

*Identification d'éléments indésirables ou
toxiques dans les ressources en eau
potentielles du bassin ferrifère lorrain*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-J-210

Décembre 1999
R 40908



Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain

L. Vaute

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-J-210

Décembre 1999
R 40908



*Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles
du bassin ferrifère lorrain*

Mots clés : Eau souterraine, ressource, qualité, analyse chimique, éléments indésirables, éléments toxiques, bassin ferrifère lorrain.

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

L. Vaute (1999) – Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain. Rapport BRGM R 40908, 37 pages, 8 figures, 2 annexes.

© BRGM, 1999. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Suite à l'arrêt des exhaures minières et à l'ennoyage consécutif des exploitations, les collectivités du bassin ferrifère lorrain sont confrontées à de profondes modifications de leurs dispositifs d'alimentation en eau potable. Dans ce contexte, les deux principales ressources en eau souterraine du secteur (calcaires fracturés du Dogger et réseau d'anciennes galeries minières dans la couche ferrifère Aalénienne), susceptibles d'être exploitées pour l'AEP dans les prochaines décennies, méritent une connaissance approfondie de la chimie de leurs eaux, en particulier pour les substances indésirables ou toxiques.

En complément à la surveillance trimestrielle de la qualité de l'eau souterraine effectuée depuis 1994 dans le cadre du réseau de suivi du bassin ferrifère lorrain, cette étude a pour objectif d'établir un état de référence détaillé de la qualité des nappes d'eau souterraines pour les principaux éléments indésirables ou toxiques au cours d'une période transitoire unique dans l'histoire hydrologique de ces nappes : la fin de l'ennoyage des réservoirs miniers et le début du débordement/renouvellement de la ressource. L'étude est complétée par une revue bibliographique des origines possibles des éléments en concentrations supérieures aux normes de potabilité ou remarquables.

L'examen des résultats obtenus en 1998 et 1999 permet de faire les constatations suivantes : les eaux souterraines des réservoirs miniers sont fortement minéralisées, avec en particulier des concentrations en sulfate, sodium et magnésium très supérieures aux concentrations maximales admissibles (CMA). De même, les teneurs en certains éléments indésirables sont parfois plus fortes que les CMA : il s'agit des éléments fer, manganèse et bore, ainsi que des indicateurs de contamination humaine « indice hydrocarbures totaux », « indice phénols » et ammonium.

Au contraire, les concentrations en éléments toxiques sont toujours inférieures aux valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine actuellement en vigueur en France. Cependant, les concentrations mesurées en nickel sont parfois supérieures à la CMA de la directive européenne « eau potable », qui entrera en application avant le 25 décembre 2003.

Aucun élément en trace n'a été détecté à une concentration supérieure aux concentrations « habituellement » rencontrées dans les eaux naturelles. De même, aucun composé organique d'origine industrielle ou agricole (pesticides et herbicides) n'a pu être détecté. Enfin, il n'existe pas de risque lié à une contamination radiologique des eaux des réservoirs miniers.

Les concentrations mesurées dans les deux forages du Dogger ne sont jamais supérieures aux normes de potabilité, et cela quel que soit l'élément, sauf en ce qui concerne l'indice phénol en juillet 1998 dans le forage de Ville/Yron, et l'indice hydrocarbures totaux en avril 1999 dans le forage d'Avril aval.

L'origine possible de l'ensemble de ces composés a été indiquée. Certains composés sont dissous lors de la circulation des eaux souterraines dans les couches de minerais (fer, manganèse, nickel, métaux en trace), d'autres pendant la circulation des eaux dans les interbancs marneux (ions majeurs, strontium, bore), d'autres enfin sont des contaminants d'origine humaine liés aux anciennes activités en fond de mine ou en surface, ou aux activités actuelles de surface (ammonium, hydrocarbures, phénols).

A l'issue de cette étude, on peut proposer une liste complète de composés dont la concentration pourrait être mesurée régulièrement dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, soit : les paramètres physico-chimiques mesurés in-situ, les ions majeurs, le fer et le manganèse, le bore, le nickel, le strontium, les composés azotés, les indices hydrocarbures totaux et phénols. Ponctuellement, si l'un de ces deux derniers indices se révélait positif, il serait souhaitable de procéder à une identification des composés organiques mis en cause.

Sommaire

Synthèse	3
Sommaire.....	5
Liste des figures.....	6
Introduction.....	7
1. Programme d'échantillonnage et d'analyse	9
1.1 Chronologie des opérations.....	9
1.1.1 Première campagne d'échantillonnage « avant débordement ».....	9
1.1.2 Campagnes d'échantillonnage « après débordement ».....	9
1.1.3 Campagne supplémentaire de fin d'étiage.....	12
1.1.4 Méthodes d'échantillonnage.....	13
1.2 Analyses effectuées.....	13
1.2.1 Analyses initialement prévues.....	13
1.2.2 Première campagne d'analyses complémentaires.....	14
1.2.3 Deuxième campagne d'analyses complémentaires.....	16
2. Présentation des résultats.....	17
2.1 Sulfate, sodium, magnésium.....	17
2.2 Fer et manganèse.....	19
2.3 Bore.....	20
2.4 Nickel.....	20
2.5 Strontium.....	21
2.6 Ammonium.....	28
2.7 Indice hydrocarbures totaux et indice phénols.....	28
2.8 Composés organiques volatils et semi-volatils.....	29
2.9 Eléments en trace.....	29
2.10 Radioactivité.....	30
2.11 Pesticides.....	31
Conclusion	33
Bibliographie.....	35
Liste des annexes.....	37

Liste des figures

Figure 1 – Carte de situation des points d'échantillonnage (nom en gras, italique et souligné). Ces points appartiennent au réseau de suivi du bassin ferrifère lorrain (la carte présente l'état du réseau en décembre 1999). ..	10
Figure 2 – Chronologie des campagnes d'échantillonnage	11
Figure 3 – Bassin sud : composés chimiques dont la concentration est excessive ou remarquable (graphiques « boîtes-à-moustaches »).....	22
Figure 4 – Bassin centre : composés chimiques dont la concentration est excessive ou remarquable (graphiques « boîtes-à-moustaches »).....	23
Figure 5 – Bassin sud : évolution de la concentration des composés chimiques dont la teneur est excessive ou remarquable.....	24
Figure 6 – Bassin centre : évolution de la concentration des composés chimiques dont la teneur est excessive ou remarquable.....	25
Figure 7 – Bassin sud : indicateurs de contamination organique des eaux souterraines.	26
Figure 8 – Bassin centre : indicateurs de contamination organique des eaux souterraines.	27

Introduction

Suite à l'arrêt des exhaures minières et à l'ennoyage consécutif des exploitations, les collectivités du bassin ferrifère lorrain sont confrontées à de profondes modifications de leurs dispositifs d'alimentation en eau potable. Dans ce contexte, les deux principales ressources en eau souterraine du secteur (calcaires fracturés du Dogger et réseau d'anciennes galeries minières dans la couche ferrifère Aalénienne), susceptibles d'être exploitées pour l'AEP dans les prochaines décennies, méritent une connaissance approfondie de la chimie de leurs eaux, en particulier pour les substances indésirables ou toxiques.

En complément à la surveillance trimestrielle de la qualité de l'eau souterraine effectuée depuis 1994 dans le cadre du réseau de suivi du bassin ferrifère lorrain, cette étude ponctuelle a pour objectifs principaux :

- Etablir un état de référence détaillé de la qualité des nappes d'eau souterraines pour les principaux éléments indésirables ou toxiques (notamment arsenic, cyanures, bore, fluor, hydrocarbures, métaux lourds, ...)
- Déterminer l'origine possible de ces éléments.

Outre la vérification complète de la concordance actuelle de la composition chimique de l'eau souterraine de ces ressources potentielles avec les normes de qualité pour la distribution ou la production d'eau potable, cette étude permettra de connaître la variation de la composition de l'eau au cours d'une période transitoire unique dans l'histoire hydrologique de ces nappes : la fin de l'ennoyage des réservoirs miniers et le début du débordement/renouvellement de la ressource. Les données exceptionnelles ainsi récoltées pourront aussi servir à valider les mécanismes d'acquisition et à prévoir l'évolution de la qualité de l'eau.

Les dates de réalisation des campagnes de mesures étaient conditionnées par les dates de débordement des bassins sud et centre : ces événements ne s'étant produits qu'à la fin des mois d'octobre et décembre 1998, une grande partie du travail a été réalisée en 1999.

1. Programme d'échantillonnage et d'analyse

1.1 CHRONOLOGIE DES OPERATIONS

La zone concernée par l'étude correspond aux anciens réservoirs miniers dits "sud" et "centre" du bassin ferrifère lorrain. Les analyses ont été effectuées sur des échantillons provenant de la nappe des calcaires du Dogger et des réservoirs miniers ennoyés (figure 1), avant et pendant débordement de ces derniers (figure 2). Les caractéristiques des ouvrages échantillonnés ainsi que de tous les autres ouvrages du réseau de suivi du bassin ferrifère lorrain figurent dans le tableau de l'annexe 1.

1.1.1 Première campagne d'échantillonnage « avant débordement »

Une première campagne d'échantillonnage a été organisée le 1^{er} juillet 1998, avant le débordement des réservoirs, sur les neuf ouvrages suivants :

- réservoirs miniers :
 - bassin sud : Droitaumont II, Paradis V, Roncourt, Auboué I
 - bassin centre : Amermont III, Tucquegnieux I, Anderny II
- calcaires du Dogger :
 - bassin sud : Ville-sur-Yron V105
 - bassin centre : Avril aval

1.1.2 Campagnes d'échantillonnage « après débordement »

A chacun des points de débordement des bassins sud et centre, 3 échantillonnages étaient prévus, 2 à 3 semaines après la date de chaque débordement, puis 1 et 3 mois après le premier échantillonnage :

- Galerie de Moyeuivre pour le bassin sud
- Puits du Chevillon pour le bassin centre.

Une campagne complémentaire de prélèvements était prévue sur les neuf ouvrages cités en 1.1.1, de manière synchrone avec les prélèvements aux 2 points de débordement à la fin du premier mois (deuxième campagne « après débordement »), afin d'examiner les évolutions possibles.

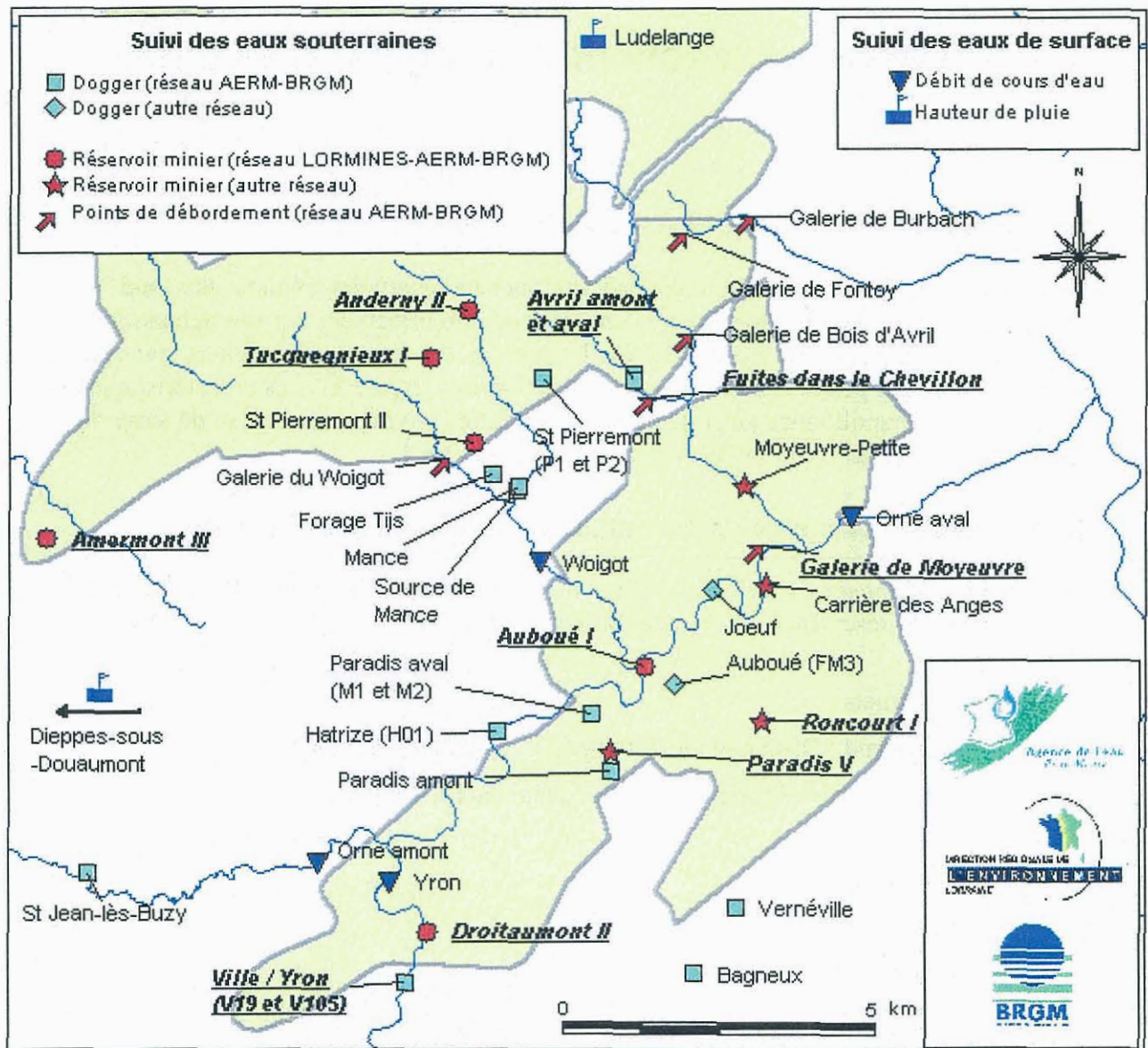


Figure 1 – Carte de situation des points d'échantillonnage (nom en gras, italique et souligné). Ces points appartiennent au réseau de suivi du bassin ferrifère lorrain (la carte présente l'état du réseau en décembre 1999).

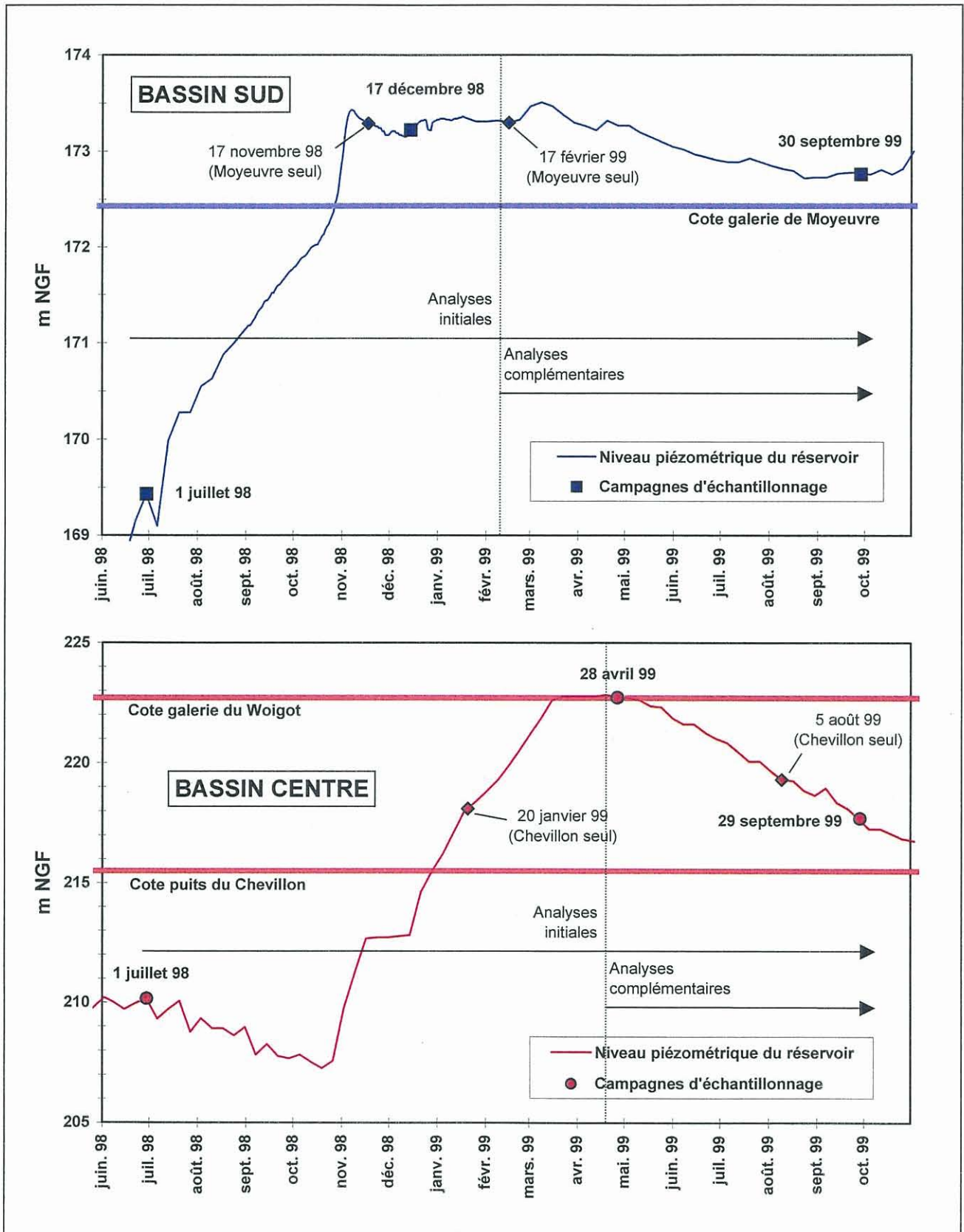


Figure 2 – Chronologie des campagnes d'échantillonnage

Le débordement du bassin sud a été constaté le 28 octobre à la galerie de Moyeuivre. Un premier échantillonnage de ce point de débordement a été effectué le 17 novembre. Un mois après, le 17 décembre, une deuxième campagne d'échantillonnage a été réalisée à Moyeuivre, ainsi que sur les 5 ouvrages concernés dans le bassin sud (Droitaumont, Paradis, Roncourt, Auboué pour le réservoir minier et Ville/Yron pour la nappe du Dogger). Un troisième échantillonnage a eu lieu à la galerie de Moyeuivre le 17 février 1999, 3 mois après la première campagne.

Le débordement du bassin centre a été constaté le 28 décembre au puits du Chevillon. Le premier échantillonnage de ce point a eu lieu le 20 janvier 1999. La seconde et la troisième campagne étaient initialement prévues pour la fin du mois de février et la fin du mois d'avril. Or, la vanne du puits du Chevillon a été fermée le 7 février, afin de diminuer la contamination en sulfate de captages situés en aval (puits du Pérotin, captant en partie l'eau de la nappe alluviale du Conroy, dans lequel se jette le Chevillon). En accord avec le comité de pilotage, la deuxième campagne d'échantillonnage a donc été repoussée à la fin du mois suivant le débordement du bassin centre à la galerie du Woigot (point de débordement principal du bassin centre).

Ce débordement a été constaté le 16 mars 1999. Cependant, l'évolution des concentrations en sulfate observée à ce point – dans le cadre du suivi de la qualité des eaux souterraines dans le bassin ferrifère – montrait que l'eau s'écoulant à la galerie du Woigot n'est pas représentative de l'eau de la formation ferrifère : l'eau de la nappe du Dogger s'infiltré dans le puits qui alimente la galerie et « dilue » l'eau du réservoir minier. Dans le même temps, on constatait l'apparition de fuites diffuses d'eau du réservoir minier centre dans le lit du Chevillon, en amont immédiat du puits du Chevillon (puits toujours fermé), sous la forme de nombreuses petites sources. Cette eau présentant des caractéristiques très nette « d'eau de mine », la deuxième campagne d'échantillonnage « après débordement » a donc eu lieu le 28 avril sur l'une de ces sources, ainsi que sur les puits Amermont, Tucquegnieux et Anderny et sur le forage Avril aval. Le troisième échantillonnage « après débordement » a eu lieu le 5 août sur les fuites du Chevillon.

1.1.3 Campagne supplémentaire de fin d'étiage

Une campagne supplémentaire d'échantillonnage et d'analyse a été réalisée à la fin du mois de septembre 1999, sur l'ensemble des 11 points étudiés, pour les raisons suivantes :

- Les périodes transitoires de débordement des deux bassins sont terminées (11 et 10 mois après le début des débordements à Moyeuivre et dans le Chevillon), et cette campagne d'analyse supplémentaire constitue une référence pour cette nouvelle période de l'histoire du bassin ferrifère.
- La période d'échantillonnage choisie se situe en fin de période d'étiage, lorsque les concentrations ont toutes les chances d'être les plus élevées du cycle hydrologique.

1.1.4 Méthodes d'échantillonnage

Afin d'assurer la représentativité des échantillons, l'échantillonnage des puits miniers équipés de pompes a été réalisé en sortie des colonnes de pompage, après un pompage d'une durée suffisante pour vidanger au moins la colonne de pompage (1 h au moins), et si possible assurer un renouvellement de l'eau du puits (24 h de pompage au moins si le puits était au repos les jours précédant l'échantillonnage).

L'échantillonnage des eaux souterraines dans les forages du Dogger non équipés de pompes a été effectuée après purge totale du forage (Lallemand-Barrès, 1993 ; Vaute, 1998). Le système de pompage utilisé a permis la purge du forage à un débit suffisamment peu élevé pour ne pas dénoyer la partie crépinée du forage, ni provoquer un re-développement du forage. La purge s'est poursuivie jusqu'à extraction d'un volume d'eau équivalent à au moins 2 fois le volume du puits et jusqu'à stabilisation de la conductivité, température et du pH de l'eau pompée.

1.2 ANALYSES EFFECTUEES

1.2.1 Analyses initialement prévues

Les analyses détaillées de la qualité de l'eau souterraine ont porté sur 36 paramètres, classés ci-après selon les catégories définies dans l'annexe I-I du décret n° 89-3 du 3 janvier 1989 modifié (« Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine ») :

a) Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau

- Paramètres mesurés sur in-situ : température, pH, conductivité.
- Anions majeurs : bicarbonate (HCO_3^-), chlorure (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}).
- Cations majeurs : calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+).
- Autres éléments : silice (SiO_2), aluminium (Al).

b) Éléments indésirables

- Composés azotés et phosphatés : ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4^{3-}).
- Composés organiques : hydrocarbures totaux (Hc. tot.), indice phénol (I. phénol).
- Métaux et autres éléments : argent (Ag), bore (B), barium (Ba), cuivre (Cu), fluor (F), fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn).

c) Eléments toxiques

- Arsenic (As), cadmium (Cd), cyanures totaux (CN tot.), chrome (Cr), nickel (Ni), plomb (Pb).

Quatre autres éléments n'apparaissant pas dans la liste du décret 89-3 ont aussi été dosés : béryllium (Be), cobalt (Co), lithium (Li), strontium (Sr).

1.2.2 Première campagne d'analyses complémentaires

Après l'analyse des résultats obtenus en 1998 et en janvier 1999, le comité de pilotage a souhaité obtenir des résultats plus détaillés en ce qui concerne :

- Les composés organiques.
- Les éléments minéraux en trace autres que ceux déjà analysés.
- La radioactivité.

Les points choisis pour la réalisation de ces compléments d'analyse ont été les deux points de débordement des bassins sud et centre (galerie de Moyeuivre et « fuites » dans le Chevillon), ainsi que le puits Amermont III. Ce dernier est en effet situé à l'ouest du bassin centre, dans une zone profonde au comportement particulier : les teneurs en sulfate y sont toujours les plus élevées.

Les échantillonnages en vue de ces analyses complémentaires ont été réalisés conjointement aux échantillonnages initialement programmés, soit le 17 février 1999 à Moyeuivre et le 28 avril 1999 à Amermont et aux fuites dans le Chevillon.

a) Composés organiques

En ce qui concerne l'analyse des composés organiques, le souhait du comité de pilotage était motivé par le fait que les résultats fournis par la mesure de l'indice hydrocarbures totaux et de l'indice phénols ne sont pas bien adaptés aux objectifs de l'étude.

En effet, l'indice hydrocarbures totaux de la norme NFT 90-114 permet la quantification des produits hydrocarbonés extractibles par le tétrachlorure de carbone en milieu acide et donnant un maximum d'absorption dans la région 3290 à 3510 nm (infra-rouge). La quantification est faite en comparant le signal d'absorption à celui d'une solution étalon comprenant 1 g d'un mélange 37,5 % de n-hexadécane, 37,5 % d'iso-octane et 25 % de toluène dans 1 l de tétrachlorure de carbone. Or, certains hydrocarbures n'absorbent pas dans l'infra-rouge. De plus, la limite de détection de la méthode est garantie uniquement à 50 ou 100 $\mu\text{g/l}$ par la majorité des laboratoires, pour des raisons de risque de contamination des échantillons, alors que la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 10 $\mu\text{g/l}$.

Le problème est de même nature pour l'indice phénol : la méthode d'analyse de la norme NFT 90-109 est basée sur le développement d'une coloration entre les phénols et

l' amino-4-antipyrindine. Or, tous les phénols ne réagissent pas à ce réactif. Par ailleurs, ceux qui réagissent conduisent chacun à une coloration dont les caractéristiques (longueur d'onde au maximum d'absorption, intensité) dépendent de la nature chimique du phénol concerné.

Il a donc été proposé de réaliser une identification qualitative des composants volatils principaux par empreinte chromatographique CG/SM (chromatographie en phase gazeuse suivie d'une détection en spectrométrie de masse). Cette méthode permet d'identifier, selon leur spectre de masse et leurs propriétés chromatographiques, les composés organiques volatils et semi-volatils figurant dans les listes prioritaires EPA annexées aux méthodes d'analyse EPA 8240 et EPA 8270, ainsi que la plupart des composés organiques de la liste des 132 substances de la directive CEE 76/464 (à l'exception des composés organotanniques et des éléments métalliques). Les composés identifiables par CG/SM appartiennent aux principales familles suivantes : organohalogénés volatils, aromatiques volatils, phénoliques, hydrocarbures paraffiniques, aromatiques polycycliques, pesticides (organochlorés, organophosphorés, organoazotés), polychlorobiphényles.

b) *Éléments minéraux en trace*

L'analyse des éléments minéraux en trace autres que ceux déjà analysés a été souhaitée pour obtenir un état de référence de la qualité de l'eau dans les réservoirs miniers du bassin ferrifère juste après le débordement des deux bassins. La méthode d'analyse semi-quantitative choisie (ICP-MS : inductively coupled plasma mass spectrometry) a permis d'effectuer la recherche de 41 éléments.

c) *Radioactivité*

Parmi des éléments chimiques indésirables à la consommation humaine figurent les éléments radioactifs naturels. Les gisements de minerais sont des accumulations particulières de minéraux, donc des anomalies de l'écorce terrestre, qui peuvent conduire à des concentrations relativement élevées en minéraux d'accompagnement de l'accumulation principale, qui sans avoir d'intérêt économique, peuvent présenter des inconvénients à différents titres.

Pendant la période d'exploitation, les industriels ont eu le souci de réduire la contamination en radon de l'atmosphère des mines par une ventilation appropriée. Le radon est en effet le produit de descendance du radium, élément de la chaîne de désintégration de l'uranium, et ses propriétés carcinogènes sont établies depuis longtemps.

De plus, des contaminations en radon des habitations dans le département de la Meurthe-et-Moselle ont été mises en évidence pour des villes situées principalement sur des couches géologiques de la base du Bajocien et à la partie supérieure du Toarcien.

Ces deux indices ont conduit à tester la possibilité de contamination radiologique de l'eau d'exhaure du Bassin Minier. Chaque échantillon a fait l'objet d'une analyse en spectrométrie gamma permettant de connaître l'activité totale de chaque échantillon et

l'activité spécifique des principaux radionucléides présents (familles de l'uranium et du thorium). En complément de ces mesures, une analyse de la concentration en radium 226 par émanométrie et des concentrations en uranium 238 et potassium 40 par spectrométrie d'émission atomique ont été réalisées. Enfin, chaque échantillon a fait l'objet d'une détermination en radon 222 dissous par la méthode dite « avec ampoule de prélèvement ».

1.2.3 Deuxième campagne d'analyses complémentaires

Pour la campagne de fin septembre 1999, tous les points étudiés ont fait l'objet d'analyses complémentaires – sauf les fuites dans le Chevillon en raison de l'absence d'écoulement significatif à cette date – :

- La dernière campagne d'échantillonnage a donné une chance supplémentaire d'identifier les composés organiques que l'on détecte assez fréquemment de manière globale, lorsque les indices phénols ou hydrocarbures totaux dépassent la limite de détection (et donc la concentration maximale admissible pour l'eau potable). Pour limiter les coûts d'analyse, le mode opératoire suivant a été proposé : un double échantillonnage a été réalisé, et en cas de détection de l'un des indices globaux, l'identification des composés organiques pouvait être effectué.
- Les composés en trace identifiés sur trois points lors de la précédente analyse supplémentaire – molybdène, rubidium, sélénium, titane, uranium et vanadium – ont été analysés quantitativement à tous les points étudiés.
- Des analyses de pesticides organochlorés (famille du lindane) et d'herbicides (famille de l'atrazine) ont été réalisées. Ces composés ont été peu détectés dans le bassin ferrifère lorrain. Cependant, ils sont analysés peu fréquemment (tous les 2 à 5 ans sur les puits AEP), et l'atrazine a été détectée en 1998 dans le puits de Moyeuve-Petite.

2. Présentation des résultats

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans les tableaux de l'annexe 2. Pour chaque composés chimique, on indique aussi dans les tableaux :

- Les valeurs limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, fixées par le Décret 89-3 du 3 janvier 1989 ou la Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 si cette dernière est plus contraignante.
- Les valeurs guides (valeurs recommandées) de ces même normes lorsque les valeurs limites n'existent pas.
- Enfin, à défaut, les « valeurs seuils des micropolluants minéraux sur eau brute, pour un usage irrigation » du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau.

Les résultats d'analyse pour les composés dont la concentration est excessive ou remarquable sont illustrés par les figures 3 à 8 et sont commentés plus particulièrement dans la suite du texte :

- Les figures 3 et 4 présentent les résultats de façon synthétique, sous la forme de graphiques « boîtes-à-moustaches », pour les 8 composés suivants : sulfate, sodium, magnésium, fer, manganèse, bore, nickel, strontium. Pour chaque point d'échantillonnage, l'ensemble des valeurs mesurées s'étale dans l'intervalle défini par les extrémités des barres verticales (les « moustaches »), la moitié des valeurs mesurées étant située dans la boîte centrale.
- Les figures 5 et 6 présentent les évolutions dans le temps des concentrations des paramètres cités ci-dessus.
- Les figures 7 et 8 présentent les résultats ponctuels d'analyse des paramètres indicateurs de contamination organique (chaque point représente un résultat d'analyse), ainsi que leur évolution dans le temps : indice hydrocarbures totaux, indice phénols, ammonium.

2.1 SULFATE, SODIUM, MAGNESIUM

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : les teneurs en sulfate des eaux des réservoirs sud et centre dépassent la concentration maximale admissible pour l'alimentation en eau potable (CMA, 250 mg/l). Dans les deux bassins, les valeurs médianes sont comprises entre 1,5 et 2,9 g/l (figures 3 et 4), sauf à Auboué où la valeur médiane est de 0,8 g/l. Concernant ce dernier puits, il est apparu après le commencement de l'étude que les échantillons prélevés ne sont pas représentatifs de l'eau de la formation ferrifère, mais plutôt d'un mélange entre cette eau et celle d'un

sous-bassin déconnecté du bassin sud et beaucoup moins minéralisée (Vaute, 1998). Les résultats d'analyse du puits Auboué ne seront donc pas considérés dans la suite du texte.

Les concentrations en sodium et magnésium dépassent aussi les CMA, avec des médianes variant entre 140 et 400 mg/l pour le sodium (CMA 150 mg/l), et entre 140 et 370 mg/l pour le magnésium (CMA 50 mg/l).

Sur la durée d'observation (15 mois du 1^{er} juillet 1998 au 30 septembre 1999), aucune tendance générale nette d'évolution n'est observée (figures 5 et 6). Compte tenu de la très faible fréquence d'échantillonnage, aucune variation saisonnière n'a pu être observée : tout au plus peut-on noter que les concentrations dans le bassin sud ont été plus fortes au mois de décembre 1998 dans le bassin sud, sans qu'il soit possible à l'heure actuelle de relier cette élévation des concentrations à un fonctionnement hydrogéologique ou hydrogéochimique.

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : l'ion sulfate présent dans l'eau des anciens réservoirs miniers résulte de la solubilisation de sels sulfatés solubles qui se sont formés par oxydation à l'air humide de la pyrite contenue dans les niveaux marneux de la formation ferrifère (Hervé, 1980). Ces composés solubles, présents avant l'envoie du réservoir, se solubilisent rapidement lorsqu'ils sont mis au contact de l'eau (la plus grande partie du stock mobilisable est dissous en 24 à 48 h, le reste en moins d'une semaine).

Le sodium résulterait du lessivage d'un minéral sodique, l'albite, présent dans les diverses couches de minerai et dans les niveaux marneux intercalaires (Dagallier et Demassieux, 1986). Selon ces auteurs, ce sont les marnes du toit et du mur qui comportent le plus de sodium ; cependant, ils ont observé que l'extraction du sodium par lixiviation des échantillons de minerai peut être comparable voire supérieure aux échantillons de marnes (dans les conditions de leurs essais).

Le magnésium est quant à lui présent dans des proportions de 1 à 3,5 % (exprimé en MgO) dans le minerai de fer lorrain (Bubenicek, 1960) ainsi que dans les intercalaires marneux et les marnes micacées (Hervé, 1980). Cependant, des essais de percolation ont montré (Hervé, 1980) que le magnésium est extrait en plus grande quantité des niveaux marneux que des couches de minerai (d'un facteur 2 à 45 selon les niveaux comparés) : dans les conditions des essais, un échantillon de marnes micacées altérées (provenant d'un dépilage ancien) a fourni la plus grande quantité de magnésium.

Evolution prévisible : les essais de mise en solution et de lixiviation effectués par différents auteurs montrent qu'en régime noyé, les stocks de sulfate, sodium et magnésium sont finis. En ce qui concerne le sulfate, le noyage des roches pyriteuses, limitant la diffusion de l'oxygène nécessaire à l'oxydation du sulfure de la pyrite, interrompt la réaction : la teneur des eaux en sulfate n'augmente pas si un niveau constant est maintenu dans les secteurs noyés. Au contraire, lorsque l'eau d'un réservoir conserve un niveau constant, sa dilution continue par les apports d'eau faiblement minéralisées de la nappe du Dogger provoque une baisse de la teneur en sulfate (Hervé, 1980). Les concentrations observées en ions majeurs dans les réservoirs miniers ne peuvent donc que décroître dans l'avenir, à un rythme qu'il est impossible de prévoir

sans étude de modélisation. A cet effet, un modèle prédictif d'évolution des concentrations en sulfate dans les réservoirs miniers est en cours d'élaboration (Etude AERM confiée au BRGM, à paraître en mars 2000).

2.2 FER ET MANGANESE

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : dans les puits miniers du réservoir sud, les concentrations médianes en fer sont faibles (40 à 90 $\mu\text{g/l}$), bien inférieures à la CMA (200 $\mu\text{g/l}$), sauf à Droitaumont (1100 $\mu\text{g/l}$). Dans le bassin centre, les teneurs en fer dans les puits sont plus élevées, de l'ordre de 250 à 400 $\mu\text{g/l}$, sauf à Amermont (4700 $\mu\text{g/l}$). Ainsi, les eaux des deux puits les plus profonds des deux réservoirs miniers sont très concentrées en fer. Au contraire, aux deux points de débordement des réservoirs, la concentration en fer est inférieure à la limite de détection de la méthode (20 $\mu\text{g/l}$).

Les concentrations en manganèse dans les réservoirs miniers sont toutes supérieures à la CMA de 50 $\mu\text{g/l}$, excepté à Chevillon. On observe le même profil de décroissance des concentrations, débutant dans les puits situés aux extrémités sud-ouest des réservoirs (Droitaumont, 650 $\mu\text{g/l}$; et Amermont, 960 $\mu\text{g/l}$) et se terminant aux points de débordement situés au nord-est (Moyeuivre, 170 $\mu\text{g/l}$; fuites dans le Chevillon, 13 $\mu\text{g/l}$).

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : deux phénomènes agissant éventuellement de concert peuvent être à l'origine de ces évolutions de concentration en fer et manganèse de l'amont vers l'aval des réservoirs miniers :

- un taux de renouvellement des eaux des réservoirs par infiltration d'eau du Dogger d'autant plus important que l'on s'approche du point de débordement, conduisant à une dilution des concentrations de l'amont vers l'aval du réservoir ;
- un changement d'état d'oxydoréduction de l'amont vers l'aval, passant d'un état réducteur au fond du réservoir (faible oxygénation) à un état oxydé au point de débordement.

Les concentrations en fer et manganèse semblent croissantes au cours du temps dans les deux réservoirs, à l'exception notable de Droitaumont. Cette augmentation des concentrations pourrait indiquer une évolution de l'état d'oxydation des eaux des réservoirs vers un état plus réducteur, liée à la diminution de l'oxygène initialement présent dans l'eau d'ennoyage (dégradation de matière organique). Cependant, il faut conserver à l'esprit qu'il est délicat de démontrer une tendance d'évolution avec 3 points d'échantillonnage seulement. Peut-être s'agit-il seulement ici d'un phénomène saisonnier apparu depuis l'ennoyage ?

Le fer trouve bien entendu son origine dans les couches de minerai exploités, où il est présent en moyenne à des teneurs de 28 à 32 % (Bubenicek, 1960), alors que le manganèse y est présent en proportion beaucoup plus faible (0,1 à 0,4 % de Mn). Les teneurs en fer dans les niveaux marneux intercalaires peuvent atteindre 10 à 20 %

(Hervé, 1980). Les mécanismes possibles de mise en solution du fer et du manganèse sont nombreux, mais ceux qui sont mis en jeu dans les réservoirs du bassin ferrifère ne sont pas connus à l'heure actuelle.

Evolution prévisible : il est très difficile de prévoir l'évolution des concentrations en fer et en manganèse, puisque les mécanismes précis de mise en solution ne sont pas connus. Les chroniques de données plus longues acquises dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère (AERM – BRGM) devraient permettre d'apporter des éléments de réponse.

2.3 BORE

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : le bore est trouvé dans les deux réservoirs sud et centre à des concentrations variant entre 1000 et 3000 $\mu\text{g/l}$, la CMA de la Directive Européenne de 1998 étant fixée à 1000 $\mu\text{g/l}$. Dans les forages du Dogger, les concentrations ne dépassent pas 100 $\mu\text{g/l}$. La concentration en bore semble augmenter au cours du temps en certains points des réservoirs, et décroître au contraire en d'autres points : il n'est pas possible en l'absence de données complémentaires (analyses plus fréquentes, séries plus longues) d'interpréter ces variations.

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : il est connu que la géochimie du bore est dominée par les processus marins (Reynolds, in Fairbridge et al., 1972). L'eau de mer contient ainsi 4600 mg/l de bore. Cet élément est extrait de l'eau de mer par sédimentation, par substitution de la silice dans les minéraux argileux (illites en particulier). Les illites déposées dans les sédiments marins contiennent de 400 à 600 mg/kg de bore : en conséquence, les schistes argileux marins peuvent contenir de 100 à 200 mg/kg de bore. Au contraire, la teneur en bore des roches carbonatées est faible (quelques mg/kg), et contrôlée par la teneur en illite. Ainsi, les fortes concentrations en bore doivent être attendues dans les eaux interagissant avec des argiles d'origine marine (Barbier et Chéry, 1999). C'est le cas du bassin ferrifère lorrain, mais aussi par exemple du Bajocien de Normandie, série sédimentaire marine, dans lequel les valeurs s'étagent de quelques dizaines de $\mu\text{g/l}$ à 1 mg/l (Gadalia et Laurendon, 1994).

Evolution prévisible : il est possible que le comportement du bore soit identique à celui des ions majeurs sulfate, sodium, magnésium, et que sa concentration décroisse au fur et à mesure de la mise en solution du stock facilement disponible (zones dépilées). Il ne faut cependant pas exclure la possibilité que ce stock soit suffisamment important pour que les concentrations restent stables, fluctuant de manière saisonnière (concentrations faibles en période de hautes eaux, fortes en étiage).

2.4 NICKEL

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : parmi les éléments toxiques, seul le nickel et le chrome ont été détectés. Le chrome n'a été détecté en concentration significative qu'une seule fois, dans le puits Droitaumont, à une

concentration très inférieures à la CMA. Au contraire, la concentration en nickel peut être jusqu'à 4 fois supérieure (Chevillon, Amermont) à la CMA à 20 µg/l de la directive européenne « eau potable » 98/83/CE.

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : les minerais de fer oolithiques contiennent des concentrations non négligeables de nickel (Avias, in Fairbridge, 1972). En effet, le nickel est associé au fer solide partout où ce dernier est présent. D'autre part, dans des conditions réductrices, le nickel précipite sous forme de sulfure dans les boues marines, riches en organismes vivants.

Le nickel est présent dans le minerai de fer lorrain à des concentrations variant de 60 à 120 mg/kg, en compagnie d'autres métaux toxiques ou indésirables présents à des teneurs pouvant être supérieures (Bubenicek, 1960) :

- chrome (65 à 160 mg/kg),
- plomb (55 à 130 mg/kg),
- argent (60 à 160 mg/kg),
- cuivre (40 à 95 mg/kg),
- zinc (100 à 380 mg/kg).

Evolution prévisible : sans la connaissance du mécanisme de mise en solution du nickel (et donc de sa forme chimique en solution), il n'est pas possible de prévoir l'évolution de sa concentration, d'autant moins qu'aucune tendance d'évolution ne se dégage des concentrations observées dans cette étude.

2.5 STRONTIUM

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : le strontium n'est pas un élément indésirable ou toxique selon la réglementation en vigueur, mais il est présent à des concentrations inhabituelles dans les eaux des réservoirs miniers : on le rencontre à des teneurs variant entre 6,7 et 11,8 mg/l, sauf dans les fuites de chevillon (2,7 mg/l) et bien sur à Auboué (4,5 mg/l). Dans les forages Avril aval et Ville/Yron V105, les concentrations médianes sont de 0,3 et 1,9 mg/l. Il n'existe aucune CMA ou valeur guide dans les documents normatifs examinés. Les eaux distribuées aux Etats-Unis contiennent moins de 0,11 mg/l de strontium en moyenne. Cependant, certaines eaux souterraines sont fortement concentrées en cet élément, jusqu'à 52 mg/l, cette concentration étant l'une des plus élevée rapportée aux Etats-Unis pour une eau potable (Hem, 1971).

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : la distribution du strontium dans les minéraux, les roches, les sédiments et les eaux est souvent liée à celle du calcium (Wehmler, in Fairbridge, 1972). En effet, le calcium est facilement substitué par le strontium en raison de leurs rayons ioniques très proches. D'autre part, le strontium semble pouvoir être concentré dans les schistes argileux, grâce aux propriétés d'échange d'ion de leurs minéraux argileux.

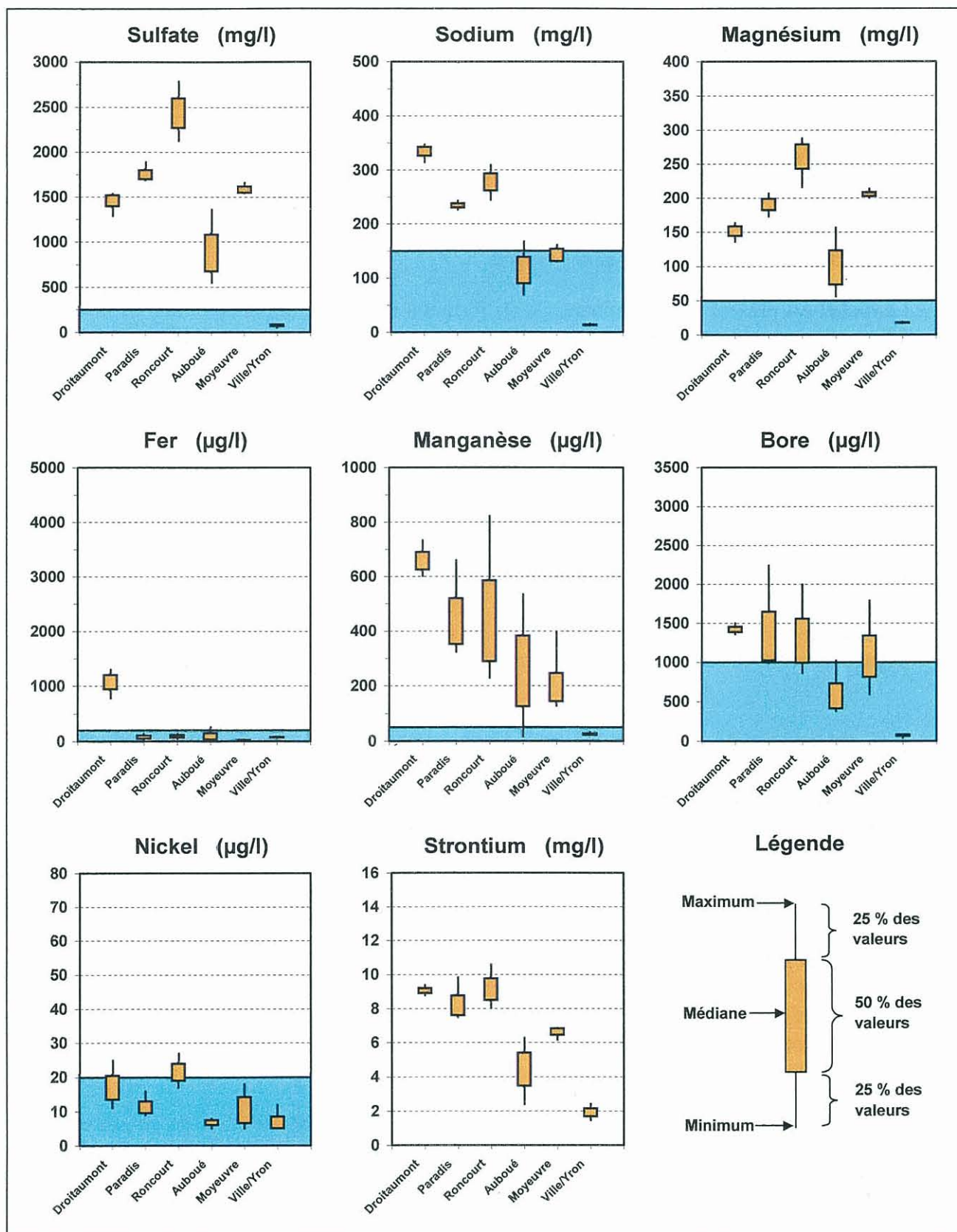


Figure 3 – Bassin sud : composés chimiques dont la concentration est excessive ou remarquable (graphiques « boîtes-à-moustaches »).

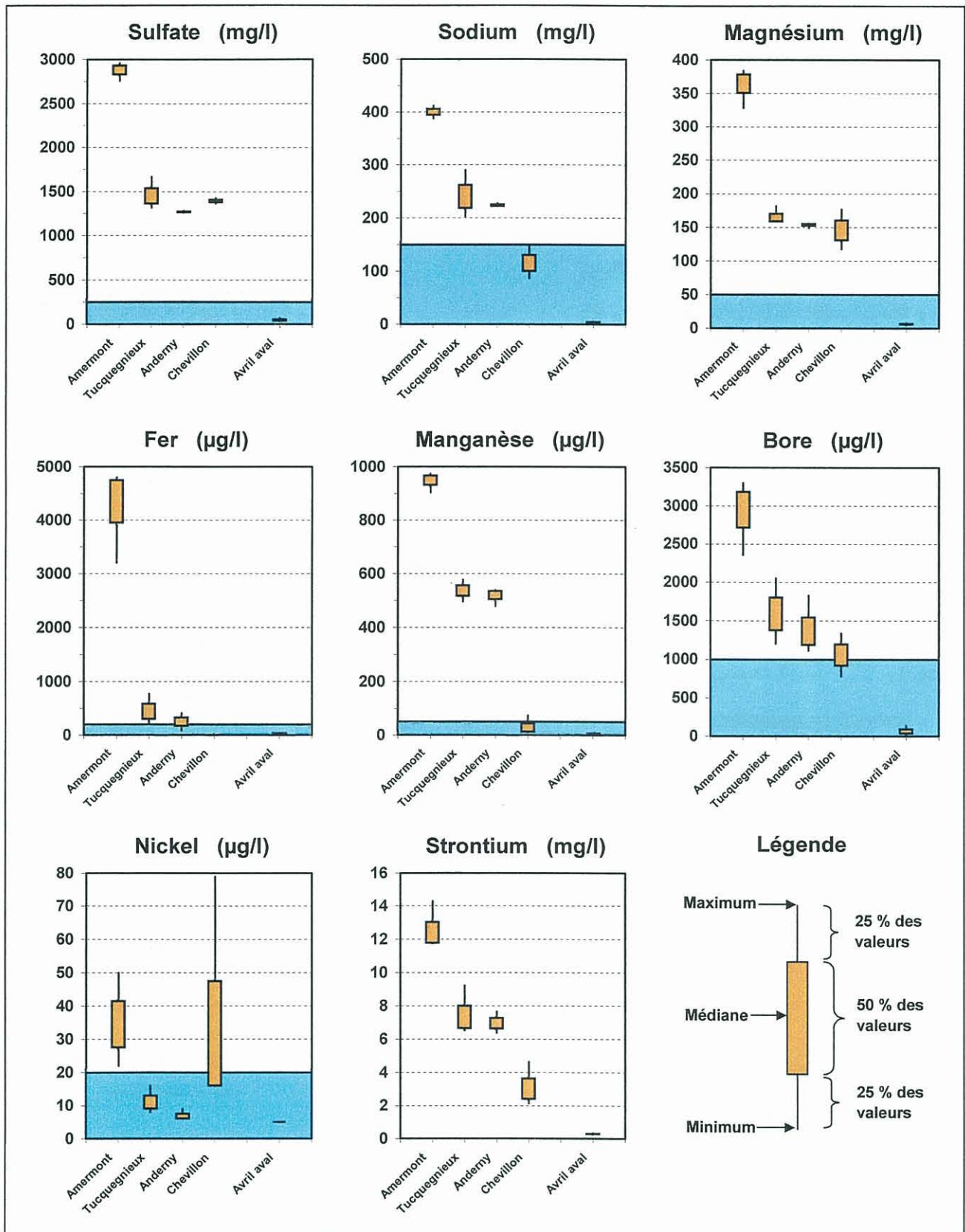


Figure 4 – Bassin centre : composés chimiques dont la concentration est excessive ou remarquable (graphiques « boîtes-à-moustaches »).

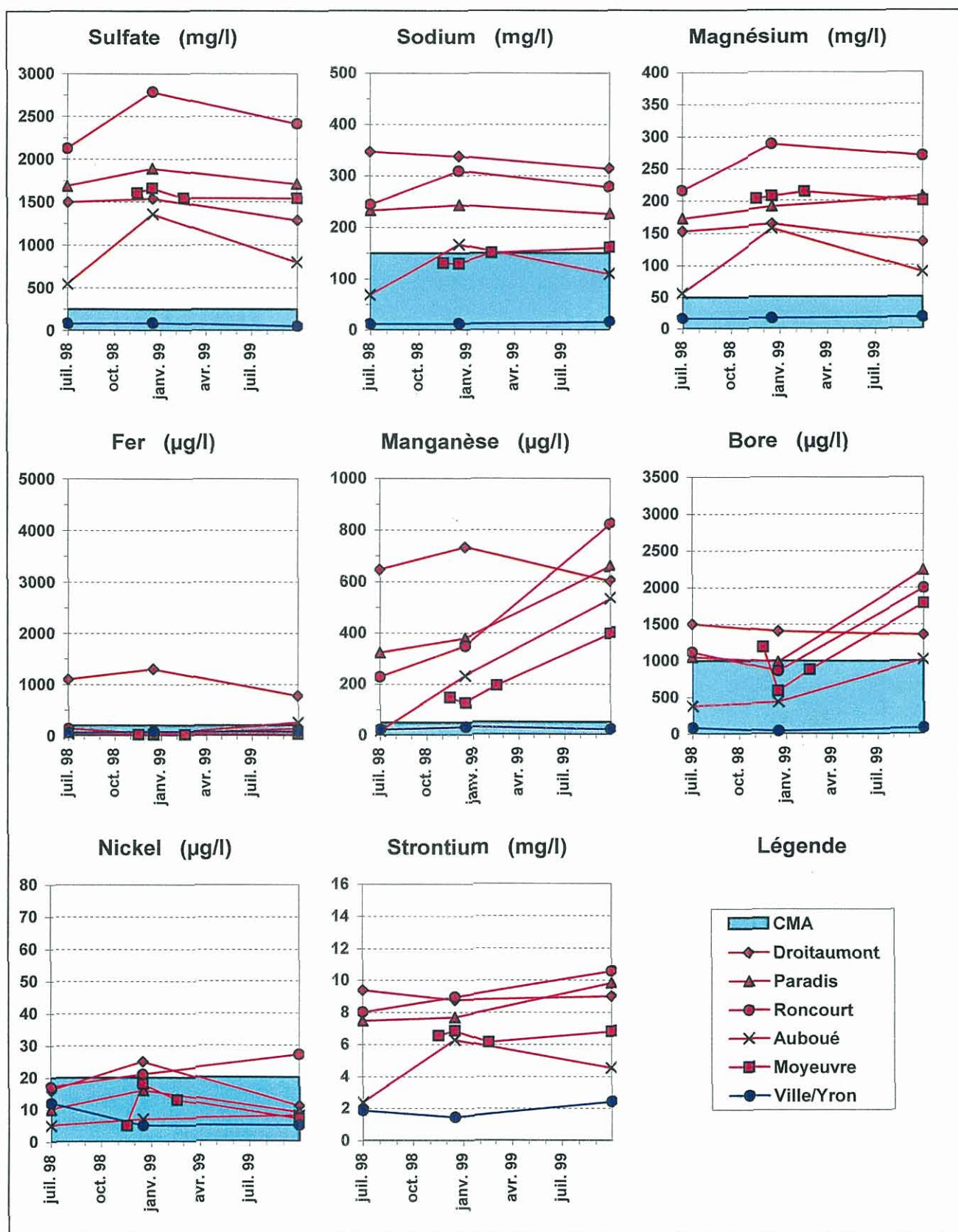


Figure 5 – Bassin sud : évolution de la concentration des composés chimiques dont la teneur est excessive ou remarquable.

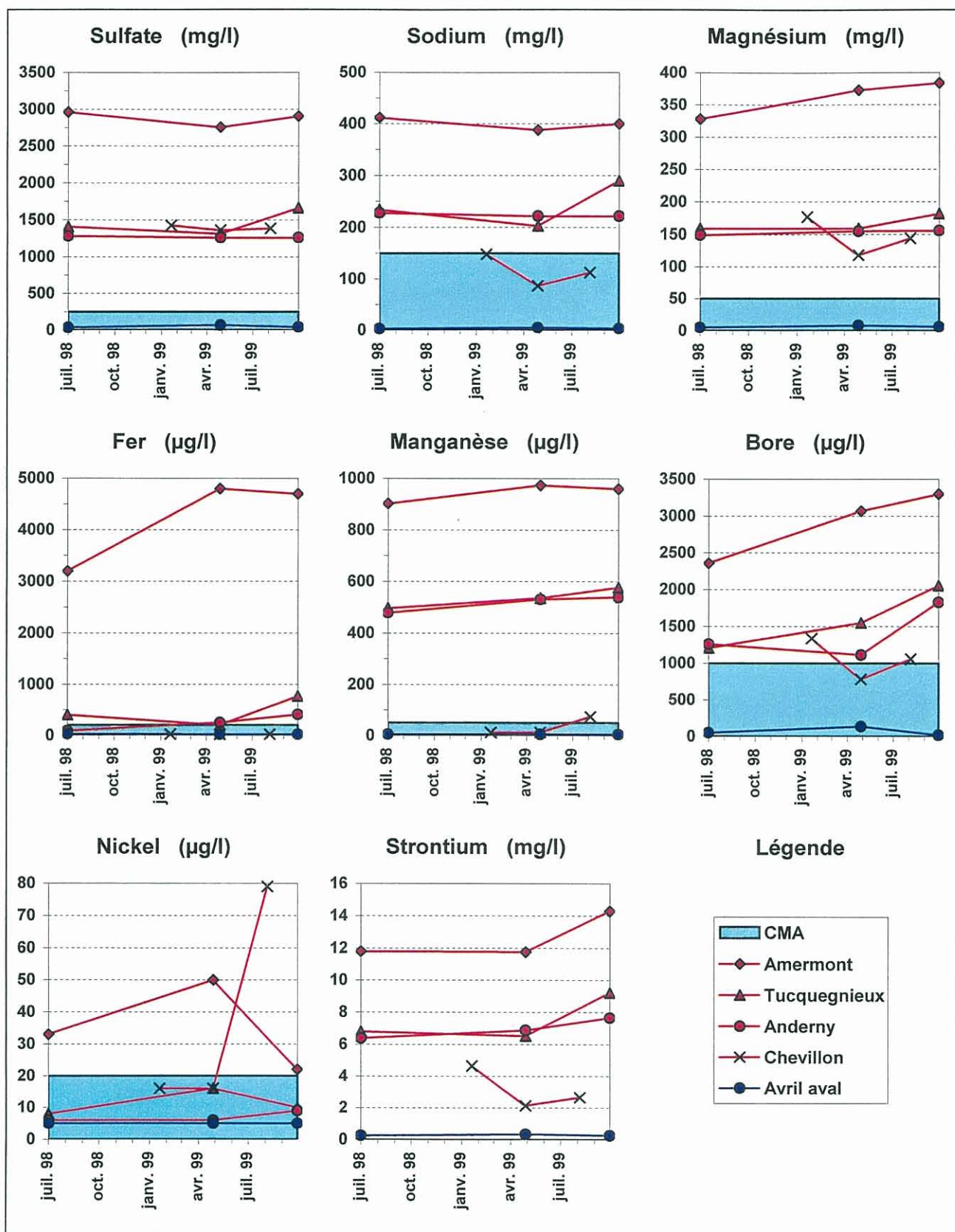


Figure 6 – Bassin centre : évolution de la concentration des composés chimiques dont la teneur est excessive ou remarquable.

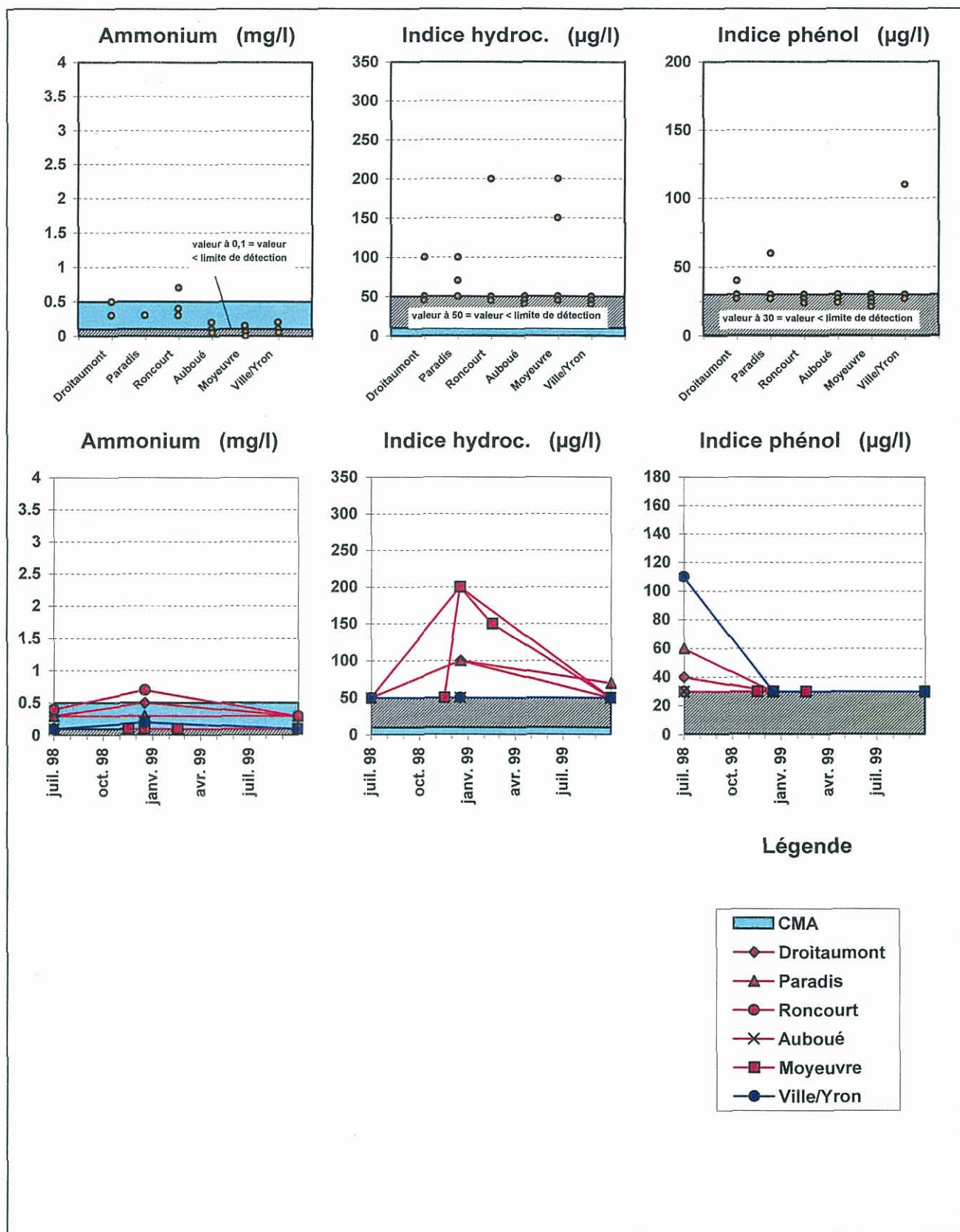


Figure 7 – Bassin sud : indicateurs de contamination organique des eaux souterraines.

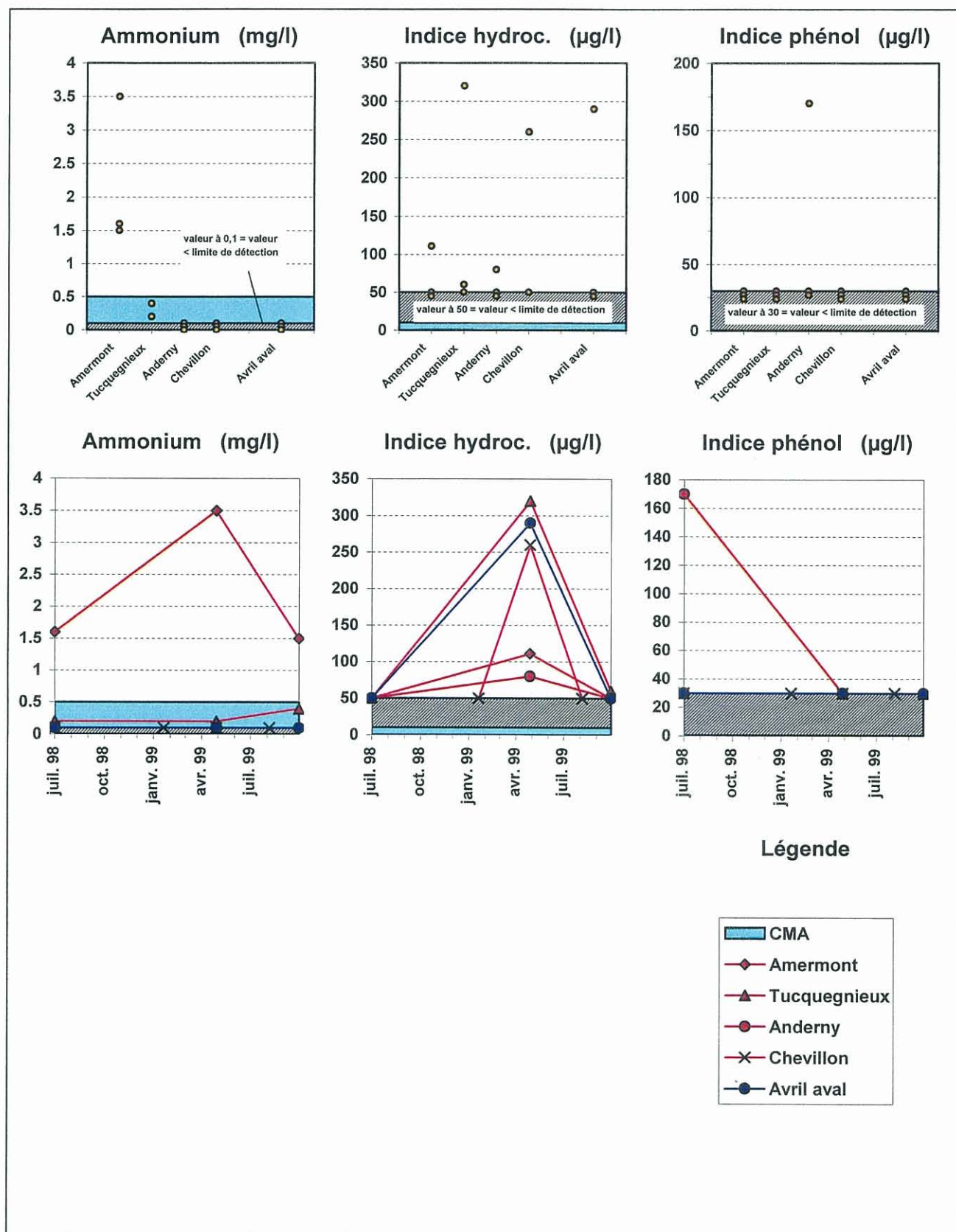


Figure 8 – Bassin centre : indicateurs de contamination organique des eaux souterraines.

Evolution prévisible : les expériences de lixiviation réalisées par différents auteurs montrent que l'évolution des concentrations en sulfate, sodium, magnésium et calcium sont corrélées. Compte tenu du fait que la distribution du strontium est liée à celle du calcium, on peut penser que la concentration en strontium diminuera avec celle des ions majeurs.

2.6 AMMONIUM

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : l'ammonium est mesuré dans quelques puits miniers en concentration significativement supérieure à la limite de détection, mais sa teneur dans les eaux n'est égale ou supérieure à la CMA qu'à Amermont, Droitaumont et Roncourt. Aucune tendance d'évolution ne peut être mise en évidence. L'ammonium n'est pas détecté en concentration significative dans les forages du Dogger.

Origine supposée et mécanismes de « contamination » : l'ammonium est un contaminant d'origine humaine, issu de la dégradation bactérienne de matières organiques azotées (contenues par exemple dans les eaux usées urbaines et industrielles, les lixiviats de décharges, les engrais organiques) ou de l'épandage d'engrais ammoniacés. Il n'est stable qu'en conditions réductrices, puisqu'en présence d'oxygène, il est rapidement transformé en nitrite puis en nitrate par des bactéries.

Il est possible que ce contaminant provienne de la dégradation de matières organiques laissées dans le réservoir, mais aussi de l'infiltration aux abords des puits d'effluents contaminants.

Evolution prévisible : L'évolution des concentrations sera liée au stock de matière organique dégradable éventuellement présente dans les réservoirs, ou à l'évolution du flux de rejets contaminants de surface (et aux mesures qui seront prises si une activité source de contamination est identifiée).

2.7 INDICE HYDROCARBURES TOTAUX ET INDICE PHENOLS

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : les valeurs des indices hydrocarbures totaux et phénols sont parfois supérieures aux limites de détection des méthodes : respectivement 12 analyses positives sur 34 effectuées et 4 analyses positives sur 35 effectuées. La répartition dans le temps des analyses positives montre que les résultats positifs sont groupés : dans chacun des réservoirs, il semble que la contamination se produise de façon sporadique et simultanée en chacun des points échantillonnés, ce qui laisse penser à la circulation de lentilles de produits, sans réelle pollution massive.

Origine supposée et mécanismes de « contamination » : les indices hydrocarbures totaux et phénols sont représentatifs de contaminations industrielles issues de l'usage mal contrôlé de produits organiques au fond des mines ou dans les installations

industrielles de surface (fioul, huiles et graisses, PCB, produits de traitement du bois, etc.).

Il faut noter que la limite de détection de la méthode d'analyse de l'indice hydrocarbures totaux se situe à 0,1 mg/l, soit une valeur 10 fois supérieure à la norme de potabilité. Le même problème se pose pour l'indice phénols, dont la limite de détection est 60 fois plus élevée que la norme. C'est pourquoi une méthode plus précise d'identification des composés organiques a été mise en œuvre.

Evolution prévisible : lorsque les composés organiques mis en cause seront identifiés, une recherche des localisations possibles, des quantités éventuellement présentes et des modes de circulation pourraient être envisagés. L'évolution des concentrations en un point dépend de ces trois facteurs, et n'est pas prévisible à l'heure actuelle.

2.8 COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS ET SEMI-VOLATILS

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : les échantillons ont tout d'abord été analysés par chromatographie en phase gazeuse avec détection par spectrométrie de masse. Aucun composé organique appartenant aux listes prioritaires de l'Environmental Protection Agency ou de la directive CEE 76 464 – dite liste des 132 substances – n'a été identifié.

La recherche de composés organiques volatils par chromatographie en phase gazeuse avec détection par spectrométrie de masse et injection par espace de tête dynamique n'a pas révélé la présence de composés organohalogénés, de composés aromatiques monocycliques, de cétones ou d'autres composés volatils appartenant aux listes prioritaires mentionnées ci-dessus.

En conclusion, aucun composé organique d'origine industrielle n'a pu être détecté et identifié dans les conditions analytiques mises en œuvre.

2.9 ELEMENTS EN TRACE

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : la première campagne d'analyse semi-quantitative sur les points de débordement et à Amermont a permis d'identifier les éléments en trace, les valeurs de concentrations figurant dans les tableaux de résultats étant seulement indicatives. Seuls les éléments suivants ont été détectés :

- titane, vanadium, molybdène ;
- sélénium, rubidium, uranium, yttrium.

Lors de la deuxième campagne, seuls les 6 premiers éléments en trace ont été dosés, mais sur l'ensemble des points échantillonnés et de façon quantitative :

- Les concentrations en titane, vanadium et molybdène sont toujours inférieures aux limites de détection (10 µg/l pour les trois éléments) ; il faut noter cependant que le titane a été détecté à des concentrations très supérieures (211 µg/l à Amermont, 134 µg/l à Chevillon) lors de l'analyse qualitative d'identification des éléments en trace.
- Le sélénium est rencontré une seule fois en concentration très peu supérieure (12 µg/l) à la limite de détection de la méthode d'analyse (10 µg/l).
- Le rubidium et l'uranium sont détectés à des concentrations significativement différentes des limites de détection, mais rarement supérieures à 10 µg/l (les valeurs maximales sont respectivement de 13 µg/l et 1,8 µg/l).

Le sélénium est un élément toxique, dont la concentration dépasse une seule fois et de peu la CMA (10 µg/l). Il n'existe pas de concentration maximale ou recommandée pour les autres éléments détectés. Seules les concentrations « habituelles » mesurées dans les eaux naturelles peuvent fournir des points de comparaison. Tous les éléments sont détectés à des concentrations dépassant rarement 10 µg/l. Or, les concentrations « habituelles » de molybdène, titane, vanadium, rubidium et uranium dans les eaux naturelles sont de l'ordre de quelques µg/l, ne dépassant qu'exceptionnellement 10 µg/l (Hem, 1971). Ainsi, aucun élément en trace n'est présent dans les eaux souterraines du bassin ferrifère en concentration supérieure aux concentrations « habituelles ».

Origine supposée et mécanismes de mise en solution : la plupart des éléments en trace qui ont été détectés ont des propriétés chimiques proches de celles d'autres éléments présents en beaucoup plus grande quantité dans les roches du bassin ferrifère – ces éléments sont donc retrouvés dans l'eau qui circule dans ces roches –. On peut les classer en deux catégories : les éléments associés aux minéraux fréquemment rencontrés dans le minerai de fer, et ceux associés aux minéraux des interbanes marneux ou argileux.

Le titane, le vanadium et le molybdène, sont des éléments liés aux minéraux lourds associés au minerai. On les rencontre à des teneurs variant entre 1,6 et 5 g/kg pour le titane (exprimé en TiO₂), et 0,5 et 0,7 g/kg pour le vanadium (Bubenicek, 1960).

Le sélénium est associé au soufre (pyrite des interbanes) ; le rubidium est associé au potassium des argiles et des micas des interbanes argileux ou marneux ; l'yttrium est associé au bore (Pauling, 1960). L'uranium, piégé par la matière organique (Haglund, in Fairbridge, 1972), est lui aussi associé aux interbanes argileux ou marneux par l'intermédiaire de cette dernière.

2.10 RADIOACTIVITE

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : les niveaux mesurés pour chaque radionucléide contenu dans les échantillons sont tous inférieurs aux limites de sensibilité des méthodes employées. Les concentrations en radon 222 varient entre 1,6

et 2,7 Bq/l. Les valeurs moyennes naturelles en radon 222 dans l'eau sont de 10 Bq/l pour les eaux souterraines et de 1 Bq/l pour les eaux de surface (Rapport UNSCEAR, 1993).

Il n'existe donc pas de risque lié à une contamination radiologique des eaux de débordement des mines de fer des bassins sud et centre. Les débits de débordement (plusieurs m³/s) suffisent à abaisser les concentrations en uranium et ses descendants à des concentrations inférieures aux seuils de recommandation. S'il était nécessaire d'effectuer un contrôle épisodique en fonction des débits d'exhaure, la recherche du radon paraît suffisante comme indicateur de concentration.

Origine supposée et mécanismes de « contamination » : les conditions de dépôts du minerai de fer lorrain étaient des conditions oxydantes (milieu néritique ou de rivage tels les sables de plages deltaïques). Ces conditions sont peu favorables à l'enrichissement relatif en minéraux de la famille de l'uranium. Néanmoins, le minerai oxydé est accompagné par des concentrations relativement importantes en sulfures (pyrite principalement), dont l'occurrence est plus particulièrement associée aux inter-bancs marneux ou argileux, tels que la couche des marnes micacées formant le toit du minerai. La présence de pyrite est symptomatique d'un milieu réducteur, confiné, de type euxinique. Or ce milieu est associé à la matière organique, elle-même fonctionnant comme piège des minéraux de la famille de l'uranium (c'est d'ailleurs dans des milieux de ce type, déposés pendant la période permienne que se sont accumulés les dépôts exploités par exemple à Bertholène ou à Lodève au sud du Massif Central).

Le radon est le produit de descendance du radium, élément de la chaîne de désintégration de l'uranium.

2.11 PESTICIDES

Concentrations observées – problèmes posés pour l'AEP : aucun des pesticides organochlorés ou des herbicides recherchés n'est présent en concentration supérieure à la limite de détection de la méthode, excepté l'hexachlorobenzène à Amermont et l'alpha-HCH à Ville/Yron. Les concentrations mesurées en ces deux points sont 5 à 10 fois inférieures à la CMA de chacun des composés.

Conclusion

L'examen des résultats obtenus en 1998 et 1999 permet de faire un certain nombre de constatations. Dans les eaux souterraines des réservoirs miniers :

- Les eaux sont fortement minéralisées : les concentrations en sulfate, sodium et magnésium sont très supérieures aux CMA. Le strontium est présent à des teneurs remarquables. Le puits d'Amermont (bassin centre) est l'ouvrage qui capte l'eau la plus minéralisée.
- Les éléments indésirables dont les concentrations sont parfois plus fortes que les CMA sont les éléments fer, manganèse et bore, ainsi que les indicateurs de contamination humaine « indice hydrocarbures totaux », « indice phénols » et ammonium.
- Les concentrations en éléments toxiques sont toujours inférieures aux valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine actuellement en vigueur en France. Cependant, les concentrations mesurées en nickel sont parfois supérieures à la CMA de la directive européenne « eau potable », qui entrera en application avant le 25 décembre 2003.
- Aucun élément en trace n'a été détecté à une concentration supérieure aux concentrations « habituellement » rencontrées dans les eaux naturelles. Aucun composé organique d'origine industrielle ou agricole (pesticides et herbicides) n'a pu être détecté. Enfin, il n'existe pas de risque lié à une contamination radiologique des eaux de débordement des mines de fer des bassins sud et centre.

Quel que soit l'élément, les concentrations mesurées dans les deux forages du Dogger ne sont jamais supérieures aux normes de potabilité, sauf en ce qui concerne l'indice phénol en juillet 1998 dans le forage de Ville/Yron, et l'indice hydrocarbures totaux en avril 1999 dans le forage d'Avril aval.

L'origine possible de l'ensemble de ces composés a été indiquée. Certains composés sont dissous lors de la circulation des eaux souterraines dans les couches de minerais (fer, manganèse, nickel, métaux en trace), d'autres pendant la circulation des eaux dans les interbancs marneux (ions majeurs, strontium, bore), d'autres enfin sont des contaminants d'origine humaine liés aux anciennes activités en fond de mine ou en surface, ou aux activités actuelles de surface (ammonium, hydrocarbures, phénols).

A l'issue de cette étude, on peut proposer une liste complète de composés dont la concentration pourrait être mesurée régulièrement dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, soit : les paramètres physico-chimiques mesurés in-situ, les ions majeurs, le fer et le manganèse, le bore, le nickel, le strontium, les composés azotés, les indices hydrocarbures totaux et phénols. Ponctuellement, si l'un de ces deux derniers indices se révélait positif, il serait souhaitable de procéder à une identification des composés organiques mis en cause.

Bibliographie

- Avias J. (1972) – The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series, vol. IVA, edited by R. W. Fairbridge, Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, 1321 p.
- Barbier J., Chéry L. (1999) – Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines. Réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales. Rapport BRGM R 40448, 62 p., 3 fig., 2 tabl., 1 ann.
- Bubenicek L. (1960) – Recherches sur la constitution et la répartition des minerais de fer dans l'Aalénien de Lorraine. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Nancy, 204 p., 61 fig., 39 tabl.
- Dagallier G., Demassieux L. (1986) – Origine des teneurs en sodium des eaux des mines de fer en cours d'exploitation ou après ennoyage. Rapport Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière – Centre de Recherches en Mécanique et Hydraulique des sols et des roches –, 10 p., 8 ann.
- Gadalia A., Laurendon P. (1994) – Gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du Bajocien, Phase 2 : Origine et possibilité de traitement du fluor. Rapport BRGM R37917, 10 p.
- Haglund D. S. (1972) – The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series, vol. IVA, edited by R. W. Fairbridge, Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, 1321 p.
- Hem J. D. (1971) – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2nd ed. *Geological Survey Water-Supply Paper 1473*, United States Government Printing Office, Washington, 363 p.
- Hervé D. (1980) – Etude de l'acquisition d'une teneur en sulfates par les eaux stockées dans les mines de fer de Lorraine. Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 80 p., 35 fig., 16 tabl., 5 ann.
- Lallemand-Barres A. (1993) – Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines. Rapport BRGM R 37390, 95 p., 1 ann.
- Pauling L. (1960) – Chimie générale. Introduction à la chimie descriptive et à la chimie théorique moderne. *Dunod*, Paris, 728 p.
- Reynolds R. C. Jr (1972) – The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series, vol. IVA, edited by R. W. Fairbridge, Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, 1321 p.

*Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles
du bassin ferrifère lorrain*

Vaute L. (1998) – Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 1998.
Rapport BRGM R 40789, 69 p., 26 fig., 6 ann.

Wehmiller J. (1972) – The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental
Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series, vol. IVA, edited by R. W.
Fairbridge, Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, 1321 p.

Liste des annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des ouvrages de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain.

Annexe 2 : Résultats des analyses initiales et complémentaires

Annexe 1 :

*Caractéristiques des ouvrages de surveillance des
eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain*

Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles
du bassin ferrifère lorrain

Indice BSS	Nom usuel	Département	Commune	Type de suivi	Réseau
0137-2X-0207	Source de Mance	54	Mance	DQ	Nappe des calcaires du Dogger (réseau AERM - BRGM)
0163-3X-0077	Bagneux	57	Vernéville	P	
0136-8X-0008	St Jean-lès-Buzy	55	St Jean-lès-Buzy	P	
0137-7X-0205	Vernéville (nouveau)	57	Vernéville	P	
0163-2X-0071	Ville / Yron (V19)	54	Ville / Yron	P	
0137-3X-0131	Avril amont (A 15)	54	Avril	PQ	
0137-3X-0130	Avril aval (A 25)	54	Avril	PQ	
0137-6X-0149	Hatrizé (H01)	54	Hatrizé	PQ	
0137-2X-0204	Mance (M 52)	54	Mance	PQ	
0137-7X-0209	Paradis amont (B01)	54	Batilly	PQ	
0137-7X-0211	Paradis aval (M01)	54	Moineville	PQ	
0137-7X-0212	Paradis aval (M02)	54	Moineville	PQ	
0137-3X-0132	St Pierremont (P01)	54	Avril	PQ	
0137-3X-0133	St Pierremont (P02)	54	Avril	PQ	
0163-2X-0070	Ville / Yron (V105)	54	Ville / Yron	PQ	
0137-2X-0206	Forage Tijs	54	Mance	Q	
0137-7X-0188	Auboué (FM3)	54	Homécourt	P	(autre réseau)
0137-3X-0056	Joeuf	54	Joeuf	Q	
0137-3X-0134	Galerie de Bois d'Avril	57	Neufchef	DQ	Réservoir minier (réseau LORMINES - AERM - BRGM)
0113-8X-0172	Galerie de Burbach	57	Algrange	DQ	
0113-7X-0151	Galerie de Fontoy	57	Hayange	DQ	
0137-4X-0234	Galerie de Moyeuvre	54	Moyeuvre-Grande	DQ	
0137-2X-0197	Galerie du Woigot	54	Mancieulles	DQ	
0137-2X-0196	Tucquegnieux I	54	Tucquegnieux	P	
0136-4X-0042	Amermont III	55	Dommary-Baroncourt	PQ	
0137-7X-0099	Auboué I	54	Auboué	PQ	
0137-6X-0148	Droitaumont II	54	Jarny	PQ	
0113-6X-0148	Anderny II	54	Tucquegnieux	Q	
0137-3X-0027	Fuites dans le chevillon	54	Avril	Q	
0137-3X-0085	Puits du Chevillon	54	Avril	Q	
0137-2X-0198	St Pierremont II	54	Mancieulles	Q	
0137-4X-0226	Carrière des Anges	57	Montois-la-Montagne	P	(autre réseau)
0137-3X-0129	Moyeuvre-Petite	57	Moyeuvre-Petite	P	
0137-7X-0213	Paradis V	54	Moineville	Q	
0137-8X-0121	Roncourt I	57	Roncourt	Q	

D = débit

P = niveau piézométrique

Q = qualité

= point échantillonné dans le cadre de cette étude

Annexe 2 :

Résultats des analyses initiales et complémentaires

Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain

Bassin sud	Paramètre	Limite de détection	Unité	Eau potable (valeur indicative)	Norme	Droitaumont			Paradis			Roncourt			Auboué			Moyeuve			Ville/Yron V105			
						17/98	15/12/98	29/9/99	17/98	17/12/98	30/9/99	17/98	17/12/98	30/9/99	01/07/98	17/12/98	30/9/99	17/11/98	17/12/98	17/02/99	29/9/99	17/98	16/12/98	27/9/99
Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau	T		°C	25	1		14.4	14.6		12.7	13.2		12.9	12.9		12.2	13.4	11.8	12.3	12.1	12.4		11.4	13.4
	Cond. pH	1	µS/cm	(400)	1	3250	3130	2930	3310	3390	3320	3780	4310	4120	1509	2720	1919	3050	3090	3120	3050	743	746	743
		0.1	u. pH	6.5 - 9	1	7.5	7.07	7.29	7.6	7.03	6.98	7.4	7	7.04	7.8	7.05	7.19	7.12	7.14	7.05	7.05	7.7	6.96	7.18
	HCO3-	3	mg/l		1	537	553	540	485	502	519	507	542	548	332	477	372	478	479	480	489	347	357	231
	Cl-	0.1	mg/l	200	1	54.3	56.1	58	48.7	48.5	37.8	42	41.8	35.8	30.5	37.7	32.6	28.5	31.4	29.6	31.4	23.6	24.7	15.4
	SO42-	0.1	mg/l	250	1	1499	1539	1288	1686	1891	1711	2125	2788	2414	547	1359	800	1604	1662	1544	1543	82.7	89.3	52.5
	Ca2+	0.1	mg/l	(100)	1	194	226	212	318	340	354	385	454	450	137	274	209	396	355	367	372	113	112	57
	Mg2+	0.1	mg/l	50	1	153	164	136	173	191	207	216	288	270	56.4	157	89.8	203	207	214	200	17	17	18.8
	Na+	0.1	mg/l	150	1	347	338	314	233	243	226	244	309	278	69.1	167	110	131	130	151	161	12	12.7	15.8
	K+	0.3	mg/l	12	1	7	6.1	5.3	9.1	8.2	8.2	13	12.8	11.8	8.4	6	5.8	6.9	6.9	7.7	6.8	4.6	3.4	5.5
	SiO2	0.5	mg/l		1	9.4	17.4	10.8	8.1	13.6	10.9	8.9	11.1	10.5	4.5	8.5	6.5	16.3	9.8	10.2	10.6	5.7	5.8	7.6
Al	30	µg/l	200	1	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Éléments indésirables	NH4+	0.1	mg/l	0.5	1	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	0.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.1
	NO2-	0.01	mg/l	0.1	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	NO3-	0.1	mg/l	50	1	<0.1	<0.1	<0.1	3.7	1.9	0.8	7.5	1.7	<0.1	1.7	2.7	<0.1	1.8	1.7	1.6	1.2	<0.1	<0.1	0.2
	PO43-	0.1	mg/l	3.35	1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	HC tot.	100-50	µg/l	10	1	<100	100	<50	<100	100	70	<100	200	<50	<100	<100	<50	<100	200	150	<50	<100	<100	<50
	f. phénol	30	µg/l	0.5	1	40	<30	<30	60	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	110	<30	<30
	Ag	5	µg/l	10	1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
	B	20	µg/l	1000	2	1503	1408	1359	1052	988	2245	1118	863	1990	381	442	1824	1191	592	882	1792	83	43	88
	Ba	5	µg/l	(100)	1	25	22	19	28	27	22	31	29	32	29	24	23	22	20	19	58	57	49	
	Cu	2	µg/l	1000	1	5	7	<2	9	7	4	86	7	5	4	3	3	7	7	8	4	4	<2	3
	F	100	µg/l	100	1	300	200	300	100	<100	200	100	<100	200	200	<100	200	<100	<100	100	600	400	400	
Fe	20	µg/l	2500	1	1100	1300	780	70	20	140	140	40	1450	40	<20	260	21	<20	30	60	80	80		
Mn	5	µg/l	50	1	647	733	602	323	379	660	228	348	823	13	232	534	148	127	195	398	23	32	21	
Zn	5	µg/l	5000	1	<5	12	11	<5	19	10	18	87	72	1379	80	1863	24	19	14	17	<5	7	15	
Éléments toxiques	As	10	µg/l	10	2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
	Cd	2	µg/l	5	1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
	CN tot.	10	µg/l	50	1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10		
	Cr	5	µg/l	50	1	<5	17	<5	<5	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
	Ni	5	µg/l	20	2	16	25	11	10	16	9	17	21	27	<5	7	8	<5	18	13	7	12	<5	
	Pb	2	µg/l	10	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2		
	Se	10	µg/l	10	1			<10			<10			<10			<10			[2]	<10			
Autres éléments	Be	5	µg/l	(100)	3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
	Co	2	µg/l	(50)	3	5	7	3	4	5	3	5	6	6	<2	3	3	5	5	8	2	<2	<2	
	Li	10	µg/l	(2500)	3	<10	<10	10	<10	10	10	10	10	20	10	<10	20	<10	<10	<10	<10	10	<10	10
	Mo	10	µg/l	(10)	3			<10			<10			<10			<10			[0.3]	<10			
	Ru	5	µg/l		3			<5			6			13			6			[5]	6			
	Sr	10	µg/l			9390	8770	9010	7480	7690	9830	8020	8950	10570	2390	6280	4530	6540	6850	6140	6810	1880	1460	2430
	Ti	10	µg/l				<10				<10			<10			<10			[13]	<10			
	U	0.1	µg/l				0.8				1.6			1.8			0.6			[1.4]	1.1			
	V	10	µg/l	(100)	3			<10			<10			<10			<10			[1]	<10			

1 = Annexe I-I du Décret 89-3 du 3 Janvier 1989 modifié : "Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine"

2 = Annexe I de la Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 : "Eau potable"

3 = Annexe A-12.3.1 du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (SEQ-Eau) : "Valeurs seuils des micropolluants minéraux sur eau brute, usage irrigation"

= supérieur ou égal à une limite de qualité

<XX = inférieur à la limite de détection

[XX] = analyse semi-quantitative d'identification par ICP-MS

*Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles
du bassin ferrifère lorrain*

Bassin centre	Paramètre	Limite de détection	Unité	Eau potable (valeur indicative)	Norme	Amermont			Tucquegnieux			Anderny			Chevillon : puits de débordement puis fuites ("sources")			Avril aval		
						01/07/98	28/04/99	29/09/99	1/7/98	28/04/99	29/09/99	1/7/98	22/04/99	28/04/99	20/01/99	28/04/99	05/02/99	1/7/98	28/04/99	27/09/99
Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau	T		°C	25 (400)	1	15.2	15.9	15.2	14.1	13	13.7	10.7	13.1	13.2	565	649	581			
	Cond.	1	µS/cm		1	5080	5080	5040	3000	2820	3390	2830	2800	2810	2780	2550	3060			
	pH	0.1	u. pH	6,5 - 9	1	7.4	7.05	6.95	7.5	7.26	7.09	7.5	7.13	7.03	7.11	7.37	7.1			
	HCO3-	3	mg/l		1	659	685	673	535	538	557	570	587	572	472	416	443			
	Cl-	0.1	mg/l	200	1	41.2	51.2	50.9	35.7	32.6	43.6	25.9	24.8	25.3	19.1	16.4	16			
	SO42-	0.1	mg/l	250	1	2960	2758	2905	1411	1317	1667	1284	1262	1266	1428	1366	1390			
	Ca2+	0.1	mg/l	(100)	1	408	425	455	244	283	313	205	242	251	386	401	459			
	Mg2+	0.1	mg/l	50	1	328	373	384	159	159	182	149	155	156	177	118	144			
	Na+	0.1	mg/l	150	1	412	388	400	234	203	290	228	222	222	148	87	113			
	K+	0.3	mg/l	12	1	13.3	13.1	10.9	7.4	7.2	6.9	6.2	5.5	5.2	4.9	3.1	3.2			
SiO2	0.5	mg/l		1	14.8	16.2	17.1	9.5	11.4	13.1	10.2	11.9	11.7	18.7	8.7	9.3				
Al	30	µg/l	200	1	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30				
Eléments Indésirables	NH4+	0.1	mg/l	0.5	1	1.6	3.5	1.5	0.2	0.2	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
	NO2	0.01	mg/l	0.1	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01			
	NO3	0.1	mg/l	50	1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	2.8	0.7	0.1			
	PO43-	0.1	mg/l	3.35	1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
	Hc. tol.	100-50	µg/l	10	1	<100	111	<50	<100	320	60	<100	80	<50	<50	260	<50			
	I. phénoI	30	µg/l	0.5	1	<30	<30	<30	<30	<30	<30	170	<30	<30	<30	<30	<30			
	Ag	5	µg/l	10	1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
	B	20	µg/l	1000	2	2357	3068	3300	1206	1550	2054	1261	1114	1829	1338	782	1057			
	Ba	5	µg/l	(100)	1	21	18	17	25	21	23	32	29	26	24	103	95			
Cu	2	µg/l	1000	1	5	16	4	2	10	4	3	4	3	5	8	22				
F	100	µg/l	1500	1	200	100	200	<100	100	100	<100	100	<100	1600	<100	<100				
Fe	20	µg/l	200	1	3200	4800	4700	400	200	770	90	250	410	<20	<20	<20				
Mn	5	µg/l	50	1	903	974	960	497	536	577	479	531	539	12	13	74				
Zn	5	µg/l	5000	1	<5	22	10	<5	14	<5	<5	8	11	9	10	14				
Eléments toxiques	As	10	µg/l	10	2	<10	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10			
	Cd	2	µg/l	5	1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2			
	CN tot.	10	µg/l	50	1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10			
	Cr	5	µg/l	50	1	<5	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	11	<5	<5			
	Ni	5	µg/l	20	2	33	50	22	8	16	10	6	6	9	16	16	79			
	Pb	2	µg/l	10	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2			
	Se	10	µg/l	10	1	[<1]	12				<10			<10	[<1]	<2	<10			
Autres éléments	Be	5	µg/l	(100)	3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
	Co	2	µg/l	(50)	3	4	7	2	3	5	2	3	<2	3	4	5				
	Li	10	µg/l	(2500)	3	10	20	20	<10	10	10	<10	<10	<10	<10	<10				
	Mo	10	µg/l	(10)	3		[0.4]	<10			<10		<10		[0.1]	<10				
	Ru	5	µg/l				[12]	9			7		<5		[1]	<5				
	Sr	10	µg/l			11800	11750	14290	6800	6520	9220	6380	6880	7660	4640	2140				
	Ti	10	µg/l				[211]	<10			<10		<10		[134]	2660				
	U	0.1	µg/l				[1.4]	1.1			1		0.9		[1.3]	250				
	V	10	µg/l	(100)	3		[9]	<10			<10		<10		[2]	340				

1 = Annexe I-I du Décret 85-3 du 3 janvier 1989 modifié : "Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine"
 2 = Annexe I de la Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 : "Eau potable"
 3 = Annexe A-12.3.1 du Système d'Évaluation de la Qualité de l'Eau des cours d'eau (SEQ-Eau) : "Valeurs seuils des micropolluants minéraux sur eau brute, usage irrigation"

1 = supérieur ou égal à une limite de qualité
 <XX = inférieur à la limite de détection
 [XX] = analyse semi-quantitative d'identification par ICP-MS

Analyse semi-quantitative d'identification des éléments en trace

Symbole de l'élément	Nom de l'élément	Limite de détection	Unité	Moyeuve	Amermont	"Sources" de Chevillon
				17/02/99	28/04/99	28/04/99
Sb	Antimoine	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Bi	Bismuth	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Ce	Cérium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cs	Césium	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Dy	Dysprosium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Er	Erbium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Sn	Etain	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Eu	Europium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Gd	Gadolinium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ga	Gallium	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Ge	Germanium	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Hf	Hafnium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ho	Holmium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ir	Iridium	1	µg/l	< 1		
La	Lanthane	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Lu	Lutétiun	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Hg	Mercure	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Mo	Molybdène	0.1	µg/l	0.3	0.4	0.1
Nd	Néodyme	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Nb	Niobium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Au	Or	1	µg/l	< 1		
Os	Osmium	5	µg/l	< 5		
Pd	Palladium	1	µg/l	< 1		
Pt	Platine	1	µg/l	< 1		
Pr	Praséodyme	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Re	Rhénium	1	µg/l	< 1		
Rb	Rubidium	1	µg/l	5	12	1
Sm	Samarium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Se	Sélénium	1	µg/l	2	< 1	< 1
Ta	Tantale	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Te	Tellure	1	µg/l	< 1	< 1	< 1
Tb	Terbium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Tl	Thalium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Th	Thorium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	0.1
Tm	Thulium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ti	Titane	1	µg/l	13	211	134
W	Tungstène	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
U	Uranium	0.1	µg/l	1.4	1.4	1.3
V	Vanadium	1	µg/l	1	3	2
Yb	Ytterbium	0.1	µg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Y	Yttrium	0.1	µg/l	< 0.1	0.7	0.2

 = supérieur à la limite de détection
 < XX = inférieur à la Limite de détection

Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles
du bassin ferrifère lorrain

Pesticides et herbicides	Nom du composé	Limite de détection	Unité	CMA eau potable	Date									
					Droitaumont	Paradis	Roncourt	Auboué	Moyeuvre	Ville/Yron	Amermont	Tucquegnieux	Anderny	Avril aval
					29/09/99	30/09/99	30/09/99	30/09/99	29/09/99	27/09/99	29/09/99	29/09/99	29/09/99	27/09/99
Pesticides organo- chlorés (famille du lindane)	Hexachlorobenzène	0.005	µg/l	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.019	<0.005	<0.005	<0.005
	Alpha-HCH	0.005	µg/l	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Beta-HCH	0.005	µg/l	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.009	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Gamma-HCH (lindane)	0.005	µg/l	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Delta-HCH	0.005	µg/l	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Aldrine	0.01	µg/l	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	4,4'-DDE	0.01	µg/l	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Dieldrine	0.01	µg/l	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	4,4'-DDD	0.02	µg/l	0.1	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	4,4'-DDT	0.02	µg/l	0.1	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	Heptachlore	0.005	µg/l	0.03	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Heptachloroépoxyde	0.005	µg/l	0.03	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Herbicides (famille de l'atrazine)	Atrazine	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Déséthylatrazine	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Désisopropylatrazine	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Simazine	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Terbutylazine	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Diuron	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Isoproturon	0.05	µg/l	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Total pesticides et herbicides			µg/l	0.5	0	0	0	0	0	0.009	0.019	0	0	0

■ = supérieur à la limite de détection

<XX = inférieur à la limite de détection

B.R.G.M.
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL LORRAINE

Analyse radiologique par spectrométrie Gamma des eaux prélevées
sur les sites de **AMERMONT, CHEVILLON et MOYEUVRE**
départements de **MEUSE et MOSELLE**

		Activité volumique des échantillons d'eaux prélevés par vos soins le 28 avril 1999															
		Résultats exprimés en Becquerel par litre (Bq.l ⁻¹ ± 10 %)															
lieu du prélèvement	Activité Totale Bq.l ⁻¹	Famille de l'URANIUM 238						Famille de l'URANIUM 235				Famille du THORIUM 232					
		²³⁸ U *	²³⁴ Th	²³⁰ Th	²²⁸ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹⁰ Pb	²³⁵ U	²²⁷ Th	²²³ Ra	²¹¹ Pb	²³² Th **	²²⁸ Ra	²¹² Pb	²¹² Bi	²⁰⁸ Tl
CHEVILLON	< 1,7	< 0,06	< 0,06	< 0,62	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,06	< 0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AMERMONT	< 2,1	< 0,05	< 0,05	< 0,55	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,16	< 0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,10	< 0,03	< 0,03	0,06
MOYEUVRE	< 2,8	< 0,09	< 0,09	< 0,92	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,09	< 0,02	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,03	0,16	< 0,03	< 0,03	0,07

²³⁸ U * = valeur déduite du résultat de mesure du ²³⁴ Th
²³² Th ** = valeur déduite du résultat de mesure du ²¹² Pb

Tableau n° 2

B.R.G.M.

SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL LORRAINE

Analyse radiologique des eaux prélevées sur les sites
de **AMERMONT**, **CHEVILLON** et **MOYEUVRE**
départements de **MEUSE** et **MOSELLE**

lieu du prélèvement	Concentration en RADIUM 226 Bq.l ⁻¹	Concentration en URANIUM 238 mg.l ⁻¹	Concentration en POTASSIUM 40 Bq.l ⁻¹	Concentration en RADON 222 dissous Bq.l ⁻¹
CHEVILLON	< 0,02	< 0,05	< 0,01	2,7
AMERMONT	< 0,02	< 0,05	< 0,01	1,6
MOYEUVRE	< 0,02	< 0,05	< 0,01	2,3

Radium 226 : Emanométrie Méthode CEA-CETAMA n° 18 de février 1991

Uranium 238 : Spectrométrie d'Emission Atomique Méthode CETAMA n° 23 de Mai 1991

Potassium 40 : Spectrométrie d'Emission Atomique Méthode ISO n° 11885

Radon 222 : Méthode dite " avec ampoule de prélèvement "