

Contamination par des micropolluants minéraux de la nappe alluviale de la basse vallée de l'Orne (Calvados)

BRGM/RP-53229-FR

juillet 2004

Contamination par des micropolluants minéraux de la nappe alluviale de la basse vallée de l'Orne (Calvados)

BRGM/RP-53229-FR

juillet 2004

Etude réalisée dans le cadre des opérations
de Service Public du BRGM 04-EAU-G05

E. Equilbey
Avec l'aide technique de Gilles Braibant

Mots clés : Analyse, Pollution, Panache, Sol, Eau, Alluvion, Crassier, Sidérurgie, Impact, Diagnostic, Arsenic, Bore, Baryum, Cobalt, Chrome, Cuivre, Fer, Lithium, Manganèse, Nickel, Plomb, Silice, Strontium, Zinc, Nappe alluviale, AEP, vallée Orne, Caen, Mondeville, Colombelles, Calvados.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

E. Equilbey (2004) – Contamination par des micropolluants minéraux de la nappe alluviale de la basse vallée de l'Orne (Calvados). Rap. BRGM/RP-53229-FR, 54 p., 2 fig., 2 tabl., 3 ann.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

A la demande de la DRIRE de Basse-Normandie (subdivision de Caen 1), le Service Géologique Régional Basse-Normandie du BRGM est allé échantillonner en plusieurs points de la basse vallée de l'Orne les eaux de la nappe alluviale.

Cette demande fait suite au constat d'une atteinte des eaux alluviales par l'arsenic au droit du site de Renault Véhicules Industriels (RVI), impact qui s'est lourdement accentué durant l'année 2003-2004 en cours. Le site de RVI est situé en aval immédiat d'une ancienne industrie sidérurgique (Unimétal Normandie) : les lieux de stockage et de traitement en vallée alluviale ont été dans le passé tardivement confinés après l'arrêt de l'activité sidérurgique, et le sol de la zone de friches constitue une source avérée de nombreux polluants, dont des éléments mineurs.

Afin de préciser l'éventuel lien entre les deux sites, c'est l'ensemble des éléments mineurs les plus courants qui a été dosé. Si les échantillonnages n'ont pu être tous effectués dans les bonnes conditions de validité des prélèvements, la présence conjointe dans les eaux alluviales de nombreux métaux, en quantité importante (Arsenic, Bore, Fer, Manganèse et Strontium) ou non (Baryum, Bore, Cobalt, Cuivre, Chrome, Lithium, Nickel, Zinc) indique vraisemblablement qu'il s'agit là d'une même origine de pollution.

Les résultats indiquent la présence généralisée et significative de nombreux éléments mineurs dans les eaux alluviales sur les 4 points échantillonnés, y compris sur le site le plus amont de la zone de sols pollués (site DPC – Dépôts Pétroliers et Combustibles – qui aurait été auparavant le quai de déchargement des matériaux miniers alimentant les hauts fourneaux).

Les teneurs mesurées en mai 2004 indiquent une altération minérale majeure des eaux alluviales de la basse vallée de l'Orne, entre la rivière et le canal maritime. Les éléments à l'origine de cette déclassification généralisée de la nappe alluviale comme eaux de très mauvaise qualité et non potables (même après traitement) sont l'Arsenic mais aussi le Fer, le Manganèse et, dans une moindre mesure, le Bore. Par contre, les mesures en arsenic n'ont pas atteint les pics records de janvier 2004 (2 200 µg/l sur l'ouvrage MW16 du site RVI).

Le panache de pollution reste à diagnostiquer plus précisément, tant dans son étendue (en aval, en amont, limité à l'espace entre l'Orne et le canal maritime ou davantage en latéral), dans sa continuité, dans son ampleur ainsi que dans son évolution au cours du temps.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Situation géographique	9
3. Faits constatés	11
3.1. Campagne de mesures	11
3.2. Résultats.....	14
4. Diagnostic	17
5. Recommandations	19
6. Conclusions	21

Liste des illustrations

FIGURES

- Fig. 1 - Situation du site RVI et de ses alentours sur la carte topographique à 1 /25 000 (Caen 1513E, ©IGN)..... 8
- Fig. 2 - Extrait de la carte géologique à 1/50 000 (n°120 Caen, © BRGM)..... 10

TABLEAUX

- Tabl. 1 - Paramètres mesurés lors des prélèvements des échantillons d'eau..... 13
- Tabl. 2 – Résultats de la campagne de mai 2004..... 14

Liste des annexes

- Ann. 1 - Données fournies par la DRIRE..... 23
- Ann. 2 - Seuils définis pour le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ-EAU) pour les altérations minérales..... 33
- Ann. 3 - Synthèse du rapport BRGM 52066-FR (2003) : Guide Méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et des sols pollués..... 45

1. Introduction

Dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'installation classée de Renault Véhicules Industriels mise en place en 2002, il a été constaté que les fortes teneurs mesurées en arsenic des eaux alluviales sur certains ouvrages de suivi du site industriel (> VCI non sensible, Valeur de Constat d'Impact) - loin d'évoluer à la baisse - se sont mises à croître de manière soutenue.

La subdivision de Caen 1 de la DRIRE a chargé le BRGM d'investiguer la nappe alluviale dans les alentours du site RVI, notamment en amont, où se situent les friches industrielles de l'activité sidérurgique abandonnée d'Unimétal Normandie, le site de ce sous-sol a en effet été identifié comme pollué par de nombreux produits, dont de nombreux éléments mineurs comme l'Arsenic.

L'objectif du présent rapport n'est pas tant d'effectuer des mesures ponctuelles des teneurs précises en arsenic, que d'évaluer l'ampleur et l'étendue de la contamination éventuelle de la nappe alluviale par l'arsenic (et d'autres contaminants associés).

Le présent rapport est public dès sa fourniture et peut être communiqué à toute personne qui le demande (un exemplaire est envoyé à la DRIRE de Basse-Normandie, un à la DIREN de Basse-Normandie et un troisième au BRGM – SGR Basse-Normandie et Orléans). La page de synthèse en début de rapport peut être ou pourra être accessible à la consultation publique via les sites de consultation papier ou numérique du BRGM.

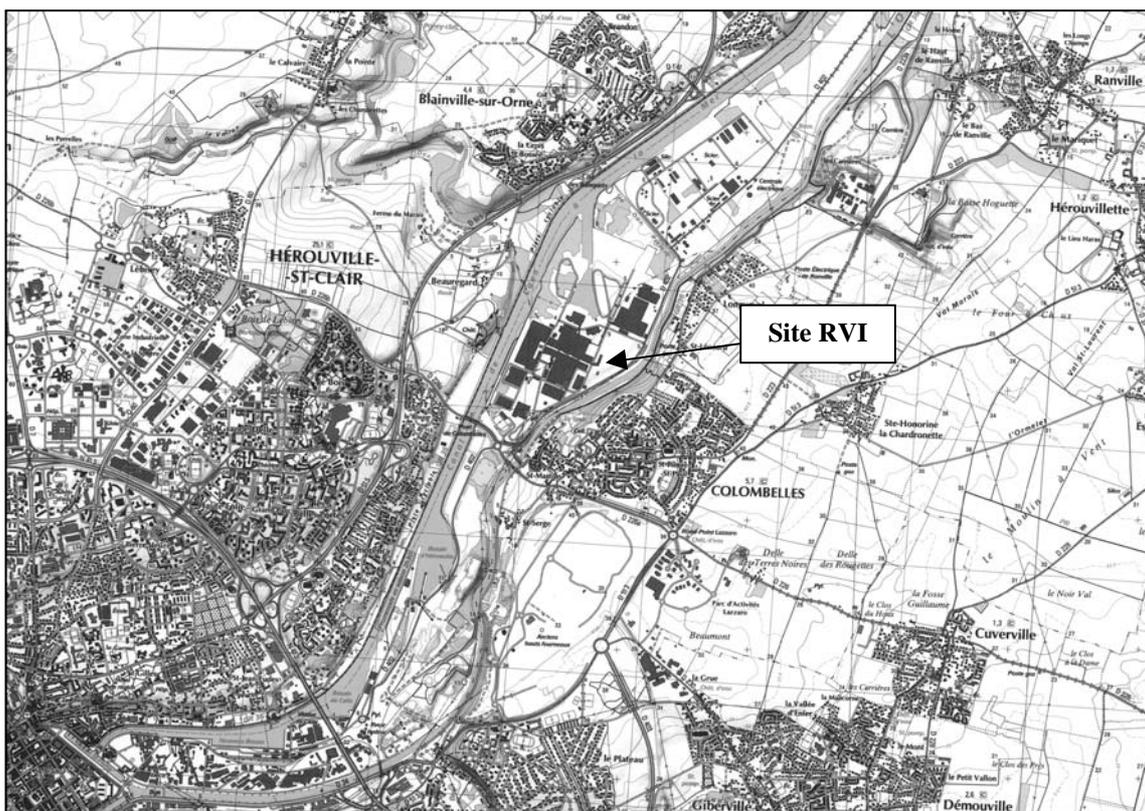


Fig. 1 - Situation du site RVI et de ses alentours sur la carte topographique à 1/25 000 (Caen 1513E, ©IGN)

2. Situation géographique

Le site de Renault Véhicules Industriels (RVI) est situé dans la partie basse de la commune de Mondeville, dans la vallée de l'Orne, à 5 Km au NE du centre ville de Caen. Il est localisé au milieu du fond de vallée, entre le canal à la mer et l'Orne (fig. 1 ; x = 510,660 ; y = 1145,630 ; Lambert Zone 1 ; z = + 90 m NGF).

Le site de l'ancienne activité sidérurgique d'Unimétal Normandie (ex S.M.N) est voisin en amont du site de RVI : l'essentiel des activités passées (usine, hauts fourneaux) était situé sur le plateau, alors que la vallée concernait les zones de stockage et certaines opérations de traitement.

D'un point de vue géologique (fig. 2), d'après la carte à 1/50 000 de Caen (n° 120, 1998, Ed. BRGM) et les données BSS (Banque de données du sous-sol gérée par le BRGM et accessible au public), le sous-sol du site est directement concerné par des dépôts marins, fins, sablo-argileux (Mz) d'épaisseur métrique, surmontant différentes couches d'alluvions fluviales plus anciennes (alluvions caillouteuses à gros blocs issues des bassins amont : schistes gréseux, quartzite, grès, granite). Ces dernières caractérisent les différentes phases de surcreusement de la vallée. Le bed rock sous la vallée est constitué par les calcaires du Bathonien et du Bajocien.

D'après la carte hydrogéologique du Calvados (1991, Ed. BRGM), les aquifères du Bajocien et du Bathonien sont en relative connexion. Ils sont généralement séparés par des calcaires marneux du Bathonien inférieur. Ce niveau est profond de quelques mètres (1m et plus) sous la vallée et les eaux s'écoulent en direction de la vallée de l'Orne vers l'aval.

Les aquifères calcaires bathoniens et bajociens sont drainés topographiquement par la vallée de l'Orne : mises en charge par les apports en provenance du plateau, les eaux de l'encaissant aquifère du bed rock se déchargent dans les graves de fond de la vallée, avant de rejoindre en surface la rivière proprement dite puis la mer. D'autre part, l'autre exutoire des eaux souterraines est la mer, par transit de flux sur le linéaire du littoral.

Le canal maritime est à une hauteur voisine légèrement supérieure à celle de l'Orne : l'écoulement piézométrique entre les deux lignes d'eaux de surface va donc du canal vers l'Orne.



Fig. 2 - Extrait de la carte géologique à 1/50 000 (n° 120 Caen, © BRGM)

3. Faits constatés

Pour tenter de préciser l'impact de cette contamination par l'arsenic et d'identifier l'origine parmi différentes sources potentielles, il a été procédé à des mesures des teneurs, non seulement de l'arsenic, mais également des éléments mineurs les plus courants.

3.1. CAMPAGNE DE MESURES

Afin d'apprécier l'éventuelle atteinte de la nappe par l'arsenic et d'autres métaux ou métalloïdes, c'est l'ensemble de la basse vallée de l'Orne de Caen à l'embouchure du fleuve qui a été considéré. Dans l'espace compris entre le canal maritime et l'Orne, peu d'ouvrages captant les alluvions sont identifiés.

De nombreux forages d'eau ont été mis en place pour la surveillance des Installations Classées (ICPE).

Sur le site proprement dit de RVI, les deux piézomètres les plus proches de l'Orne, les plus touchés par l'impact arsenic, ont été retenus pour la campagne de mai 2004 : forages MW 15 et MW 16.

En aval, il avait été pré-identifié, en Banque de Données du Sous-Sol, 5 ouvrages captant la nappe alluviale. Un repérage a été effectué la veille des prélèvements :

- 2 sont en fait situés dans un vallon alluvial à hauteur de la confluence avant la vallée de l'Orne,
- 1 a été détruit,
- 1 est inutilisé et scellé en tête,
- le dernier, bien qu'en mauvais état, existe toujours ; il présente une lame d'eau très faible et est implanté en bordure de plateau (captant vraisemblablement plus des eaux de l'encaissant calcaire bathonien que les eaux alluviales).

Tous ces ouvrages en aval de RVI se sont avérés impropres au prélèvement d'un échantillon représentatif à l'aval.

En amont du site touché, deux sites dotés de forages d'eau pour le suivi ont été pré-sélectionnés : le site suspecté, Unimétal (ancien site industriel), et, plus en amont, le site DPC (Dépôts Pétroliers et Combustibles).

Sur le site d'Unimétal, il avait été envisagé d'échantillonner deux des ouvrages régulièrement suivis B2 et B3. Malgré la coopération du B.E.T chargé du suivi réglementaire du site, il n'a pas été possible d'ouvrir les cadenas des ouvrages : seul un ouvrage B3 a pu être échantillonné.

Sur le site de DPC, un ouvrage de suivi DPC4 a été retenu, car localisé dans un contexte identique à ceux de RVI.

Les conditions mesurées lors des prélèvements sont indiquées dans le tabl. 1.

Seul l'ouvrage DPC 4 n'a pas pu être suffisamment renouvelé (1 fois son volume au lieu de 3 fois).

Faute d'une alimentation en eau autonome associée pour laver les tuyaux de la pompe entre 2 prélèvements et malgré le renouvellement des eaux des forages, il reste possible que les prélèvements aient été partiellement contaminés par les eaux résiduelles issues des prélèvements antérieurs dans le système de pompage.

Point	Paramètres de l'ouvrage				Prélèvement			Paramètres physico-chimiques				Flacottage		
	Niv. (m)	Repère (m)	Fond (m)	Diam. (mm)	Volume (L)	Niv. Final (m)	Vol. purgé (L)	Date / Heure du prélèvement	pH	Eh (mV)	Conductiv. mS/cm (25°C)		Oxygène dissous (%)	Temp. (°C)
0	RV16	2.71	0.00	4.00	45	2.1	1	22/4/04 10:00	7.10	155	1.25	2	13.6	3 tubes 20 ml F à 0.45µm + HCl sup: AsT-III-V
1	RV16	2.71	0.00	4.00	45	2.1	20	22/4/04 11:00	6.92	149	1.26	18	14.3	2 flacons 50 ml PE F à 0.45µm acidifié à HNO3 sup.
2	RV15	2.83	0.00	4.04	45	1.9	20	22/4/04 11:30	6.73	155	2.49	36	17.0	2 flacons 50 ml PE F à 0.45µm acidifié à HNO3 sup.
3	DPC4	1.75	0.10	7.95	115	64.4	Env.100	22/4/04 14:30	6.95	150	3.65	49	17.0	2 flacons 50 ml PE F à 0.45µm acidifié à HNO3 sup.
4	B3	4.85	0.10	13.80	45	14.2	15	22/4/04 17:30	6.86	111	13.38	2	15.8	2 flacons 50 ml PE F à 0.45µm acidifié à HNO3 sup.
		Mode de prélèvement												
0	RV16	préleveur à clapet sous N2 à -3.5 m												
1	RV16	pompe immergée à -3.5 m												
2	RV15	pompe immergée à -3.5 m												
3	DPC4	pompe immergée à -6 m												
4	B3	vidange (20L) et prélèvement au préleveur à bille après 1 h												
		Emplacement												
		eau de couleur orange au départ puis devenant limpide												
		eau de couleur orange au départ puis devenant limpide												
		eau de couleur orange au départ puis devenant limpide												
		très peu de recharge en eau -> l'eau n'a pas beaucoup été renouvelée												
		eau verdâtre laiteuse impossible à pomper avec pompe immergée - 20 tubes vidangés->-11m pour ce dernier point également - mauvaise précision de la mesure piézométrique causée par la viscosité de l'eau												

Tabl. 1 - Paramètres mesurés lors des prélèvements des échantillons d'eau

Le pH et le potentiel d'oxydoréduction mesurés sont assez proches de valeurs normales et n'amènent pas de commentaires. En revanche, on note des teneurs en oxygène dissous très faibles sur les sites d'Unimétal et RVI (MW16) et faibles à médiocres sur RVI (MW15) et DPC4.

Enfin, la conductivité exceptionnellement élevée sur le site B3 d'Unimétal rend impropre à tout usage l'eau du site, même pour les usages les moins sensibles (irrigation, AEI, géothermie). La conductivité élevée, mesurée sur l'ouvrage de DPC, rend l'eau impropre pour les usages les plus sensibles (AEP). Les conductivités mesurées sur RVI sont limites mais n'imposent pas de restrictions particulières.

3.2. RESULTATS

Les résultats des analyses sont les suivants (tabl. 2).

Elément	MW15 (RVI)	MW16 (RVI)	B3 (Unimétal)	PZ4 (DPC)	Limites de quantification (LQ)	
*Ag (Argent)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5	µg/l
*Al (Aluminium)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	30	µg/l
*As (Arsenic)	132	334	35	50	10	µg/l
*B (Bore)	774	438	1265	595	20	µg/l
*Ba (Baryum)	22	15	600	155	5	µg/l
*Be (Béryllium)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5	µg/l
*Cd (Cadmium)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2	µg/l
*Co (Cobalt)	5	3	10	3	2	µg/l
*Cr (Chrome)	6	< LQ	18	9	5	µg/l
*Cu (Cuivre)	5	2	3	3	2	µg/l
*Fe (Fer)	44	18.2	4.17	1.55	0.02	mg/l
*Li (Lithium)	33	20	115	40	10	µg/l
*Mn (Manganèse)	4229	890	3534	2194	5	µg/l
*Ni (Nickel)	6	7	24	15	5	µg/l
*Pb (Plomb)	< LQ	< LQ	2	< LQ	2	µg/l
*SiO ₂ (Silice)	66.1	75.3	72.6	61	0.5	mg/l
*Sr (Strontium)	2485	956	2606	1344	10	µg/l
*Zn (Zinc)	25	20	13	8	5	µg/l
As (Arsenic)		68			10	µg/l
As ₃ (Arsenic III)		< LQ			10	µg/l
As ₅ (Arsenic V)		58			10	µg/l

Tabl. 1 - Résultats de la campagne de mai 2004

Arsenic :

L'impact arsenic concerne les 4 points échantillonnés en zone alluviale.

Les teneurs dépassent sur tous ces ouvrages la valeur de VCI sensible de 10 µg/l : **l'eau de la nappe alluviale n'est pas potable**. La teneur mesurée dans la nappe alluviale, au droit du site de RVI, dépasse même la valeur de VCI non sensible (>100 µg/l).

C'est toujours MW16 qui reste, lors de cette campagne de mai 2004, l'ouvrage le plus touché à ce jour, mais les valeurs sont plus proches des teneurs mesurées sur les échantillons antérieurs à la dernière mesure réglementaire de janvier 2004 (2 220 µg/l contre quelques centaines de µg/l avant). A cette teneur de 2200 µg/l, l'irrigation des plantes (pourtant parfois très tolérantes) est même à proscrire.

C'est l'ouvrage Unimétal (B3), source supposée de pollution qui donne la valeur la plus faible (30 µg/l), la valeur sur DPC est plus élevée (60 µg/l) mais elle reste à peu près dans le même ordre de grandeur.

Sur le site le plus touché (RVI 16), il a été effectué au préalable de la mesure en arsenic total, les teneurs en Arsenic III et V (spéciation de l'arsenic), après prélèvement d'un échantillon d'eau au clapet. La mesure au clapet se fait avant le renouvellement des eaux : en effet, le pompage perturbe fortement les conditions du milieu (notamment l'oxydoréduction du milieu).

Sur cet échantillon (analyse par la méthode aux hydrures), l'arsenic total ne mesure plus que 68 µg/l : avant prélèvement, les eaux dans l'ouvrage étaient très chargées, notamment en hydroxydes de fer (couleur rouille), sur lesquels une bonne partie de l'arsenic peut être piégée. On ne trouve d'arsenic inorganique que sous la forme d'Arсенic V (58 µg/l), la forme la moins toxique des deux.

De même, une partie de l'arsenic est sous forme de complexe organique et reste piégée dans les colonnes de résines à ions lors des opérations de séparation des phases Arsenic III et Arsenic V (il existe aussi d'autres formes d'oxydation de l'arsenic plus rares As 0 et As -III).

Cette présence de l'arsenic sous forme d'Arсенic V est compatible avec les conditions de pH et d'oxydoréduction mesurées lors du prélèvement.¹

Les seules teneurs en arsenic mesurées sur le site RVI indiquent une eau de très mauvaise qualité (SEQ Eau²). Les seules teneurs en arsenic mesurées sur le site Unimétal et DPC indiquent une eau de mauvaise qualité.

Autres métaux :

La plupart des métaux retrouvés dans les sols des friches industrielles sur le site d'ex-Unimétal sont retrouvés dans tous les échantillons d'eaux alluviales : Fe, Mn, Ni, Zn et Co, Cu, Cr.

On note aussi la présence très significative de Baryum (lié au calcium trouvé sur Unimétal), de Bore, de Lithium et de Strontium.

D'autres polluants des sols du site Unimétal n'ont pas été retrouvés : Plomb (sauf sur B3) et Cadmium. Ils sont vraisemblablement fixés dans les sols et peu à pas remobilisables par les eaux de lixiviation.

Les teneurs sont le plus souvent graduées d'amont en aval : ainsi, les teneurs en Fer et Zinc s'accroissent vers l'aval (métaux plus mobiles ?), au contraire Nickel et Lithium diminuent en aval.

Pour nombre de métaux (B, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Sr), c'est sur le forage le plus touché par l'arsenic, MW16, que les teneurs sont les plus basses (milieu trop

¹ Diagramme eH-pH de l'arsenic, fig. 1 du rapport BRGM/RP-52066-FR (Guide méthodologique de l'arsenic appliquée à la gestion des sites et des sols pollués, téléchargeable sur le site <http://www.fasp.info>)

² Au sens des classes de qualité définies dans le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines SEQ Eau

réducteur). Pour ces métaux (en dehors du Mn), la teneur la plus forte est celle de B3 sur le site ex-Unimétal.

En terme de potabilité des eaux, les éléments suivants excluent l'usage de l'eau, même après traitement (eau impropre au captage pour l'AEP)

- Conductivité (site B3 Unimétal et DPC4),
- As (tous les sites),
- Fer (MW15 et MW16),
- Bore (site B3 Unimétal).

Les éléments suivants excluent tout usage de l'eau pour l'AEP sans traitement :

- Manganèse (tous les sites),
- Fer (site B3 Unimétal et DPC4).

Les eaux alluviales mesurées sur les 4 points de mesures sont toutes de classe de qualité très mauvaise (au sens SEQ EAU) car déclassées par les métaux suivants :

- As (MW15 et MW16),
- Fer (MW15 et MW16),
- Bore (site B3 et Unimétal),
- Manganèse (tous les sites sauf MW16).

Sinon, les eaux alluviales mesurées sur les 4 points de mesures sont toutes de classe de qualité mauvaise (au sens SEQ EAU) car déclassées par les métaux suivants :

- Fer (site B3 et Unimétal),
- As (site B3 et Unimétal),
- Bo (MW 15),
- Manganèse (MW16),
- Nickel (B3).

Les teneurs en Cuivre, Chrome, Zinc sont considérées comme suffisantes pour constituer une atteinte moyenne de l'état patrimonial des eaux.

4. Diagnostic

L'impact arsenic concerne tous les points en zone alluviale : les teneurs dépassent sur tous les ouvrages la valeur de VCI sensible de 10 µg/l. La contamination de la nappe alluviale dépasse le cadre strict de RVI-Unimétal. Les teneurs en amont, sur B3 et DPC4, restent néanmoins sous la valeur de VCI non sensible de 100 µg/l.

De manière plus générale, tous les points captants la nappe alluviale échantillonnés sont touchés par le même mélange de métaux, mélange quasi-systématique d'un ouvrage à l'autre, qui comporte par ordre décroissant de teneurs : Fe, Mn, Sr, B, Ba, As, Li, Zn, Cr, Ni, Co, Cu.

Quel que soit le point de vue considéré, plus ou moins tolérant (Eau Potable, classe de qualité, patrimonial, Aei, irrigation.....), la qualification de la détérioration au vu des teneurs mesurées, est partout la même selon le Système d'Evaluation de la Qualité des eaux (SEQ-EAUX) : **l'impact est considéré comme étant au plus haut niveau. Les éléments contaminants les plus significatifs sont le fer, l'arsenic, le manganèse et la conductivité.**

Cela traduit a priori l'impact d'un même panache de pollution contenu entre le canal de l'Orne et le cours d'eau dans les eaux de la nappe alluviale.

Faute de points publics identifiés en aval dans la zone alluviale, il n'est pas possible de savoir si le panache polluant a déjà touché toute la basse vallée ou s'il est encore en phase de progression depuis son point source.

Il n'est pas non plus possible de connaître la limite amont de la zone alluviale atteinte (qui remonte au moins jusqu'au dépôt DPC) et sur les flancs de la nappe alluviale.

L'origine de la pollution reste à préciser : tous les éléments détectés dans les eaux avaient été identifiés en 1993-1994 lors du diagnostic de la pollution du sol du site Unimétal³ ⁴. Malgré un confinement sur place des terres les plus polluées, la pollution résiduelle du sous-sol au droit du site Unimétal reste considérée comme la source la plus probable de l'atteinte des eaux alluviales mais cette hypothèse n'a pas encore été validée avec certitude. La présente campagne laisse supposer que l'étendue de la pollution des sols dépasserait largement la zone des friches industrielles d'Unimétal.

³ Rapports ANTEA N36810 (2003) et 94N1054 (documents non publics)

⁴ certains polluants sols du site n'ont pas été retrouvés dans les eaux : Cadmium, Argent.

5. Recommandations

Tout usage éventuel AEP de la nappe alluviale est bien sûr à exclure : les ouvrages AEP captant l'aquifère bathonien ou bajocien sont tous déconnectés de la nappe alluviale. Cependant, un suivi renforcé des teneurs en éléments mineurs de ces ouvrages stratégiques AEP semble nécessaire pour s'assurer de l'innocuité de la pollution actuellement constatée sur l'alimentation en eau potable de l'agglomération caennaise.

Le suivi sur les captages AEP d'Hérouville Saint Clair n'a pour l'instant détecté aucune trace d'arsenic (données DDASS 14).

Les activités de baignade, de loisirs nautiques ou de pêche sont donc déconseillées sur l'Orne (des mesures en direction du canal devraient permettre de savoir si dans le canal maritime de telles activités restent possibles).

Une seconde campagne de mesures plus conséquente, élargie à d'autres sites existants et portant sur plus d'éléments clés (majeurs, mineurs et autres contaminants trouvés sur le site Unimétal) est à prévoir. Elle devrait permettre de préciser l'étendue de la pollution et éventuellement d'apprécier l'évolution ou la progression du panache de pollution : il existe dans la vallée, entre la rivière Orne et le canal à la mer, d'autres sites industriels tant à l'aval qu'à l'amont où il est possible qu'il existe déjà des points de suivi de la nappe alluviale. Dans le cas contraire, il serait bon de créer quelques ouvrages de suivi qui permettraient tout d'abord d'apprécier l'étendue du panache de pollution avant de pouvoir ensuite être réutilisés pour le suivi ponctuel des industries.

L'évolution de la pollution sera ensuite à suivre.

6. Conclusions

Dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'installation classée de Renault Véhicules Industriels mise en place en 2002, les fortes teneurs en arsenic mesurées ponctuellement sur la nappe alluviale se sont accrues de manière anormale depuis 2 ans.

A la demande de la subdivision de la DRIRE de Caen 1, le Service Géologique Régional de Basse-Normandie a réalisé, dans le but d'évaluer l'ampleur de l'atteinte potentielle de la nappe alluviale de la basse vallée de l'Orne, quelques prélèvements d'eaux sur le site RVI, ainsi qu'en amont immédiat, sur un site au sous-sol pollué (ancienne sidérurgie Unimétal) et sur un dernier site plus en amont (DPC).

Pour aider à l'identification de la cible et compte tenu de l'ampleur des contaminants sur le site pollué Unimétal, les analyses chimiques réalisées ne se sont pas limitées à l'arsenic mais ont aussi concerné les éléments mineurs les plus courants.

Les résultats indiquent la présence généralisée et significative de nombreux éléments mineurs dans les eaux alluviales sur les 4 points échantillonnés, y compris sur le site le plus amont (site DPC qui aurait été auparavant le quai de déchargement des matériaux miniers alimentant les hauts fourneaux ?).

Les teneurs mesurées en mai 2004 indiquent une altération minérale majeure des eaux alluviales de la basse vallée de l'Orne, entre la rivière et le canal maritime. Les éléments à l'origine de cette déclassification généralisée de la nappe alluviale comme eaux de très mauvaise qualité et non potables (même après traitement) sont l'arsenic mais aussi le Fer, le Manganèse, et dans une moindre mesure le Bore. Par contre, les mesures en arsenic n'ont pas atteint les pics records de janvier 2004 (2 200 µg/l sur MW16 du site RVI).

Un dosage plus précis de l'arsenic sur le site le plus touché indique qu'il est pour l'essentiel sous forme d'arséniate (As V), réputée moins toxique que sous sa forme arsenite (As III). La conductivité des eaux alluviales sur le site Unimétal dans la zone non confinée (13 mS/cm sur B3) témoigne aussi de l'impact de la pollution du sol.

L'étendue (amont, aval, largeur) et l'ampleur de l'atteinte de la nappe alluviale reste à caractériser. A cette fin, une campagne de mesures plus conséquente est nécessaire, élargie à d'autres sites et portant sur plus d'éléments clés (majeurs, mineurs et autres contaminants trouvés sur le site Unimétal). L'évolution de la pollution sera aussi à suivre.

En attendant la réalisation de cette campagne de mesures sur des points d'eau captant la nappe alluviale, tout usage éventuel AEP de la nappe alluviale est bien sûr à exclure. Les ouvrages AEP implantés en pied de vallée sont déconnectés de la nappe alluviale, mais la prudence incite à renforcer le suivi des ouvrages stratégiques pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération caennaise.

Le suivi sur les captages AEP d'Hérouville Saint Clair n'a pour l'instant pas permis de détecter de traces d'arsenic (données DDASS 14).

Les activités de baignade, de loisirs nautiques ou de pêche sont également déconseillées sur l'Orne (des mesures vers le canal devraient permettre de savoir si sur le canal maritime de telles activités restent possibles).

Annexe 1 :
Données fournies par la DRIRE

Suivi RVI (2002-2004)

Piezométrie du site et coupe des ouvrages MW15 et MW16

Teneurs mesurées en arsenic des sols sur le site UNIMETAL

Fiche BASOL du site UNIMETAL

Affaire : AEPLA3212 :	Suivi de la qualité des eaux souterraines	
Client : RENAULT TRUCKS	Rapport technique AEPLA3212-RT01	
Date : 30/01/2004	Site de Blainville sur Orne (14)	

Tableau 5 : Résultats d'analyses de la campagne de janvier 2004

Référence de l'ouvrage	MW12	MW13	MW14	MW15	MW16	PUITS 01205X0384/F1	VCI
Position hydraulique	Amont	Amont	Aval	Aval	Aval	Amont	Usage non sensible
Observations de terrain	Fort odeur hydrocarbures Présence de flottant	Sans odeur	Légère odeur hydrocarbures	Sans odeur	Sans odeur	Sans odeur	
Composés inorganiques (en µg/l)							
Arsenic	100	65	83	420	2 200	< 5	100
Composés organiques (en µg/l)							
Hydrocarbures totaux	57 100	20	120	70	100	110	1 000
Hydrocarbures aliphatiques halogénés - COHV (en µg/l)							
1,1,1 Trichloroéthane	1,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	10 000
Chlorure de vinyle	13	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,5
Cis 1,2-Dichloroéthylène	83	< 0,5	0,5	< 0,5	1,5	< 0,5	250
Dichlorométhane	5,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	100
Tétrachlorométhane	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	10
Tétrachloroéthylène	< 0,5	< 0,5	3,6	1,6	0,8	< 0,5	-
Trichloroéthylène	2,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Somme des teneurs en Trichloroéthylène et en Tétrachloroéthylène	2,1	< 0,5	3,6	1,6	0,8	< 0,5	50
Chloroforme (Trichlorométhane)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	500
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP (en µg/l)							
Benzo(a)pyrène	< 0,02	< 0,03	< 0,3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,05
Naphtalène	5,5	< 0,03	0,35	0,51	0,45	0,02	-
HAP totaux (1)	0,64	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	1

(1) Valeur pour la somme des 6 substances : benzo(a)pyrène, fluoranthène, benzo(3,4)fluoranthène, benzo(1,1,2)fluoranthène, benzo(1,12)pyrène, indeno(1,2,3-cd)pyrène.

(2) Teneurs inférieures aux seuils de détection du laboratoire

	Teneur mesurée > VCI usage non sensible
	Teneur mesurée < VCI usage non sensible

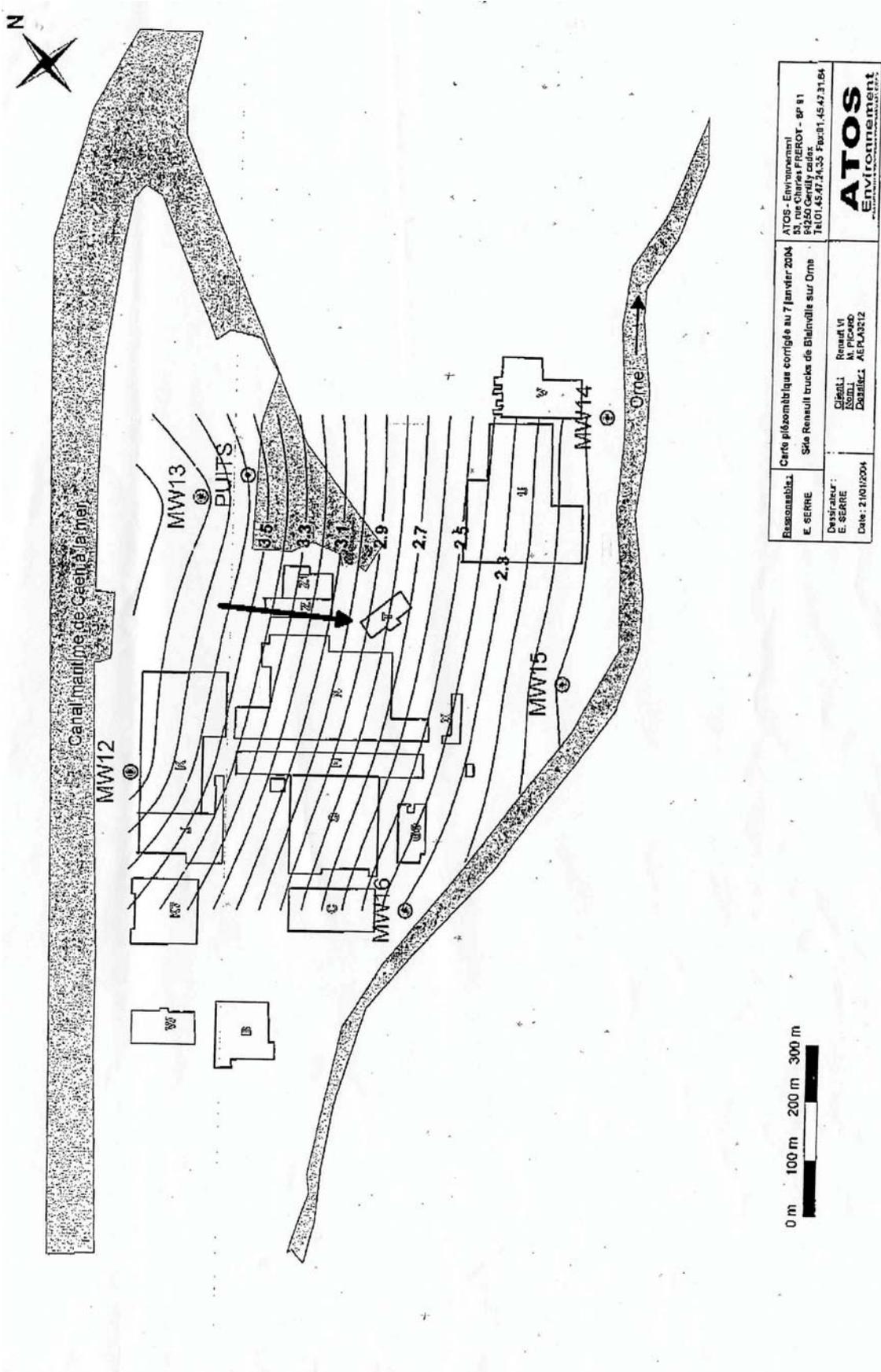
Teneurs en arsenic

On observe en janvier 2004, une augmentation significative des teneurs en arsenic dans les eaux souterraines de tous les piézomètres échantillonnés hormis le MW14 (cf. Tableau 6). Les évolutions les plus marquantes sont celles enregistrées au niveau des ouvrages localisés en aval hydraulique du site, le MW15 et surtout le MW16, où les teneurs mesurées sont très supérieures à la VCI usage non sensible.

Enfin, confirmant ainsi les résultats des campagnes précédentes, la concentration en arsenic mesurée dans les eaux du puits est inférieure au seuil de détection du laboratoire.

Tableau 6 : Evolution des teneurs en arsenic en µg/l

Campagne / Piézomètres	MW12	MW13	MW14	MW15	MW16	Puits	VCI non sensible
Position hydraulique	Amont	Amont	Aval	Aval	Aval		100
Décembre 2002 (URS)	30	26	64	190	310	Non détecté	
Juin 2003 (URS)	20	27	110	140	490	Non détecté	
Janvier 2004 (ATOS Environnement)	100	65	83	420	2200	< 5	



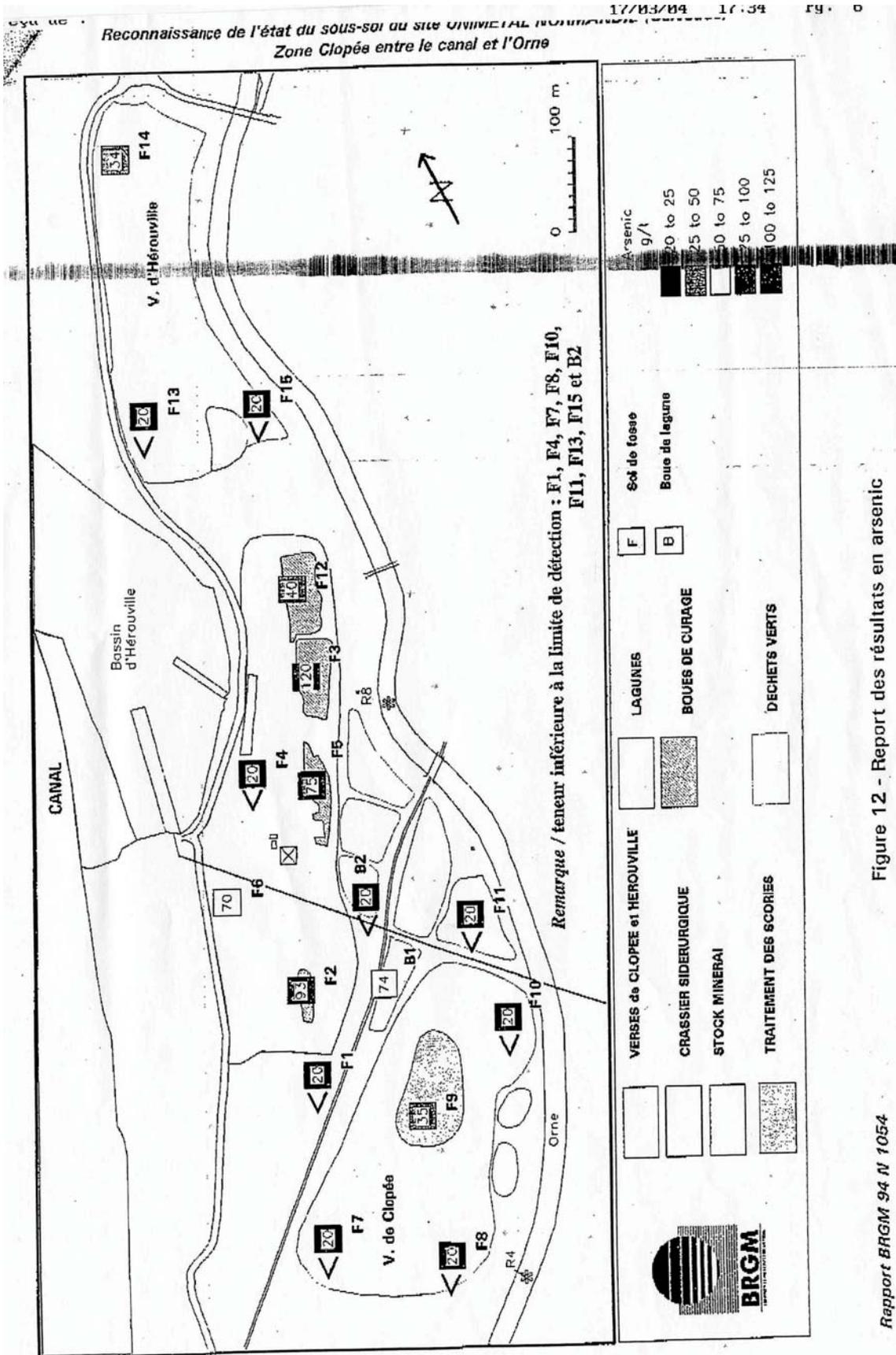


Figure 12 - Report des résultats en arsenic

Rapport BRGM 94 N 1054

SONDAGE N°: MW-16		PAGE 1 DE 1	
DATE DEBUT: 14-12-00		METHODE DE FORAGE: Tauxieuse 120	
DATE FIN: 14-12-00		DIAMETRE DU SONDRAGE: 170 mm	
SONDEUR: GCO KOS		TYPE CREPINE ET DIAMETRE: P&H 2"	
SUIVI PAR: CEG		VERIFIE PAR:	
		TAILLE DES FENTES: 0,5 mm	
DESCRIPTION	COMMENTAIRES		
Argiles brunes sabbuses compactes nombreux graviers et pierres			
Sables moyens brun clair peu compacts, humides.			
Silts légèrement argileux gris clair à brun, humides.			
Silts gris bleu avec sables fins humides			
Sables fins gris avec silts, humides			
fin de forage			

IDE * chantillon remanié * Mesure Hnu: sur échant. ▽ Niveau piézométrique † chantillon intact † Mesure Hnu: dans le sond. ▽ Nappe perchée		PROFIL DE SONDRAGE Titre <i>Investigations Complémentaires</i> Lieu <i>Blairville sur Orne</i> Client <i>Renault V.F.</i> Dessiné <i>CEG</i> Date <i>20/12/00</i> Ref. <i>PAR</i> Job No. <i>46800-537-02</i>	
RS Dames & Moore Woodward Clyde		NOTES:	

CONSTRUCTION DU PIEZOMETRE		Echantillon		MESURE PID (ppm)	Niveau PIEZOMETRIQUE PROFONDEUR (m)	GEOLOGIE	SONDAGE N°: 1745		PAGE DE		
Numéro	TYPE	DATE DEBUT: 13.12.00	METHODE DE FORAGE: Forage à l'eau				DATE FIN: 13.12.00	DIAMETRE DU SONDAGE: 170 mm	SONDEUR: Geo Tech	TYPE CREPINE ET DIAMETRE: PEHD 2"	SUIVI PAR: CB
						DESCRIPTION		COMMENTAIRES			
						0	Asphalte				
						0.5	Sables grossiers bruns compacts, nombreux graviers (Ø 1-3 cm)				
						1	Sables fins brun clair				
						2	Silts argileux gris-bleu humides.	Légère odeur de foin.			
						3	Sables fins gris silteux humides	Légère odeur de foin			
						4	Fin de Sondage				
						4.5					
						5					
LEGENDE Echantillon remanié * Mesure Hnu sur échant. ▽ Niveau piézométrique Echantillon intact † Mesure Hnu dans le sond. ▾ Nappe perchée						PROFIL DE SONDAGE Titre <i>Investigations Complémentaires</i> Lieu <i>Blainville sur Orne</i> Client <i>Beaucourt V.F.</i> Dessiné <i>CB</i> Date <i>20/12/00</i> Ref. <i>PAR</i> Job No. <i>68860-537-612</i>					
JRS Dames & Moore Woodward Clyde						NOTES:					

Région : Basse-Normandie **Département :** 14 **Site numéro :** 2
Date de création de la fiche ou de sa dernière mise à jour : 23/05/2003

Auteur de la qualification

Service : DRIRE
Unité : DIVISION ENVIRONNEMENT ET SOUS-SOL
Nom : Nathalie SIEFRIDT

Identification du site

Nom usuel du site ⓘ: UNIMETAL NORMANDIE

Localisation :
Commune : HEROUVILLE-SAINT-CLAIR
Code postal : 14200 - **Code INSEE :** 14327
Coordonnées Lambert X : 04062 **Y :** 24708
Référentiel :
Précision :
Adresse :

Lieu-dit :

Responsable(s) actuel(s) du site : Exploitant

Nom : UNIMETAL NORMANDIE (BAIL INDUSTRIE)
 dernier exploitant
 exploitant antérieur
 mandataire de justice

La qualité du responsable :
 personne physique
 personne morale
 publique

Propriétaire(s) du site Plusieurs propriétaires
Nom(s) : BAIL INDUSTRIE, District du Grand Caen

Personne physique Personne morale publique

Caractérisation du site

Description du site ⓘ:

Ancien site sidérurgique implanté dans la zone industrielle de Mondeville-Colombelles, à 4 kilomètres au Nord-est de la ville de Caen, sur une surface de 220 hectares. Ce site comprenait notamment :

- des installations sidérurgiques (cokerie, aciérie et laminoirs), situées entièrement sur un plateau surplombant l'Orne et la ville de Caen ;
- un bassin portuaire, situé sur le canal qui relie Caen à la mer permettant la réception des matières premières (charbon, minerai de fer), ainsi que l'expédition des produits finis, par voie maritime ;
- des dépôts sidérurgiques ainsi que des lagunes de décantation des eaux résiduaires de cokerie et des eaux industrielles, situés en contrebas du plateau, entre l'Orne et le canal, sur une zone de 60 hectares.

L'arrêt du fonctionnement de ce site a eu lieu en novembre 1993, l'ensemble des

bâtiments industriels a été démantelé et seule subsiste, à titre commémoratif, l'ancienne tour aéroréfrigérante.
Quatre zones polluées ont été définies sur ce site dont trois ont été décontaminées. L'ensemble des matériaux contaminés récupérés a été confiné, en 1996, dans les anciennes lagunes d'eaux ammoniacales de la quatrième zone située sur la commune d'Hérouville-Saint-Clair.

Description qualitative à la date du 04/09/2000 :

Suites aux différentes études effectuées sur le site dès 1993 (un arrêté préfectoral du 24 mars 1993 a imposé la réalisation d'une étude de caractérisation de la contamination des sites occupés par les activités de l'entreprise et des arrêtés préfectoraux du 11 juillet 1994 ont prescrit la réalisation d'études complémentaires), il a été décidé l'aménagement d'un confinement, à l'emplacement des anciennes lagunes de décantation des eaux ammoniacales (défini par un arrêté préfectoral du 19 avril 1995 et comprenant 130 000 m³ de matériaux). Actuellement, il n'existe plus que deux zones faisant l'objet d'une surveillance :

- le plateau où se situaient les trois zones contaminées, nommé zone A ;
- la vallée où est maintenant implanté le confinement, nommée zone B.

Un arrêté préfectoral du 11 juillet 1994, modifié par celui du 11 juillet 1997, précise le nombre de piézomètres et la fréquence des analyses à effectuer. Ainsi, sur la zone A, la surveillance est réalisée au moyen de 4 piézomètres, une fois tous les 2 ans et sur la zone B, elle est réalisée au moyen de 9 piézomètres (dont 5 sont situés en limite de confinement), à une fréquence de 2 fois par an pendant 4 ans (2 de ces piézomètres font l'objet d'une surveillance tous les 2 mois).

Des servitudes d'utilité publique ont été instituées, relatives aux terrains d'emprise du confinement d'une surface de 32 185 m², par arrêté du 19 mars 1998.

Compte tenu des résultats de la surveillance obtenus, la zone A ne présente pas de pollution. Par contre, la zone B présente encore quelques valeurs significatives en hydrocarbures aromatiques polycycliques et phénols. Cependant cette pollution est contenue dans une « nappe » stagnante sous le site. Les travaux de réhabilitation sont aujourd'hui considérés comme achevés mais la surveillance au moyen des piézomètres se poursuit.

Annexe 2 :

Seuils définis pour le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ-EAU) pour les altérations minérales



Les différentes classes d'aptitude pour l'usage production d'eau potable

bleu clair		Eau de qualité optimale pour être consommée
bleu foncé		Eau de qualité acceptable pour être consommée mais pouvant, le cas échéant, faire l'objet d'un traitement de désinfection
jaune		Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation
rouge		Eau inapte à la production d'eau potable

- Les classes d'aptitude "bleu clair" et "bleu foncé" correspondent à des eaux conformes à la réglementation française ou à la directive européenne 98/83 sur la qualité des eaux destinée à la consommation humaine.

- La classe "bleu clair" permet d'identifier des eaux exemptes de micro-organismes dont les différents paramètres de qualité sont significativement en deçà de ces normes (eau de qualité optimale pour être consommée).

- La classe "bleu foncé", quant à elle, identifie des eaux dont les valeurs des différents paramètres de qualité se rapprochent des normes de potabilité tout en restant inférieur à ces normes (eau de qualité acceptable pour être consommée, mais pouvant faire l'objet d'un traitement de désinfection).

- La classe d'aptitude "jaune" correspond à la nécessité de faire subir un traitement correctif à l'eau pour la rendre conforme aux normes de potabilité, quel que soit le type de traitement à appliquer.

- La classe d'aptitude "rouge" correspond à des eaux dont la qualité les rend inaptes à la production d'eau potable en regard de la réglementation.

Les principaux seuils qui déterminent le passage d'une classe d'aptitude à une autre sont :

bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
VG	CMA _d	CMA _b	
AE		A3	

CMA_d : Concentrations maximums admissibles dans les eaux distribuées,
 CMA_b : Concentrations maximums admissibles dans les eaux brutes,
 A3 : Traitement physique, chimique poussée, affinage et désinfection
 VG : Valeur guide
 AE : Avis d'expert

Les seuils issus de la législation ont été prioritairement appliqués. Lorsque la CMA_d était égale à la CMA_b (cas des sulfates par exemple), il y a passage direct de la classe bleu foncé à la classe rouge.

Origine des seuils :

- Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, parue au journal officiel des Communautés européennes du 5/12/98,
- Projet du décret français d'application de la Directive 98/83,

2 • LES DIFFERENTS USAGES ET FONCTIONS PRODUCTION D'EAU POTABLE



- Décret français n° 89-3 du 3 janvier 1989, modifié par les décrets n° 90-330, 91-257 et 95-363, sur les eaux destinées à la consommation humaine,
- Directive européenne n° 80-778 de juillet 1980 sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine,
- Directive européenne n° 75-440 de juin 1975 sur la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire,
- Recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé de 1994 sur les eaux de boisson,
- Avis d'experts.

L'origine et les critères précis de choix des seuils des différents paramètres sont indiqués en annexe.

Avertissement :

L'édition du présent document intervient immédiatement après la publication du nouveau décret français n° 2001-1220 du 20 décembre 2001, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine. Nous avons essayé, dans la mesure du possible, de tenir compte des dernières précisions apportées par le texte définitif dans ce document. Il n'a toutefois pas été possible, dans les délais impartis, d'adopter à chaque fois une position définitive pour certains paramètres (l'information figure en annexe). L'intégralité des seuils sera donc revue en cohérence avec le SEQ Eau des cours d'eau pour la prochaine édition de ce rapport.

Valeurs seuils pour les différents paramètres de chaque altération

Les paramètres en **caractères gras**, sauf précision complémentaire indiquée en remarque, sont impératifs pour qualifier l'altération. Les paramètres en caractères normaux sont optionnels et participent, lorsqu'ils sont mesurés, à la qualification de cette altération.

Le motif  indique dans les tableaux ci-après que le paramètre ne décrit pas la classe d'aptitude à l'usage.

Altération Goûts et Odeurs

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Odeur	seuil à 25°C	1	3	20	
Saveur	seuil à 25°C	1	3	20	

Altération Matières organiques oxydables

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Oxydabilité au permanganate en milieu acide à chaud	mg/l O ₂	1	5	10	
Carbone organique dissous	mg/l C	3	6	12	

Altération Fer et Manganèse

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Fer	µg/l	50	200	10000	
Manganèse	µg/l	20	50	1000	



Altération Particules en suspension

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Turbidité	NTU	0,4	2	3750	
Matières en suspension	mg/l	2	5	5000	

Altération Coloration

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Couleur	mg/l Pt	1	15	200	

Altération Micro-organismes

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes thermotolérants	N/100 ml	0	20	20000	
Entérocoques ou streptocoques fécaux	N/100 ml	0	20	10000	
Coliformes totaux	N/100 ml	0	50	50000	

La classe bleu clair traduit l'absence de micro-organismes par 100 ml d'eau.

Altération Minéralisation et salinité

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Conductivité ⁽¹⁾	µS/cm à 20°C	≥ 180 et ≤ 400	> 400 et ≤ 2500	< 180 ou > 2500 et ≤ 4000	> 4000
Dureté	d°F	≥ 8 et ≤ 40		< 8 ou > 40	
pH		≥ 6,5 et ≤ 8,5	> 8,5 et ≤ 9,0	< 6,5 et ≥ 5,5 ou > 9,0 et ≤ 9,5	< 5,5 ou > 9,5
Résidu sec ⁽¹⁾	mg/l	≥ 140 et ≤ 300	> 300 et ≤ 2000	< 140 ou > 2000 et ≤ 3000	> 3000
Chlorures ⁽²⁾	mg/l	25	250		> 250
Sulfates ⁽²⁾	mg/l	25	250		> 250
Calcium	mg/l	≥ 32 et ≤ 160		< 32 ou > 160	
Fluorures	mg/l	≥ 0,7 et ≤ 1,5	< 0,7	> 1,5 et ≤ 10	> 10
Magnésium	mg/l	30	50	400	
Potassium	mg/l	10	12	70	
Sodium	mg/l	20	200		
TAC	d°F	≥ 8 et ≤ 40		< 8 ou > 40	

(1) au moins l'un des deux paramètres doit être pris en compte.
 (2) au moins l'un des deux paramètres doit être pris en compte.

Altération Nitrates

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Nitrates	mg/l NO ₃	25	50	100	

2 • LES DIFFERENTS USAGES ET FONCTIONS PRODUCTION D'EAU POTABLE



Altération Matières azotées hors nitrates

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Ammonium	mg/l NH ₄	0,05	0,5	4	
Nitrites	mg/l NO ₂	0,05	0,1	0,7	

Altération Micropolluants minéraux

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Arsenic	µg/l	5	10	100	
Bore	µg/l	50	1000		
Cadmium	µg/l	1	5		
Chrome total	µg/l	25	50		
Cuivre	µg/l	100	200	4000	
Cyanures	µg/l	25	50		
Mercure	µg/l	0,5	1		
Nickel	µg/l	10	20	40	
Plomb	µg/l	5	10	50	
Sélénium	µg/l	5	10		
Zinc	µg/l	100	5000		
Aluminium	µg/l	50	200		
Antimoine	µg/l	2	5	10	
Argent	µg/l	5	10	200	

Au moins quatre paramètres de l'altération "micropolluants minéraux" parmi ceux mentionnés en caractères gras devront être choisis pour pouvoir qualifier cette altération. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales.

Altération Pesticides

Paramètres	Unités	bleu clair	bleu foncé	jaune	rouge
Atrazine	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Déséthyl atrazine	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Diuron	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Isoproturon	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Lindane	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Simazine	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Terbutylazine	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Aldrine	µg/l	0,01	0,03	0,3	
Déséthyl simazine	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Dieldrine	µg/l	0,01	0,03	0,3	
Heptachlore	µg/l	0,01	0,03	0,3	
Heptachlore-époxyde	µg/l	0,01	0,03	0,3	
Total Parathion ⁽¹⁾	µg/l	0,05	0,10	2,0	
Total Pesticides ⁽²⁾	µg/l	0,10	0,50	50	
Autres pesticides ⁽³⁾ par substance identifiée	µg/l	0,05	0,10	2,0	

⁽¹⁾Total Parathion = somme des concentrations en parathion éthyl et en parathion méthyl.

⁽²⁾Total Pesticides = somme de tous les pesticides particuliers individualisés, détectés et quantifiés.

15

ETUDES DES AGENCES DE L'EAU N°80
SYSTEME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ
DES EAUX SOUTERRAINES



INDUSTRIE

Les paramètres en **caractères gras**, sauf précision complémentaire indiquée en remarque, sont impératifs pour qualifier l'altération.

Les paramètres en caractères normaux sont optionnels et participent, lorsqu'ils sont mesurés, à la qualification de cette altération.

Altération corrosion

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
CO ₂ dissous	mg/l		50	120	200	
O ₂ dissous	mg/l	absence ou > 8	> 0 et ≤ 0,1		> 0,1 et ≤ 4	> 4 et ≤ 8
Salinité ⁽¹⁾	g/l NaCl		0,6	1,5	3	
Conductivité ⁽¹⁾	μS.cm ⁻¹		1300	3000	6000	
pH		> 9,8	> 7 et ≤ 9,8	> 6 et ≤ 7		< 6
Chlorures ⁽¹⁾	mg/l		150	400	1000	
Sulfates ⁽¹⁾	mg/l		250	500	1500	
Ferro-bactéries		absence				présent
Bactéries sulfato-réductrices	N/ml	absence	10		100	
Sulfures	mg/l HS-		0,1	8	50	
Eh (potentiel d'oxydoréduction)	mV	≤ - 600 ou > 0		> - 600 et ≤ - 500	> - 500 et ≤ - 400	> - 400 et ≤ - 300

⁽¹⁾Au moins l'un des quatre paramètres doit être mesuré. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales

Altération formation de dépôts

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
pH			5			
Eh (selon la valeur du pH)						
pH ≤ 3,5	mV	1500				
3,5 < pH ≤ 9,6		(1)				
pH > 9,6		- 800				
O ₂ dissous	mg/l	0,10		5,5		
Ferro-bactéries		absence				
Indice saturation (selon la valeur du TAC) ⁽²⁾						
TAC < 10°F		0,2		2		
10°F < TAC ≤ 25°F		0,2		1		
TAC > 25°F		0,2		0,5		

(1) Potentiel d'oxydo-réduction $Eh = 1330 - 0,166 \text{ pH}$

(2) Indice saturation = $pH_s - pH$. Le pH_s est le pH d'équilibre ou de saturation après essai au marbre

L'ensemble des valeurs seuils proposées provient d'avis d'experts basés sur la thermodynamique des électrochimiques et/ou la bibliographie, jugée comme faisant référence en ce domaine. La justification des valeurs des seuils et les références bibliographiques sont données en annexe.

Le motif  indique dans les tableaux que le paramètre ne décrit pas la classe d'aptitude à l'usage.



2 • LES DIFFERENTS USAGES ET FONCTIONS ENERGIE

Altération température - Usage Climatisation

Les valeurs seuils des différents états dépendent des objectifs poursuivis en matière de climatisation.

Les valeurs seuils proposées le sont sur la base d'une climatisation de locaux à usage d'habitation.

Paramètre	Unité	bleu	vert	jaune
Température	°C	≥ 8 et ≤ 12	> 12 et ≤ 15	< 8 ou > 15

Des températures inférieures à 8°C peuvent occasionner des problèmes de dysfonctionnement au niveau des installations (problèmes de condensation par exemple).

Altération température - Usage Pompes à chaleur

Paramètre	Unité	bleu	vert	jaune
Température	°C	≥ 15 et ≤ 60	≥ 8 et < 15	< 8 ou > 60

Des températures inférieures à 8°C peuvent occasionner des problèmes de dysfonctionnements au niveau des installations (problèmes de condensation par exemple).

Altération corrosion

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
CO ₂ dissous	mg/l		50	120	200	
O ₂ dissous	mg/l	absence ou > 8	> 0 et ≤ 0,1		> 0,1 et ≤ 4	> 4 et ≤ 8
Salinité ⁽¹⁾	g/l NaCl		0,6	1,5	3	
Conductivité ⁽¹⁾	µS.cm-1		1300	3000	6000	
pH		> 9,8	> 7 et ≤ 9,8	≥ 6 et ≤ 7		< 6
Chlorures ⁽¹⁾	mg/l		150	400	1000	
Sulfates ⁽¹⁾	mg/l		250	500	1500	
Ferro-bactéries		absence				présence
Bactéries sulfato-réductrices	N/ml	absence	10		100	
Sulfures	mg/l HS-		0,1	8	50	
Eh (potentiel d'oxydoréduction)	mV	≤ - 600 ou > 0		> - 600 et ≤ - 500	> - 500 et ≤ - 400	> 400 et ≤ 0

(1) au moins l'un des quatre paramètres doit être mesuré. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales.

Altération formation de dépôts

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
pH		5,00				
Eh (selon la valeur du pH) ⁽¹⁾						
pH < 3,5	mV	1500				
3,5 < pH ≤ 9,6		*				
pH > 9,6		- 800				
O ₂ dissous	mg/l	0,10		5,5		
Ferro-bactéries		absence				
Indice saturation (selon la valeur du TAC) ⁽²⁾						
TAC < 10°F		0,2		2		
10°F < TAC ≤ 25°F		0,2		1		
TAC > 25°F		0,2		0,5		

(1) Potentiel d'oxydo-réduction Eh = 1330 - 0.166 pH

(2) Indice saturation = pHs-pH. Le pHs est le pH d'équilibre ou de saturation après essai au marbre

L'ensemble des valeurs seuils proposées provient d'avis d'experts basés sur la thermodynamique des équilibres électrochimiques et/ou la bibliographie jugée comme faisant référence en ce domaine. La justification des valeurs des seuils et les références bibliographiques sont données en annexe.



IRRIGATION

Les paramètres en **caractères gras**, sauf précision complémentaire indiquée en remarque, sont impératifs pour qualifier l'altération.

Les paramètres en caractères normaux sont optionnels et participent, lorsqu'ils sont mesurés, à la qualification de cette altération.

Altération minéralisation

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Résidu sec ⁽¹⁾	mg/l à 180°C	500	1500	2500	3500	
Chlorures ⁽¹⁾	mg/l	180	360	700		
S.A.R. ⁽²⁾	-	8	18	46	100	

⁽¹⁾Au moins l'un des deux paramètres doit être mesuré.

⁽²⁾S.A.R. : Sodium Adsorption Ratio = $\frac{Na}{\sqrt{0,5(Ca + Mg)}}$

Les concentrations sont exprimées en mg/l. Le paramètre S.A.R rend compte du fait que la présence d'un excès de sodium dans l'eau d'irrigation, par rapport à la quantité de calcium ou de magné-

sium, peut altérer la structure du sol. En particulier, l'argile peut tendre à se disperser lorsqu'elle est mouillée, ce qui a pour effet de réduire la perméabilité du sol.

Altération micro-organismes

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Coliformes Thermotolérants *	N/100 ml	100				
Coliformes totaux	N/100 ml	1000				

* assimilables à Escherichia Coli

Altération micro-polluants minéraux

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Arsenic	µg/l	100		2000		
Cadmium	µg/l	10				
Chrome total	µg/l	100				
Cuivre	µg/l	200	1000	5000		
Nickel	µg/l	200		2000		
Plomb	µg/l	200		2000		
Sélénium	µg/l	20				
Zinc	µg/l	500				

Au moins quatre des paramètres identifiés en caractères gras sont nécessaires pour caractériser l'altération.

Origine des seuils :

- Recommandations pour la qualité des eaux au Canada, publiées par le Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement, chapitre 4, applications agricoles, 1992 puis 1999,
- Avis d'expert.



3 • CL

Comme déjà indiqué au paragraphe 1.2, un indice d'évaluation de la qualité a été bâti en s'appuyant sur les deux fonctions jugées importantes : l'usage production d'eau potable et l'état patrimonial.

Pour chacun des paramètres décrivant ces fonctions, il a été établi des courbes indice = f (concentration).

Cet indice varie entre 0 (eau de mauvaise qualité) et 100 (eau de très bonne qualité).

La manière dont est construit cet indice est détaillée dans le paragraphe 3.2.

3•1 LES DIFFERENTES CLASSES DE QUALITE D'UNE EAU

Classes	Indice de qualité	Définitions de la classe de qualité
bleu 	80 à 100	Eau de très bonne qualité
vert 	60 à 79	Eau de bonne qualité.
jaune 	40 à 59	Eau de qualité moyenne
orange 	20 à 39	Eau de qualité médiocre
rouge 	0 à 19	Eau de très mauvaise qualité

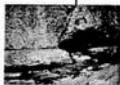
3•2 CONSTRUCTION DES COURBES INDICE - PARAMETRE

3.2.1 PRINCIPES GENERAUX

- **l'indice 80**, limite entre les classes de qualité *bleu* et *vert*, est associé au seuil qui fait quitter la classe *bleu* à *vert* pour l'état patrimonial ou à défaut la classe *bleu clair* à *bleu foncé* pour l'usage productif d'eau potable;
- **l'indice 60**, limite entre les classes de qualité *vert* et *jaune*, est associé au seuil qui fait quitter la classe *vert* à *jaune* pour l'état patrimonial ou à défaut est interpolé à partir des courbes établies indice = f (concentration);
- **l'indice 40**, limite entre les classes *jaune* et *orange* est associé au seuil qui fait quitter la classe *bleu foncé* à *jaune* pour l'usage production d'eau potable;
- **l'indice 20**, limite entre les classes de qualité *orange* et *rouge* est lié au passage au *rouge* de l'aptitude à l'usage AEP.

36

ETUDES DES AGENCES DE L'EAU N°80
SYSTEME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ
DES EAUX SOUTERRAINES



Altération Micro-organismes

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité		80	60	40	20	
Escherichia Coli ou coliformes thermotolérants	N/100 ml	0	10	20	20000	
Enterocoques ou streptocoques fécaux	N/100 ml	0	10	20	10000	
Coliformes totaux	N/100 ml	0	25	50	50000	

La classe "bleu" traduit l'absence de micro-organismes par 100 ml d'eau.

Altération Minéralisation et salinité

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité		80	60	40	20	
Conductivité ⁽¹⁾	µS/cm à 20°C					
	min	180	120	60	0	⁽²⁾
	max	2500	3000	3500	4000	
Dureté	d°F					
	min	8	6	4	0	
	max	40	70	90	125	
pH	unité					
	min	6,5	6,2	5,8	5,5	⁽²⁾
	max	8,5	8,8	9,2	9,5	
Résidu sec ⁽¹⁾	mg/l à 180°C					
	min	140	90	45	0	
	max	2000	2300	2700	3000	
Chlorures ⁽²⁾	mg/l	25	100	175	250	
Sulfates ⁽²⁾	mg/l	25	100	175	250	
Calcium	mg/l					
	min	32	22	12	0	⁽²⁾
	max	160	230	300	500	
Fluorures	mg/l	≥ 0,7 et ≤ 1,5	< 0,7 ou > 1,5 et ≤ 4,5	> 4,5 et ≤ 7 ⁽⁴⁾	> 7 et ≤ 10	> 10
Magnésium	mg/l	30	40	50	400	
Potassium	mg/l	10	11	12	70	
Sodium	mg/l	20	80	140	200	
TAC	d°F					
	min	8	5	3	0	⁽²⁾
	max	40	58	75	100	

⁽¹⁾ au moins l'un des deux paramètres doit être pris en compte pour qualifier l'altération

⁽²⁾ au moins l'un des deux paramètres doit être pris en compte pour qualifier l'altération

⁽³⁾ le plus mauvais indice de qualité pour ce paramètre et pour les valeurs basses est 20

⁽⁴⁾ le plus mauvais indice de qualité pour ce paramètre et pour les valeurs basses est 60

min : lecture des seuils par valeurs décroissantes
max : lecture des seuils par valeurs croissantes

Classes et indices pour l'altération minéralisation et salinité

Pour les paramètres Conductivité, pH, Dureté, Résidu sec, TAC, la règle générale de construction des indices n'est pas adaptée pour la création d'un indice continu. En conséquence les valeurs des seuils intermédiaires ont été interpolées.

3 • CLASSES ET INDICES DE QUALITE



Altération Nitrates

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité		80	60	40	20	
Nitrates	mg/NO ₃	10	20	50	100	

Altération Matières azotées hors nitrates

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité		80	60	40	20	
Ammonium	mg/l NH ₄	0,05	0,3	0,5	4	
Nitrites	mg/l NO ₂	0,05	0,07	0,1	0,7	

Altération Micropolluants minéraux

Paramètres	Unités	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité		80	60	40	20	
Arsenic	µg/l	5	7,5	10	100	
Bore	µg/l	50	350	700	1000	
Cadmium	µg/l	1	2,5	3,5	5	
Chrome total	µg/l	25	30	40	50	
Cuivre	µg/l	100	150	200	4000	
Cyanures	µg/l	5	25	40	50	
Mercure	µg/l	0,5	0,65	0,8	1	
Nickel	µg/l	10	15	20	40	
Plomb	µg/l	5	7,5	10	50	
Sélénium	µg/l	5	6,5	8,5	10	
Zinc	µg/l	100	1700	3400	5000	
Aluminium	µg/l	50	125	200	⁽¹⁾	
Antimoine	µg/l	2	3,5	5	10	
Argent	µg/l	5	7,5	10	200	

Au moins quatre paramètres de l'altération micropolluants minéraux, parmi ceux mentionnés en caractères gras, devront être choisis pour pouvoir qualifier cette altération. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales.

⁽¹⁾ au delà de 200 mg/l le plus mauvais indice est 20.

Annexe 3 :

Synthèse du rapport BRGM/RP-52066-FR (2003)

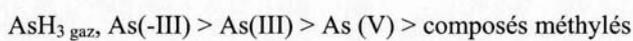
Guide Méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et des sols pollués

Synthèse

L'objectif de ce travail est de synthétiser et de valoriser l'ensemble des données dans un guide principalement à l'usage des administrations et pouvoirs publics afin de leur fournir un état des connaissances sur l'arsenic.

L'arsenic est un oligo-élément essentiel à la vie, les besoins pour l'homme ont été évalués entre 10 et 20 $\mu\text{g}\cdot\text{jour}^{-1}$. La voie principale d'exposition pour l'ensemble des populations demeure l'ingestion soit directe par la consommation d'eaux, soit indirecte par la consommation d'organismes ayant concentré l'arsenic. La dose absorbée par contact avec la peau est négligeable.

La concentration totale en arsenic ne suffit pas pour évaluer le risque lié à cet élément. La toxicité aiguë et chronique de l'arsenic dépend de sa spéciation, c'est-à-dire de la forme chimique sous laquelle il se trouve, mais aussi de la voie d'absorption. La toxicité de l'arsenic varierait comme suit :



Il existe plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic qui correspondent à des arsénates, des sulfures et sulfosels, des arsénites, des arséniures ou encore des oxydes. Il existe aussi des composés arséniés méthylés dans les sols. Leur origine peut être soit une méthylation directe par les micro-organismes soit un apport anthropique principalement d'origine agricole.

L'arsenic est un élément ubiquiste que l'on trouve dans l'atmosphère, dans les milieux aquatiques, les sols, les sédiments et les organismes vivants. Les teneurs vont de moins de 2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (fond géochimique) à plus de 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (anomalies géochimiques). L'arsenic est présent dans quatre environnements géologiques distincts : les franges externes de certains granites intrusifs, certaines grandes structures tectoniques de plusieurs dizaines de kilomètres d'extension, les niveaux sédimentaires du début du Paléozoïque et les marges sédimentaires de certains massifs cristallins.

L'arsenic est un élément chalcophile, il se combine facilement au soufre pour former des sulfo-arséniures de Fe, Ni, Co ou Cu ; les espèces les plus fréquentes des minéralisations primaires sont l'arsénopyrite (FeAsS), le réalgar (AsS) et l'orpiment (As_2S_3).

L'arsenic ayant la particularité d'être associé à beaucoup de métaux, il a été utilisé comme indicateur pour la prospection minière, en particulier l'or.

Le principal apport naturel d'arsenic dans l'environnement est le volcanisme et a été estimé entre 2 800 et 8 000 $\text{t}\cdot\text{an}^{-1}$. L'altération des roches constitue un autre apport. Les

Guide méthodologique de l'arsenic

hydrocarbures, plus particulièrement le charbon, contiennent de l'arsenic, celui-ci est principalement associé à la pyrite.

Les activités humaines (fonderies, combustion du charbon et différentes activités industrielles et minières) constituent la majorité des apports d'arsenic à l'environnement. Il a été estimé que les émissions d'arsenic étaient comprises entre 24 000 t.an⁻¹ et 124 000 t.an⁻¹. L'arsenic rentre dans la composition de nombreux produits phytosanitaires comme les arsénates de plomb ou de calcium, il est aussi principalement employé pour traiter le bois avec des produits comme le CCA, un arséniate de cuivre chromé.

L'arsenic se retrouve dans les sols sous différentes formes et peut par divers mécanismes de transfert se déplacer d'un compartiment à un autre (ex : sol vers nappe). Il peut aussi se retrouver piégé. L'adsorption représente un mécanisme majeur dans le piégeage de l'arsenic. Les oxyhydroxydes métalliques s'avèrent pour la plupart de bons pièges. L'adsorption de l'arsenic sur ces phases minérales est décrite par des phénomènes de complexation de surface. Dans ce type de réaction, l'arsenic va se fixer à la surface du minéral sur les groupements acido-basiques de type «S -OH». A l'image des espèces anioniques, l'adsorption de l'arsenic (V) sera le plus souvent faible pour des pH élevés (pH > 8). Certains éléments chimiques tels que les phosphates vont représenter des ions compétiteurs importants vis-à-vis de l'adsorption de l'arsenic.

La mobilité de l'arsenic va aussi être étroitement liée aux conditions rédox du milieu. Pour des valeurs de pH proches de celles que l'on rencontre généralement dans le milieu naturel, l'arsenic (V) va avoir tendance à être piégé en plus grande quantité sur les phases de type oxyhydroxyde de fer que l'arsenic (III). Ainsi, en milieu réducteur, les teneurs en arsenic dissous seront souvent plus élevées qu'en milieu oxydant du fait de la plus grande mobilité de l'arsenic (III). De plus, le milieu réducteur va entraîner la dissolution des oxyhydroxydes de fer au sein desquels est piégé l'arsenic, ce qui, là encore, se traduit par une libération d'arsenic dans la phase aqueuse. L'analyse de la spéciation de l'arsenic est alors essentielle si l'on veut prévoir le transfert de cet élément dans les systèmes environnementaux.

L'arsenic peut par l'action des micro-organismes se retrouver sous des formes méthylées dans les sols. La méthylation est un mécanisme de résistance développé par les micro-organismes car les composés arséniés méthylés sont beaucoup moins toxiques que les formes d'arsenic inorganiques. Différents micro-organismes bactériens et fongiques sont capables de métyler l'arsenic inorganique présent dans le sol. La voie de méthylation des bactéries et des champignons sont différentes. La biométhylation par les bactéries aura comme produit final le diméthylarsine (DMA) qui est un composé stable en absence d'oxygène. Par contre, les champignons sont capables de transformer les composés arséniés inorganiques et organiques en arsines méthylées qui sont volatiles (TMA).

Il se produit aussi dans les sols le processus inverse qui est une déméthylation des composés organo-arséniés. Ces composés sont minéralisés pour former de l'arsenic inorganique et du gaz carbonique.

Guide méthodologique de l'arsenic

La capacité de certaines bactéries à oxyder ou réduire l'arsenic est utilisée dans les techniques de dépollution des sols et des eaux. Les quelques traitement biologiques d'élimination de l'arsenic sont de deux ordres : ce sont soit des procédés de traitement indirect c'est-à-dire que l'arsenic est piégé sur des oxydes de fer et/ou de manganèse dont la précipitation est catalysée par les bactéries, soit des procédés de traitement direct où les bactéries vont oxyder ou réduire l'arsenic.

Si des traitements biologiques sont actuellement mis au point, les traitements les plus couramment utilisés pour éliminer ou stabiliser les métaux dans les sols sont essentiellement physico-chimiques. Les procédés utilisés dépendent du mode d'application qui peut être in situ (sans excavation du sol pollué, la pollution est traitée sur place), sur site (le sol pollué est excavé et le traitement se fait sur place) ou hors site (le sol pollué est excavé et le sol est considéré comme un déchet et doit être traité par le procédé approprié). Il existe de très nombreux procédés de traitement des sols pollués par les métaux, mais réellement peu sont appliqués. Ceux qui semblent les plus utilisés sont : confinement - solidification/stabilisation - mise en décharge - lavage - ou des combinaisons de ces procédés.

C'est dans le cas du traitement des eaux que les techniques de dépollution semblent les plus avancées. Un des procédés qui semble le plus prometteur est l'utilisation des sels de fer ou d'aluminium.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Haute-Normandie
Parc de la Vatine – 10 rue A. Sakharov
76130 Mont Saint Aignan – France
Tél. : 02 35 60 12 00