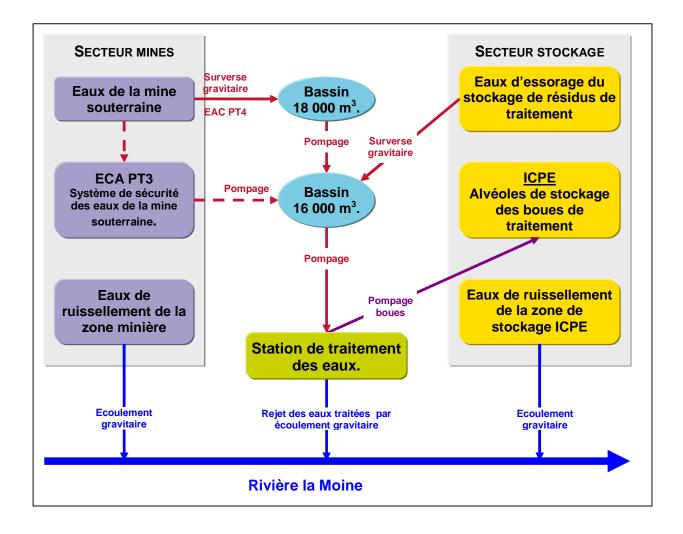
Février 1990	L'arrêt de l'exploitation de la mine souterraine s'accompagne d'un arrêt de l'exhaure et provoque le début du noyage des travaux miniers souterrains. Le niveau de la remontée des eaux est contrôlé.
Mars 1991	L'usine de traitement des minerais est arrêtée ainsi que les dépôts de résidus dans le bassin de stockage. Les eaux de percolation sont récupérées dans le bassin inférieur (bassin 16 000 m³) 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 apparait 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 m³/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.

Afin d'assécher le bassin de stockage Sud, les eaux d'essorage sont traitées après avoir transité par le bassin 20 000 m3 (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 : Les eaux d'essorage du stockage de résidus par les fossés de ceinture et les drains sont collectées dans le bassin 16 000m³. Eté 1993 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. Le bassin dit du « bras mort de la MOINE » est agrandi en 1995 pour atteindre un volume utile de 18 000 m³. Un nouveau sondage est foré jusqu'au niveau -70 à proximité immédiate de ce bassin Avril (ECA PT4 - profondeur 20 m). Il permet l'exutoire par gravité des eaux de la mine en un point 1995 unique, à une cote topographique la plus basse et parfaitement identifié (la tête du sondage est située à une côte 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 sur verse 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'arrêté 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 S.E.P.A.¹ 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 S.E.P.A., celuici 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 S.E.P.A., 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.

♦ 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 1à 2,0g/L) :

$$Ra^{2+} + BaCl_2 + SO_4^{2-} \rightarrow (\underline{Ba, Ra})SO_4 + 2Cl^{-}$$

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) :

$$4Fe^{2+} + 8OH^{-} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH_{\nu})_3$$

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique

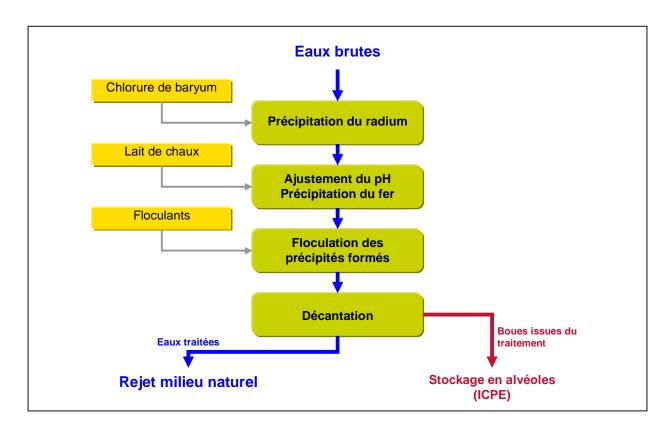
29/02/2012

¹ Service d'Etudes, de Procédés et d'Analyses

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	рН	M.E.S. mg/l	U ₂₃₈ soluble μg/l	Ra ₂₂₆ soluble Bq/I	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	рН	M.E.S. mg/l	U ₂₃₈ soluble µg/l	Ra ₂₂₆ soluble Bq/l	Ra ₂₂₆ insoluble Bq/I	Ra ₂₂₆ total Bq/I	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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 178/211
---	------------	----------------

> 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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

Page: 179/211

♦ 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 du Chardon

CADRE REGLEMENTAIRE

Le site du Chardon, qui a uniquement abrité des installations d'exploitation minière de minerais d'uranium, est soumis à la règlementation du code minier.

La surveillance du site du Chardon est déterminée par l'arrêté préfectoral en date du 25 janvier 2002 qui remplace les arrêtés préfectoraux du 21 novembre 1995 et 23 avril 1998. Il prescrit un contrôle de la qualité du vecteur eau pour :

- Les eaux souterraines avec :
 - Le suivi des piézomètres 1 à 6.
 - Le suivi des puits de village : la Ganolière, le Pâtis, la Grande Galussière sud, la Grande Galussière nord, la Grande Métairie (forage), la Sénardière, la Brécholière, la Gaubertière, la Pyronnière.
- Les eaux superficielles : MCO du Chardon, carrière de la Margerie, Sèvre Nantaise à Angreviers, ruisseau de la Margerie en aval du site.

Les modalités de suivi sont détaillées dans le tableau suivant :

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 180/211
---	------------	----------------

Points de prélèvement	Paramètres suivis	Fréquence
Piézomètres 2 et 3 MCO Carrière de la Margerie. Ruisseau de la Margerie Sèvre Nantaise	pH Radium 226 soluble Uranium 238 soluble NaCl	Mensuel
Piézomètres 1, 4, 5 et 6.	pH Radium 226 soluble Uranium 238 soluble NaCl	Trimestriel
Puits fermiers	pH Radium 226 soluble Uranium 238 soluble	Semestriel

Un pompage de la MCO est réalisé annuellement, et permet d'abaisser le niveau piézométrique à une altitude telle qu'elle interdise toute émergence naturelle. Ce pompage doit être réalisé sous les conditions suivantes :

- Le rejet par pompage de l'eau contenue dans l'ancienne MCO est autorisé du 1 novembre au 1 juin suivant;
- Ce rejet doit être effectué :
 - o dans le ruisseau de la Margerie sous réserve que le débit du ruisseau soit au minimum 6 fois celui du pompage,
 - o dans la Sèvre Nantaise par canalisation spéciale.

Ce rejet doit également respecter les limites suivantes :

Paramètres	Limite de teneur
рН	5,5 à 8,5
NaCl	0,5 g/l
Ra 226 soluble	0,37 Bq/l
U 238 soluble	1,8 mg/l

En période de rejet, ces paramètres ainsi que le fer, sont mesurés hebdomadairement sur les points suivants : eaux pompées de la MCO, ruisseau de la Margerie, Sèvre nantaise (chaussée d'Angreviers)

Un registre des pompages est tenu et permet d'archiver la date du pompage, le volume rejeté, le débit moyen du ruisseau de la Margerie

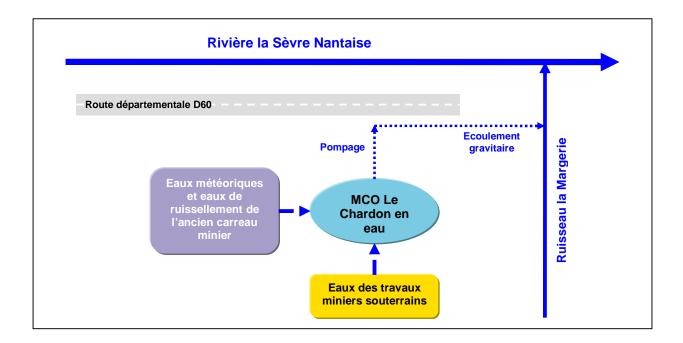
Les analyses sont complétées une fois par an par celles effectuées par un laboratoire extérieur à AREVA et retenu par la Commission de Suivi.

➢ CIRCUIT DES EAUX DU SITE

Le circuit des eaux du site du Chardon a fait l'objet de modifications successives depuis l'arrêt de l'exploitation des mines, et ce afin d'améliorer la qualité de rejets des eaux.

Le tableau suivant décrit succinctement l'évolution de ce circuit des eaux.

24 Mai 1991	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.		
Juin à octobre 1991	Travaux de réaménagement dont l'installation d'un système de pompage en fond de MCO pour permettre son remblayage hors d'eau.		
22 mai 1992	Courrier de la DRIRE qui arrête le remblayage de la MCO du Chardon.		
31 mars 1992	Accord DRIRE à COGEMA pour le mode opératoire de remblayage de la MCO en eau par AUBRON-MECHINEAU.		
Juin 1997	Apparition de l'émergence 1 au sud, dans une prairie appartenant à AUBRON-MECHINEAU (ancienne MCO Racine sud remblayée et revendue en 1989), écoulement dans le ruisseau de la Brécholière affluent du ruisseau Margerie.		
Juillet 1997	Installation et mise en service du pompage de l'émergence 1 vers la MCO. CHARDON : arrêt de l'écoulement dans le ruisseau Brécholière.		
12 décembre 1997	Apparition de l'émergence N 2 à l'emplacement du montage 292. Écoulement dans un bassin d'eau de ruissellement qui s'écoule dans le ruisseau Brécholière.		
15 décembre 1997	Demande COGEMA d'autorisation de mise en œuvre du système de gestion des eaux du site du CHARDON. Pompage dans la MCO CHARDON avec rejet dans la Margerie.		
31 mars 1998	Réunion d'information « public » sur le système de gestion des eaux		
23 avril 1998	Arrêté préfectoral autorisant le rejet. <u>1^{ère} campagne de rejet.</u>		
Mai à septembre 1999	Etude hydrogéologique et proposition de mise en place d'une solution pérenne (G. BOURASSEAU).		
2002	Etude hydrogéologique par le Cabinet GEOARMOR		
Novembre 2003	Première campagne de rejet suivant les prescriptions de l'Etude GEOARMOR.		



LE REJET DES EAUX DU CHARDON

• Informations techniques détaillées

La particularité des eaux de la mine du Chardon est leur concentration en chlorure de sodium qui atteint voire dépasse 10 g/l. Plusieurs études ont été menées afin de déterminer l'origine des chlorures. D'après le rapport effectué par le cabinet GEOARMOR en 2002, la dernière l'étude hydrogéologique (Beaucaire et al - 1999) concluait sur une origine multiple des eaux. L'évolution chimique de la haute teneur en ions Cl⁻ dans les eaux souterraines de la mine du Chardon est assimilée à un mélange entre une eau de recharge oxydée et une composante d'eau fossile d'origine marine sur lesquelles viennent se surimposer les interactions eau/roche.

Une étude hydrogéologique menée en 2002 a permis de montrer qu'il était alimenté par des venues d'eau provenant du compartiment granitique et pour une faible part, par des précipitations directes ; les précipitations étant rapidement évacuées dans les régions de socle cristallin par les cours d'eau. Les travaux miniers au fur et à mesure de leur extension et approfondissement ont affecté de nombreux puits fermiers dans l'environnement. Le noyage des travaux miniers montrent le retour à une situation comparable à celle avant l'exploitation minière.

Depuis l'arrêt des installations, les eaux souterraines du site du Chardon ont rempli l'ancienne mine à ciel ouvert. En 1998 un pompage avec rejet direct dans le milieu naturel a été mis en place.

Principe du rejet

♦ Observations

Si le niveau de l'eau dans la mine à ciel ouvert dépasse l'altitude d'environ 21,50 mètres NGF, de l'eau profonde sort par l'émergence du secteur de La Racine.

Si le niveau de l'eau dans la mine à ciel ouvert baisse en dessous de l'altitude d'environ 17,00 mètres NGF, de l'eau saumâtre remonte dans la mine à ciel ouvert.

♦ Objectif

Le maintien du niveau d'eau dans la mine à ciel ouvert à une altitude comprise entre 17 et 21 mètres vise à diminuer les concentrations en chlorure de sodium, radium 226 et uranium 238.

♥ Historique

A la suite de l'apparition d'émergences sur le site du Chardon, dont les eaux ne répondaient pas de façon satisfaisante aux critères de qualité, COGEMA a envoyé, le 15 décembre 1997, un dossier de demande d'autorisation au Préfet de Loire-Atlantique pour modifier le système de gestion des eaux sur le site du Chardon, et mettre en œuvre la solution qui lui paraissait la plus efficace pour maintenir l'impact sur l'environnement aussi faible que possible.

L'émergence 1 s'est tarie lorsque le niveau dans la MCO a été rabattu sous la cote 19,48 m NGF.

♥ Principe

COGEMA a reçu, par arrêté préfectoral du 23 avril 1998, l'autorisation de mettre en œuvre pour la période de l'année se situant entre le 1er novembre et le 1er juin suivant, un pompage des eaux de l'ancienne mine à ciel ouvert soit vers le ruisseau de la Margerie (au niveau du pont de la route reliant Gorges à Saint-Fiacre-sur-Maine), à condition que le débit de celui-ci soit au minimum six fois celui du pompage, soit directement vers la Sèvre nantaise (par canalisation spéciale).

La solution mise en place consiste à maintenir bas le niveau de la MCO pour que les émergences disparaissent et à rejeter les eaux pompées dans le ruisseau de la Margerie sous condition de débit et de qualité. Cette solution est autorisée à l'origine par l'Arrêté Préfectoral du 23-04-1998 puis ceux du 3 décembre 2001 et 25 janvier 2002.

Les rejets se font de novembre à fin mai au débit adapté à celui du ruisseau récepteur.

Depuis 1998, le circuit principe de gestion des eaux n'a pas été modifié. Il gère le niveau d'eau dans la mine à ciel ouvert

♥ Procédé

Avant pompage, une mesure de débit est réalisée dans le ruisseau de la Margerie. Le pompage des eaux dans la MCO est alors réalisé, avec un ajustement sur le débit de la Margerie avec un rapport de 1 pour 6 au minimum.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	
---	--

➤ L'EFFICACITE DU SYSTEME DE GESTION DES EAUX DU CHARDON

Evolution de la qualité des eaux de la mine à ciel ouvert de 1998 à 2003

Moyenne	рН	Ra ₂₂₆ soluble Bq/l	U ₂₃₈ soluble µg/l	Chlorure de Sodium mg/l	Fer mg/l
1998	7,4	0,16	728	2824	0,11
2003	7,7	0,41	2260	2248	0,06
Rendement	+ 4 %	+ 256 %	+310 %	- 20 %	-45 %

Les résultats moyens du rejet des eaux sur les 5 premières années montrent les lacunes du système de gestion des eaux avant l'étude GEOARMOR. L'activité volumique en radium 226 et les concentrations en uranium 238 ont augmenté respectivement de 256% et 310%.

Evolution de la qualité des eaux de la mine à ciel ouvert de 2003 à 2010

Moyenne	рН	Ra ₂₂₆ soluble Bq/l	U ₂₃₈ soluble µg/l	Chlorure de Sodium mg/l	Fer mg/l
2003	7,7	0,41	2260	2248	0,06
2010	8,0	0,14	1066	1352	0,07
Rendement	+ 4 %	- 66 %	- 53 %	- 40 %	+ 17 %

Les résultats moyens du rejet des eaux sur les 8 dernières années montrent l'efficacité du système de gestion des eaux mis en place en 2003 à la suite des conclusions de l'étude GEOARMOR. La concentration des eaux en radium 226 soluble a baissé de 66 %, la concentration en uranium 238 et en chlorure de sodium respectivement de 53% et 40%.

> AUTRE SOLUTION DE REJET DES EAUX DU CHARDON

En 1997, dans le dossier de « Demande d'adaptation du système de gestion des eaux du site du Chardon », COGEMA a également proposé un rejet direct des eaux du site du Chardon dans la Sèvre Nantaise. Deux tracés avaient été envisagés, cette solution complexe en terme de mise en œuvre (canalisation enterrée sur des terrains privés, coût) a été écartée au profit du rejet dans le ruisseau de la Margerie.

Page: 185/211

> OPTIMISATION DU REJET DES EAUX DU CHARDON

En 1999, le rapport sur « La gestion des eaux du site du Chardon » de Gaëtan Bourasseau évoque la possibilité d'un rejet gravitaire. Le projet consiste en un forage subhorizontal qui permet l'écoulement des eaux de la MCO vers le ruisseau de la Margerie. A ce jour la difficulté de mise en service de ce système est due :

- à la réalisation du forage.
- au fait que la concentration des eaux en sel doit être inférieure à 500 mg par litre.

Conclusion

Le système de gestion des eaux du site du Chardon, permet de gérer le niveau d'eau dans la mine à ciel ouvert afin d'éviter toute émergence dans le secteur de la Racine. Il apparait également que depuis l'application des principes issus de l'étude GEOARMOR, les concentrations en radioéléments et en chlorure de sodium sont en baisse constante. Le maintien de la gestion actuelle permet d'envisager dans 10 ans la possibilité de mise en place d'une solution pérenne par écoulement gravitaire vers le ruisseau de la Margerie.

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 de la Loire-Atlantique, 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	
		Résidus de traitement dynamique	Couverture : 1 à 8 m de produits de décapage et de résidus de	
		Résidus de lixiviation en tas	 lixiviation statique compactés pour remodeler la surface; 30 cm de matériaux compactés provenant d'une 	
L'Ecarpière 370 TBq	370 TBq	tas dans la construction	 carrière de gabbro 10 cm de terre végétale issue pour la majeure partie du site. Revégétalisation par ensemencement 	
			Création de 2 plateformes de 1 ha chacune sur le stockage de résidus. Couverture identique au stockage de résidus	
	Boues prove traitement des e		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.	

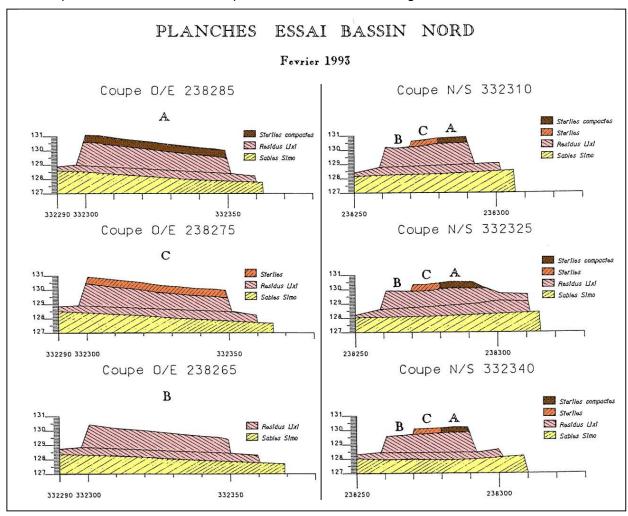
Les modalités de mise en place de la couverture du stockage ont été déterminées suite à une étude d'efficacité réalisée en 1993 sur des planches d'essais lors du réaménagement.

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 187/211
---	------------	----------------

Les trois planches d'essais mises en place sont décrites dans la figure suivante :



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'està-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		2,85.10 ⁻¹ Bq/m²/s	4,47.10 ⁻² Bq/m²/s
Flux maximal	Par point	2,80 Bq/m²/s	5,36.10 ⁻² Bg/m²/s
	Par zone	1,13 Bq/m²/s	5,30.10 Bq/III-78
Flux minimal	Par point	5,11.10 ⁻³ Bq/m²/s	3,20.10 ⁻² Bg/m²/s
i iux illillillai	Par zone	3,50.10 ⁻² Bq/m²/s	3,20.10 Bq/III-/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 20.

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. »

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 189/211
---	------------	----------------

Lors de cette même étude, des mesures du débit de photons gamma ont été effectuées avec un scintillomètre portatif de type SPPy.

Une cartographie des moyennes par zone des débits de photons gamma au moyen est présentée en Figure 21.

« 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

La majorité des sites du département de Loire-Atlantique ne possèdent pas de verse à stériles.

Seuls les sites de l'Ecarpière, le Chardon et les Mortiers possèdent aujourd'hui 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'està-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)

Page: 190/211

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012
---	------------

SITE DU CHARDON

La verse à stériles miniers du site du Chardon est actuellement gérée par la Société AUBRON – MECHINEAU dans le cadre d'une exploitation de granulats.

Suite aux visites d'état des lieux de 2011, des valeurs de débit de dose ont été estimées à partir des mesures radiométriques. Ces valeurs estimées sont comprises entre 255 et 845 nGy/h. Elles sont donc de l'ordre de 2 à 8 fois le bruit de fond pris comme référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).

Afin d'estimer un risque potentiel d'exposition des travailleurs susceptibles de séjourner à proximité de la verse, un réseau de mesure a été mis en place depuis 2010. Il comprend (cf. Figure 23):

- Un dosimètre alpha de site (EAP Rn220 et 222 et poussières,
- Quatre dosimètres thermoluminescents (débit d'équivalent de dose).

Les résultats sont figurés dans les tableaux ci-après.

Débit de dose gamma

Station		Année 2010		
Station	Minimum en nGy/h Maximum en nGy/h Moyenne en nGy/h		Moyenne en nGy/h	
Station 1 (sur site)	140	280	190	300
Station 2	100	140	120	130
Station 3	220	300	250	260
Station 4	150	190	170	180

EAP Radon 222 (chaîne de l'uranium 238)

Station	Année 2011			Année 2010	
Station	Minimum en nJ/m ³	Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m³	Moyenne en nJ/m³	
Station 1 (sur site)	14	111	50	52	

EAP Radon 220 (chaîne du thorium232)

Station		Année 2010			
Minimum en nJ/r		Maximum en nJ/m ³	Moyenne en nJ/m³	Moyenne en nJ/m³	
Station 1 (sur site)	4	19	10	10	

On constate que les niveaux moyens obtenus sur 2 années sont de l'ordre de :

- 50 nJ.m⁻³ pour l'EAP Rn222,
- 10 nJ.m⁻³ pour l'EAP Rn220,
- 200 nSv.h⁻¹ pour le débit d'équivalent de dose ambiant,
- L'activité alpha volumique des poussières à vie longue est restée inférieure à 0,3 mBq.m⁻³.

Ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs fournies par les stations de référence visées par le paragraphe 8.2.3 (stations de Bel Air, La Brise, Beau Rivage et Boussay Bellevue) (moyenne 2009 à 2011) :

- 50 à 114 nJ.m⁻³ pour l'EAP Rn222 (moyenne : 71 nJ.m⁻³),
- 10 à 26 nJ.m⁻³ pour l'EAP Rn220 (moyenne : 16 nJ.m⁻³),
- 100 à 140 nSv.h⁻¹ pour le débit d'équivalent de dose ambiant (moyenne : 107 nSv.h⁻¹),
- L'activité alpha volumique des poussières à vie longue est inférieure à 0,3 mBg.m⁻³.

Il apparait ainsi que les niveaux d'EAP liés aux radons 220 et 222 sont du même ordre de grandeur sur le site que dans le milieu naturel, et que le débit d'équivalent de dose ambiant est supérieur d'une valeur d'environ 100 nSv.h⁻¹ au niveau naturel régional.

Ce constat signifie qu'une personne séjournant 2000 heures par an (« activité professionnelle ») dans l'environnement proche de la verse à stérile dans son état actuel et sans aucun travail sur cette verse, est susceptible d'être exposé à une dose efficace ajoutée par rapport au milieu naturel de 0,2 mSv par an.

Cette valeur peut être comparée à la limite de 1 mSv qui est considérée actuellement par la réglementation française comme la limite annuelle à respecter pour une personne du public vivant dans l'environnement d'un site susceptible d'être source d'exposition aux rayonnements ionisants.

SITE DES MORTIERS

A la fin de l'exploitation de la mine à ciel ouvert, la verse à stériles du site des Mortiers a fait l'objet d'un remodelage selon la topographie avoisinante. Elle est actuellement utilisée comme terrain de moto-cross.

Suite aux visites d'état des lieux de 2011, des valeurs de débit de dose ont été estimées à partir des mesures radiométriques. Ces valeurs estimées sont comprises entre 160 et 331 nGy/h, avec ponctuellement 402 nGy/h sur 8 m².

Ainsi, la majorité des valeurs restent inférieures à 3 fois le bruit de fond pris comme valeur de référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 192/211
---	------------	----------------

S'agissant des stériles miniers utilisés dans le domaine public, un relevé des contrôles radiométrique préalable des produits a été réalisé à partir de 1984.

Les principales caractéristiques sont décrites dans le tableau suivant :

Sites	Radiométrie SPPγ (chocs/s)			Estimation du débit de dose (nGy/h)		
Sites	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
L'Ecarpière	480	591	577	390	456	448
Le Chardon	529	760	737	419	556	542
Mines des secteurs de Guérande et Piriac-sur-Mer	172	539	406	209	425	347

Les valeurs de débit de dose sont comprises entre 209 et 556 nGy/h. Elles sont donc de l'ordre de 2 à 5,5 fois le bruit de fond pris comme référence pour le milieu naturel (100 nGy/h).



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 zones déterminées à risques en surface au niveau des anciens travaux miniers souterrains ont fait l'objet d'une mise en sécurité :
 - o Mise en place de périmètre sur les sites de l'Ecarpière et du Chardon,
 - Investigation par sondage sur le site de Pen Ar Ran permettant de confirmer l'absence de vides miniers résiduels,
- La mise en sécurité des travaux miniers souterrains à été réalisée dans les règles de l'art,
- Les mines à ciel ouvert possédant un risque de chutes liés à des parements ont fait l'objet d'une mise en sécurité (périmètre sur les sites de l'Ecarpière et du Chardon. Les autres mines à ciel ouvert ne sont pas concernées par la présence de parements importants.

Aucune action corrective n'est prévue.

Cependant, la surveillance visuelle des sites et l'entretien des clôtures des périmètres de sécurité doivent être maintenues.

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 de Loire-Atlantique fait l'objet d'une étude décrite au paragraphe 11.2 GESTION DES STERILES 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 significatif des sédiments n'a été repéré en aval des anciens sites miniers uranifères du département de la Loire-Atlantique
- L'utilisation à des fins d'irrigation des eaux des mines à ciel ouvert de Kercredin, Keroland et la Métairie Neuve n'est pas compatible avec la lettre DRIRE du 25/05/1993 actant de la déclaration de délaissement. Il est cependant à noter que les concentrations en uranium et radium 226 solubles mesurées dans ces plans d'eau sont du même ordre de grandeur. Les concentrations maximales ont été relevées sur le site de Keroland. Elles s'élèvent à 5,7 μg/l en uranium soluble et à 0,11 Bq/l en radium 226 soluble. Pour comparaison, cette valeur est inférieure à la recommandation de l'Organisme Mondiale de la Santé (OMS 2011), qui donne un seuil de 30 μg/l pour une eau de consommation;
 - ⇒ Une régularisation de la situation pourrait être engagée en lien avec les propriétaires des terrains concernés et l'administration.
- 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);
- La gestion des eaux du site du Chardon est adaptée à la nature des eaux et au contexte hydrogéologique du site. Elle est réalisée conformément à l'arrêté préfectoral en vigueur. Elle permet de maitriser les concentrations en chlorure de sodium des eaux de la MCO tout en écartant le risque de résurgence de ces eaux.
- Il n'y a pas d'impact significatif des autres sites miniers uranifères sur les principaux cours d'eau en aval des sites.

POUR LES PLANS DE SURVEILLANCE DES SITES

La surveillance réalisée sur les sites de l'Ecarpière et du Chardon est adaptée, mais a peu évolué depuis la fin des réaménagements.

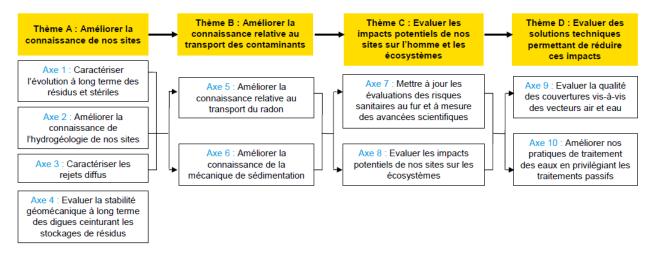
Un allègement de cette surveillance est souhaité et fera l'objet d'une demande spécifique.

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 ».

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 de la Loire-Atlantique.

11.2 GESTION DES STERILES MINIERS

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 des secteurs de Clisson et Guérande - Piriac. La Figure 23 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.

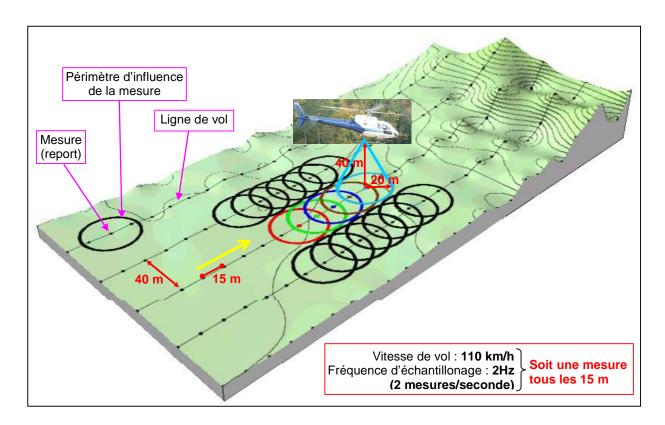
La méthode retenue est la réalisation d'un levé spectrométrique héliporté de très haute résolution.

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 héliporté 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 (Nal): 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 la Loire-Atlantique, la phase 1 (reconnaissance par survol héliporté) a été réalisée en septembre 2010. A ce jour, les résultats sont en attente d'interprétation après reconnaissance au sol (phase 2).

11.3 INFORMATIONS 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 du Chardon (travaux miniers).





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°: Feuilles de : La Roche-Bernard (N°449), Saint-Nazaire (N°479) et Clisson (n°509).
- [3] Site Internet Wikipédia article sur la Géographie de la Loire-Atlantique : http://fr.wikipedia.org/wiki/Géographie de la Loire-Atlantique
- [4] Site Internet de l'INSEE : Statistiques locales (Cartes interactives) : http://www.statistiques-locales.insee.fr
- [5] Site Internet Wikipédia article sur le Climat de la Loire-Atlantique : http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat de la Loire-Atlantique
- [6] Site Internet Hydro-Banque : http://www.hydro.eaufrance.fr
- [7] Site Internet de la DDASS & DRASS des Pays de Loire (rubrique Eaux potables en Loire-Atlantique) : http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr/envir/seep44.html
- [8] Site Internet de la Direction départementale des territoires et de la Mer de la Loire-Atlantique : http://www.loire-atlantique.equipement-agriculture.gouv.fr
- [9] Site Internet Oh La Loire Atlantique (portail officiel du Tourisme en Loire-Atlantique) : http://www.ohlaloireatlantique.com
- [10] BRGM, Ph. CARLIER, Site Minier de l'Ecarpière, Gétigné (Loire-Atlantique) Etude hydrogéologique – Conditions de gisement et circulation des eaux souterraines au droit du site, relations avec les eaux superficielles, Rapport n°R 34 405, Janvier 1992
- [11] COGEMA Philippe CROCHON, Site minier du Chardon Dossier de délaissement Etude hydrogéologique, Février 1995
- [12] COGEMA B. MOUROUX, Fermeture du siège minier de Pen Ar Ran Hydrogéologie, Février 1990

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 201/211
---	------------	----------------

- [13] Site Internet du MEDTL : Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-national-de-gestion-des.html
- [14] 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

Page: 202/211

Liste des figures, annexes et plans

FIGURES Figure 1: Carte du relief et des paysages de la Loire-Atlantique Figure 2: Sites miniers et bassins versants de la Loire-Atlantique Figure 3: Site de l'Ecarpière - Emprise du maillage du modèle hydrodynamique Figure 4: Site du Chardon - Influence des travaux miniers en cours d'exploitation sur les puits fermiers dans l'environnement Figure 5: Production cumulée : minerai – Département de la Loire-Atlantique Figure 6: Comparaison entre le débit de photons mesuré au SPPy et le débit de dose Gamma mesuré avec DTL ou chambre d'ionisation Figure 7: Inventaire de cession de stériles miniers – Sites de Loire-Atlantique Figure 8: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site de l'Ecarpière Figure 9: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site du Chardon Figure 10: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site des Mortiers Figure 11: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site de Tesson Figure 12: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site de Kercredin Figure 13: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Sites de la Garenne et de la Métairie Neuve Figure 14: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site de Keroland Figure 15: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Sites du Cormier et de Coispean Figure 16: Résultats d'analyses dans le milieu aquatique : Site de Pen Ar Ran Figure 17: Résultats d'analyses dans l'air : Site de l'Ecarpière Figure 18: Résultats d'analyses dans l'air : Site du Chardon Figure 19: Résultats d'analyses dans la chaîne alimentaire : Site de l'Ecarpière Cartographie de la répartition par zone des flux surfaciques d'exhalation de radon 222 sur le Figure 20: site de l'Ecarpière

la verse du Chardon sur des travailleurs travaillant à proximité

Zones concernées par le survol aérien en Loire-Atlantique

Moyennes par zone des débits de photons gamma au moyen d'un appareil type SPPGamma

Position des dosimètres mis en place dans le cadre de l'évaluation de l'impact dosimétrique de

Figure 21:

Figure 22:

Figure 23:

sur le site l'ECARPIERE (44)

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

Annexe 6 : Arrêté préfectoral du 07 juin 2010 relatif à la réalisation d'un bilan environnemental des sites de

la Loire-Atlantique

<u>PLAN</u>

Plan : Situation des sites miniers uranifères exploités sur le département de la Loire-Atlantique

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.

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02/2012 Page : 205/	al – Sites miniers de Loire-Atlantique 29/02/2012 Page:	205/211
--	---	---------

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 (µG/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).

Bilan environnemental – Sites miniers de Loire-Atlantique	29/02/2012	Page : 206/211
---	------------	----------------

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

CEA Commissariat à l'Energie Atomique

CESAAM Centre d'Etudes et de Suivi des Anciennes Activités Minières

CFM Compagnie Française de Mokta
CIM Compagnie Industrielle Minière

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

DRIR Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche

DRIRE Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

DTL Dosimètre Thermo-Luminescent

EAP Energie Alpha-Potentielle

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

Ma Million d'Années
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
RESS société pour la Recherche et l'Exploitation du Sous-Sol

RGIE Règlement Général des Industries Extractives
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