

2 Les résultats de l'exploitation des données – Bilan des occurrences par vue

2.1 INTRODUCTION

A partir des données recueillies sur les éléments traces dans les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols et les roches, **une représentation cartographique** est réalisée de manière à identifier les secteurs à risque de fond géochimique **naturel** élevé en éléments traces. L'ensemble des cartes est disponible dans les annexes 1 et 2 de ce rapport. Il ne s'agit à ce stade que d'une représentation graphique des données collectées. Ce travail est complété dans le chapitre 3 par une délimitation proprement dite des secteurs à risque (délimitation de polygones).

Néanmoins, comme nous l'avons évoqué précédemment, il est important de prendre en compte dans notre analyse les sources potentielles de pollutions en éléments métalliques afin d'exploiter convenablement les données obtenues sur les eaux naturelles pour identifier le fond géochimique local. Ainsi nous avons reportées les informations les plus pertinentes concernant les sources de pollutions potentielles en éléments métalliques sur un même support cartographique, l'occupation des sols issues de Corine Land Cover et la quantité excavée pour les mines exploitées.

Les données les plus pertinentes pour identifier les zones présentant un risque de fond géochimique élevé sont reportées sur deux supports cartographiques distincts. Le premier rassemble les **caractéristiques géologiques**, le deuxième figure les principales **pressions anthropiques** identifiées pour les éléments traces.

Caractéristiques géologiques

- Les failles : les réseaux de fractures permettent d'individualiser les zones où l'éventuelle circulation de fluides a pu aboutir à une concentration de certains éléments dans les re-minéralisations locales.
- L'inventaire géochimique et les indices miniers : ces informations permettent de localiser les zones d'occurrence avérée en certains éléments

Le croisement de ces données avec les formations géologiques cartographiées permet de dégager des **unités géologiques** pouvant présenter des caractéristiques comparables en terme d'occurrence en **éléments traces dans les eaux souterraines et les eaux superficielles**.

Pression anthropique

- L'occupation des sols (Corine Land Cover simplifié) : ces informations permettent d'individualiser les zones où le signal naturel est susceptible d'être masqué (plus

particulièrement pour les eaux superficielles) par les apports anthropiques liés à une occupation des sols déterminée.

- Localisation des exploitations minières et ampleur de l'excavation : ces informations aident à identifier les zones où l'accentuation des processus naturels d'altération des roches et minerais peut aboutir à des concentrations anormalement élevées en éléments traces.

Ces informations permettent de **juger de la pertinence** du réseau de mesure d'eaux naturelles disponible pour identifier les zones présentant un fond géochimique élevé.

Les données de concentrations obtenues sur les eaux naturelles, issues de différentes sources de données (RNB et FOREGS pour les eaux superficielles ; réseau de connaissance générale de l'AERM&C, du réseau RNSISEAU pour les eaux souterraines) sont représentées avec une symbologie homogène. Pour les stations d'échantillonnage où plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées (données issues du réseau de connaissance générale de l'AERM&C, du réseau RNSISEAU et du réseau RNB), seules les **valeurs maximales de concentration** obtenues pour un élément sont représentées. Pour chaque station d'échantillonnage, les **symboles « rose clair à rouge »** correspondent à la **concentration maximale quantifiée** (couleur de remplissage allant du rose clair au rouge suivant une gamme de concentration croissante) et les **symboles « blancs et grisés »** représentent les valeurs inférieures aux seuils de quantification (couleur de remplissage grisée pour les points où les seuils de quantification considérés sont médiocres et ne permettent pas de qualifier le point d'échantillonnage).

Les résultats choisis pour la représentation cartographique ne concernent que les éléments traces présents dans la **phase dissoute**. Pour la Corse, les analyses sur **bryophytes** ont été utilisées car elles représentaient les seules disponibles.

Afin de permettre une visualisation la plus pertinente possible des données recueillies sur les éléments traces, et de **limiter le nombre de cartes**, le bassin RM & C est découpé en **8 vues** (Figure 4). Chacune de ces vues correspond au premier découpage défini dans le rapport de phase 1 (Sonney et al., 2005). Pour chaque vue, on trouvera dans ce chapitre un résumé des occurrences en éléments traces dans les eaux, dans les roches et dans les sols, recensées dans le rapport de phase 1, confrontées à la lithologie et à l'occupation des sols.

Remarques concernant l'interprétation des données sur les eaux superficielles :

L'interprétation des données sur les eaux superficielles a présenté plusieurs difficultés. Tout d'abord, le manque certain de données, tant en nombre d'éléments analysés qu'en stations échantillonnées, rend délicat la délimitation des zones à fond géochimique élevé. Par ailleurs, le réseau de mesure considéré est souvent de pertinence très moyenne pour l'analyse en éléments traces. En effet les contraintes anthropiques associées aux points d'échantillonnage sont souvent importantes. Les périodes de prélèvement peuvent être très variables (hautes eaux/basses eaux), ce qui rend parfois difficile les comparaisons inter-campagnes en raison d'apports anthropiques provenant du lessivage des sols généralement importants lors des événements de crue.

En raison du faible nombre de stations étudiées pour les eaux superficielles (200), l'identification des zones à risque de fond géochimique élevé pour les eaux de rivières a été discutée sur la base des données obtenues pour les eaux souterraines (entre 1020 et 4314 points d'échantillonnages, respectivement pour le nickel et le fluor). Sur le support cartographique associé à ce rapport, nous avons choisi de représenter les concentrations obtenues pour la phase dissoute. Ces concentrations sur les eaux superficielles présentent l'avantage de pouvoir être directement comparées aux concentrations mesurées pour les eaux souterraines. Cependant une incertitude persiste sur la nature des eaux analysées (eaux brutes ou eaux filtrées), l'absence d'information à ce sujet montre les limites de la comparaison des analyses entre elles (différents protocoles d'échantillonnage adoptés).

Lorsque les données sur les eaux superficielles sont insuffisantes, nous nous sommes appuyés sur les concentrations mesurées pour les eaux souterraines prélevées dans le même secteur. Cependant il faut garder à l'esprit que cette démarche n'est valable que dans le cas où les eaux souterraines sont prélevées dans des aquifères correspondant aux formations géologiques affleurantes.

Toutes ces remarques seront gardées à l'esprit pour la formulation des recommandations concernant les protocoles d'échantillonnage et pour la définition d'un réseau de mesure pertinent dans le rapport de phase 3.

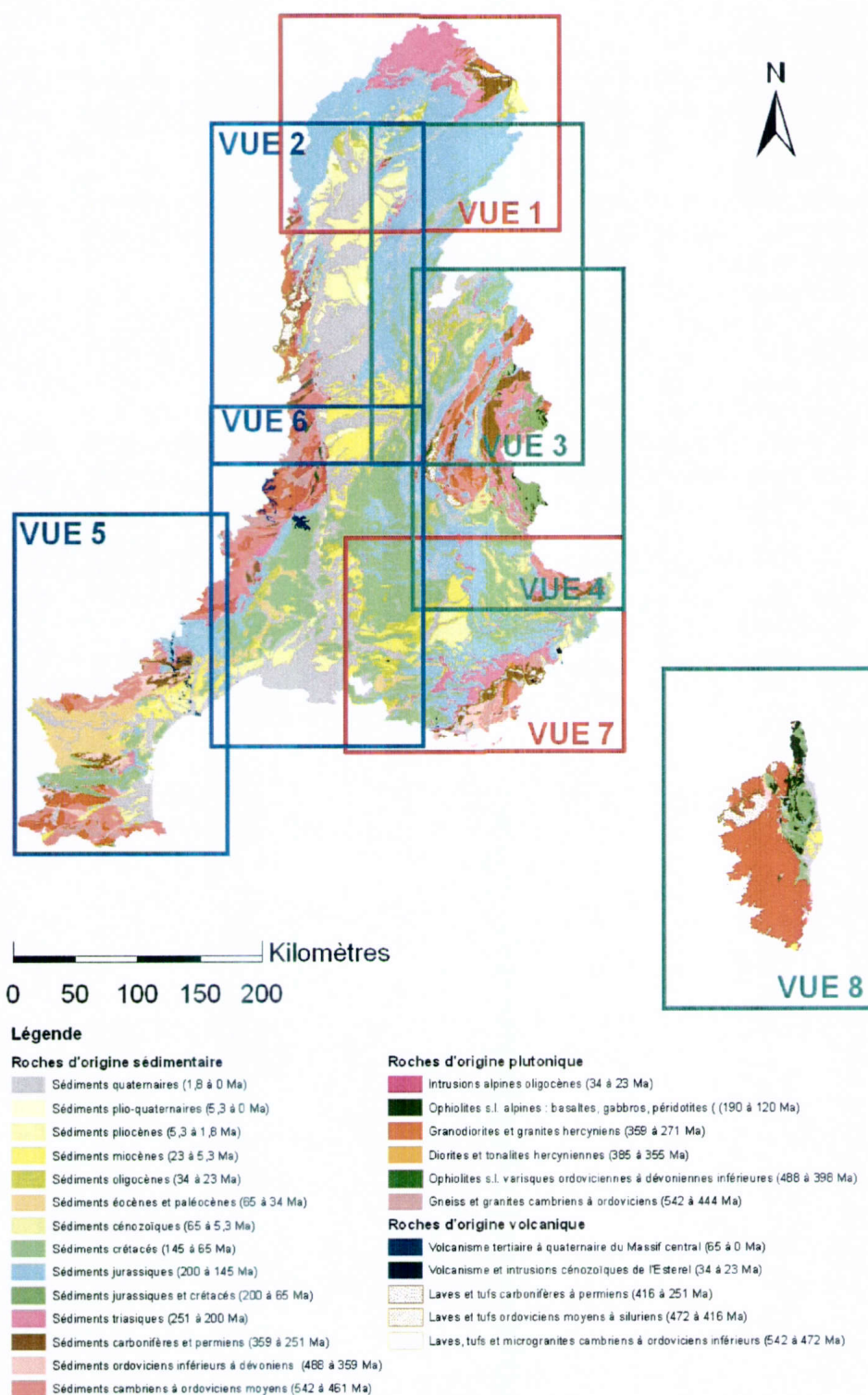


Figure 4 : Carte des différentes vues proposées pour la représentation cartographique – Fond cartographique : carte géologie simplifiée au 1 / 1 000 000 (source BRGM)

2.2 VUE 1 : VOSGES, PARTIE NORD DU BASSIN DE LA BRESSE, PLATEAU HAUT-SAONOIS

Les différentes illustrations proposées sur cette vue intéressent la partie Nord du bassin RM & C. Sur cette vue est représentée et mise en valeur la partie intéressant le massif des Vosges qui se distingue des autres secteurs par son contexte géologique : roches magmatiques (granites des Ballons) et roches métamorphiques (volcano-sédimentaires primaires).

Les autres environnements sur lesquels les interprétations des résultats sont apportées sont les suivants :

- Le plateau haut-saônois : domaine sédimentaire triasique au Nord (secteur de Monthureux-sur-Saône) et jurassique au Sud (secteur de Vesoul) ;
- Une partie du fossé Rhénan (dépôts tertiaires du secteur de Belfort) ;
- La zone Nord du bassin du sillon Saône-Rhône (secteur de Dijon et de Dôle) ;
- Une partie du seuil de Bourgogne.

Remarque : l'extrême partie Nord du massif du Jura qui s'étend du plateau d'Ormans au pays de Montbéliard sera traitée dans le chapitre 2.4.

2.2.1 Massif des Vosges et fossé Rhénan (secteur de Belfort)

2.2.1.1 Rappel : informations issues du rapport de phase 1

Les formations volcano-sédimentaires métamorphiques rencontrées dans les Vosges du Sud sont riches en métaux en amas stratiformes ou en filons, si bien qu'elles recèlent les plus grandes concentrations du socle vosgien. Les minéralisations les plus courantes sont filoniennes et contiennent du **plomb**, **zinc**, **fer**, **manganèse**, **cuivre**, **arsenic**, **baryum** et **argent** (BRGM, 1997a ; Théobald et al., 1974).

Pour les secteurs granitiques, le constat est le même. Ils sont recoupés par de très nombreux filons, mais cela ne concerne qu'un nombre plus limité d'éléments comme le **fer**, le **baryum** et le **fluor** (Coulon et al., 1986). Notons toutefois la présence à des teneurs élevées de **chrome** marqueur de granites sub-alcalins (Darmendrail, 2000).

En résumé sur les principales occurrences en éléments traces dans le secteur des Vosges, un tableau de synthèse est proposé (Tableau 7). Il illustre, pour un contexte géologique donné, les éléments, présents dans les roches ou exprimé sous forme de

minéralisation, susceptibles de donner aux eaux de surface et/ou souterraines des concentrations significatives.

Encaissant		Eléments potentiellement présents dans les minéralisations associées	Eléments traces pouvant être retrouvés en concentrations significatives dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines
Granites des Ballons		Ba F Fe	Ba F Fe
Granites sub-alcalins des Ballons		Ba Cr F Fe	Ba F Fe
Viséen	Volcano-sédimentaire	Ag As Ba Cu Fe Mn Pb Zn	As Ba Fe Mn
Tournaisien		Ba Fe Mn	Ba Fe Mn
Permien	Grès	Ba Fe Mn	Ba Fe Mn

Tableau 7 : Relation entre la lithologie, les minéralisations associées et les éléments traces dans les eaux naturelles pour le secteur des Vosges.

2.2.1.2 Interprétation des résultats

Les occurrences en éléments traces dans les eaux, sur le secteur des Vosges, sont peu nombreuses pour les eaux souterraines et relativement inexistantes pour les eaux de surface.

2.2.1.2.1 Eaux souterraines

Pour le **plomb**, le **zinc** et le **cuivre**, il semble que les secteurs à fortes teneurs dans les sols soient les mêmes. Ces éléments se retrouvent de manière significative dans les sols des milieux alluvionnaires des cours d'eau, ainsi que le long de grands accidents tectoniques. De nombreux gisements sont également présents aussi bien dans les formations volcano-sédimentaires que dans les granites. En raison de leur différence de solubilité dans les eaux, il est clair que comparativement le **zinc** et le **cuivre** présenteront des concentrations plus significatives (avec plusieurs dizaines de µg/l pour le **zinc** et de plusieurs µg/l pour le **cuivre**) dans les eaux souterraines que le **plomb** au niveau de la couverture primaire. En ce qui concerne le **cuivre**, il est possible que l'origine des fortes teneurs soit mixte, c'est à dire naturelle et anthropique (épandages de boues de station d'épuration, élevage).

Des mesures dans les eaux souterraines de la vallée de la Savoureuse à la hauteur de Giromagny donnent des teneurs de 10 µg/l pour le **plomb** et 15 µg/l pour le **cuivre**. L'origine de ces teneurs est probablement anthropique (liée par exemple pour le plomb à un prélèvement réalisé non pas directement sur l'ouvrage mais plus loin après circulation dans une canalisation en plomb ; liée peut être pour le cuivre à des épandages de boues de stations d'épuration).

Pour l'**arsenic**, les données dans les eaux souterraines relevées au niveau de la couverture primaire sont **de l'ordre de plusieurs µg/l** et sont donc assez significatives (jusqu'à 20 µg/l mesurés sur la commune de Lepuix). L'arsenic est également présent dans les sols des terrains primaires avec des teneurs pouvant atteindre 1.9 g/kg de sol. Ces concentrations sont probablement liées à un fond géochimique naturel.

L'**antimoine** est relativement peu présent sur l'ensemble de la partie des Vosges du Sud. Deux points indiquent des teneurs maximales mesurées dans les eaux souterraines de **11 et 14 µg/l** dans la couverture primaire qui sont probablement attribuables à un fond géochimique local. Il n'existe malheureusement pas de données de l'inventaire géochimique dans cette zone. De plus, sur le secteur d'Etobon il existe une poche de concentrations en **antimoine** plus élevée dans les sols qu'ailleurs (jusqu'à 131 mg/kg de sol). Des mesures sur les eaux pourraient être effectuées afin de confirmer une présence significative de l'**antimoine**.

En ce qui concerne le **baryum**, il est relativement abondant dans les sols du massif vosgien. Il a fait l'objet de nombreuses exploitations minières aussi bien dans la couverture primaire que dans les granites. Il se retrouve surtout dans le secteur de Longine. Dans les eaux souterraines, cela se traduit par des teneurs naturelles mesurées de **200 µg/l** (secteur des granites des Ballons). Des teneurs de l'ordre du mg/l sont possibles dans les eaux souterraines alors que dans les eaux de surface les teneurs ne devraient pas dépasser **100 µg/l**. Dans le secteur des grès du Trias, certaines concentrations dans les eaux souterraines sont également significatives. Plusieurs captages présentent des valeurs de quelques centaines de µg/L (jusqu'à 1525 µg/L). Trois hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces anomalies par une origine naturelle :

- soit les forages dans lesquels ces valeurs élevées ont été relevées captent, comme pour l'arsenic, l'eau du socle sous-jacent. Dans ce cas, une origine géologique est envisageable. Comme l'a montré l'étude nationale (BRGM, 2005), les granites sont un contexte favorable à la présence naturelle de baryum dans les eaux souterraines. Dans le secteur des Vosges où ces mêmes granites affleurent, les données de l'inventaire géochimique mettent d'ailleurs en évidence la présence de baryum dans le socle. Malheureusement, les coupes de forages concernés n'étant pas disponibles sur le serveur d'InfoTerre (et donc facilement accessibles), il n'est pas possible de vérifier le niveau capté par ces ouvrages.
- soit les forages dans lesquels ces valeurs élevées ont été relevées captent bien les grès du Trias. Les données de l'inventaire géochimique dans ce secteur sont peu nombreuses et ne permettent pas d'apprécier correctement la présence naturelle de baryum dans les roches. Cependant, les quelques résultats disponibles mettent en évidence des occurrences significatives locales. D'autre part, des études menées plus au Nord dans le champ de fractures de Saverne dans un contexte géologique similaire ont montré que les eaux souterraines pouvaient être naturellement contaminées en baryum (rapport BRGM R40388, 1998). Dans ce secteur, la plupart des points contenant des concentrations en baryum de l'ordre de 100 à 800 µg/L se situent à proximité de failles dans lesquelles les minéralisations en barytine sont fréquentes. Dans la région du bassin RM&C qui nous intéresse ici, une origine équivalente est tout à fait possible.
- Soit l'origine du baryum est mixte : les forages sont réalisés à l'interface entre le socle et la couverture triasique. Dans ce cas la présence de baryum peut avoir une double origine : lessivage du socle riche en barytine et influence de minéralisations riches en baryum présentes dans les grès.

Une origine anthropique ne peut être totalement écartée mais compte tenu de l'échelle de travail de la présente étude, il n'est pas possible à ce stade d'identifier les sources de pollutions potentielles dans ce secteur.

Au regard de ces hypothèses, il apparaît qu'une étude plus locale s'intéressant au contexte précis dans lequel sont situés les forages ainsi qu'aux activités humaines avoisinantes serait nécessaire. Cependant, compte tenu du contexte géologique riche en baryum et des études menées dans les régions voisines, le baryum est probablement d'origine naturel.

Le **fer** et le **manganèse** ont, eux aussi, fait l'objet de nombreuses exploitations. Au niveau des granites des Ballons, les teneurs dans les eaux souterraines sur un point de mesure sont de **50 µg/l** pour le **manganèse** et **60 µg/l** pour le **fer**. Un fond en manganèse de plusieurs dizaines de µg/l est possible sur de tels terrains. **5 mg/l** de **fer** ont été mesurés dans les eaux souterraines sur le secteur de Giromagny dans les formations primaires. Par manque d'informations il est difficile d'évaluer la fiabilité et l'origine de cette concentration (eaux réductrices ?). Pour les eaux de surface, aucune information ne relate la présence de ces éléments mais des teneurs de quelques µg/l sont possibles.

Le **chrome** et le **nickel** sont deux éléments liés car ils se retrouvent dans les sols à des fortes concentrations aux même endroits : secteur d'Etobon et le long des accidents majeurs.

Pour le **fluor**, la présence d'indices miniers montre qu'il est présent dans les granites et les terrains primaires. Un fond géochimique dans les eaux souterraines de plusieurs centaines de µg/l est possible. Cependant, compte tenu des erreurs d'unités que semblent présenter la plupart des données, il est difficile d'interpréter les résultats d'analyse obtenus dans les eaux souterraines. En effet, d'après les données extraites d'ADES, pour beaucoup de résultats les concentrations en fluor se situent entre 0.03 µg/L et 2.105 µg/L avec toujours trois chiffres significatifs. Des résultats en mg/L ont probablement été enregistrés en µg/L. Dans l'hypothèse où cette erreur se confirmerait, les teneurs atteindraient 2.1 mg/L vers Monthureux-sur-Saône. Compte tenu du contexte granitique du secteur (à l'affleurement à l'est ou sous couverture à l'ouest), de telles valeurs ne sont naturellement pas impossibles. L'étude bibliographique nationale (BRGM, 2005) avait en effet montré que valeurs de quelques mg/L étaient possibles en zone de socle. Les données de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse dans le prolongement de la série des grès sur le socle hercynien montrent également la présence de fluor en concentration importante (1.87 mg/L d'après Gadalia et Laurendon, 1994).

Ces mêmes granites renferment des teneurs en **aluminium** dans les eaux souterraines de l'ordre de **20 µg/l** avec 2 points indiquant des teneurs proches de **200 µg/l**.

Enfin, en ce qui concerne le **cadmium**, l'**argent**, le **mercure** et le **sélénium**, il n'y a rien de notable qui pourrait traduire un fond élevé dans les eaux (mise en solution difficile), même si le **cadmium** et l'**argent** sont deux éléments présents dans les sols vosgiens.

2.2.1.2.2 Eaux de surface

Pour le secteur sud du **Massif des Vosges**, les données disponibles pour les eaux superficielles sont en nombre limité (3 : Savoureuse au Vieux Charmont, Doubs à Mathay et Gland à Audincourt) et de médiocre qualité (certains seuils de quantification sont de 10 µg/l pour l'**arsenic**), ainsi l'évaluation fine de l'ampleur du fond géochimique local s'avère délicate. Cependant, à la fois le contexte géologique local et les fortes concentrations en **arsenic** mesurées pour les eaux souterraines, suggèrent que la concentration significative (6,6 µg/l) en **arsenic** mesurées pour la Savoureuse au Vieux Charmont peut être attribuée au fond géochimique local. Cette interprétation mériterait néanmoins confirmation (seule une donnée est exploitable) par l'analyse d'échantillons supplémentaires d'eaux superficielles prélevées hors contexte agricole, à titre d'exemple le prélèvement du Raddon à Belfahy serait tout à fait pertinent.

Les concentrations élevées en **nickel** dans les eaux souterraines au Nord-Ouest de Montbéliard (secteur sud du **Massif des Vosges**), prélevées hors contexte industriel pourraient correspondre à un fond géochimique élevé en accord avec l'occurrence de cet élément dans la lithologie. Cependant les concentrations maximales en **nickel** mesurées dans la Savoureuse au Vieux Charmont, l'Allan à Bart, le Doubs à Mathay et Gland à Audincourt, toutes inférieures à 10 µg/l, suggèrent que le **fond géochimique** pour cet élément dans les **eaux superficielles** reste **peu élevé** bien que le contexte géologique local laisse présager du contraire.

Bien que l'**antimoine** n'est **pas été mesuré pour les eaux de surfaces**, il est possible que cet élément présente un **fond géochimique élevé** dans les mêmes zones géographiques que les occurrences en arsenic. Il est donc primordial de réaliser de nouvelles campagnes de prélèvement afin de documenter ce risque dans les zones citées ci-dessus.

Pour les eaux superficielles du secteur, la mise en solution d'autres éléments traces, que ceux évoqués précédemment, n'apparaît pas de manière significative.

2.2.2 Partie Nord du bassin tertiaire de la Bresse

2.2.2.1 Rappel : Informations issues du rapport de phase 1

Les teneurs élevées rencontrées sont essentiellement liées au **fer** et au **manganèse**. Dans les eaux souterraines, les concentrations sont parfois supérieures à la norme autorisée, notamment lorsque l'aquifère (alluvial ou non alluvial) devient captif. En ce qui concerne les dépôts tertiaires bressans, il existe un niveau de marnes pisolithiques dans le Pontien pouvant donner un fond géochimique en **fer** plus important (De Blic et al., 1972). Les eaux souterraines pontiennes sont très minéralisées (Jauzein et al., 1972).

2.2.2.2 Interprétation des résultats

Les risques de trouver des zones à fond géochimique élevé dans les eaux souterraines sont faibles et ne concernent que très peu d'éléments comme le **fer** et le **manganèse**. Pour les autres métaux, les fortes teneurs dans les eaux sont dues à l'influence de l'homme par ses activités agricoles, urbaines et industrielles. En ce qui concerne les eaux de surface, les fortes teneurs en éléments traces mesurées **ont une origine anthropique**.

Pour le **fer**, de nombreux gisements sont présents au Sud de Dijon dans les niveaux du tertiaire traduisant sa présence dans les roches. Les données sur les eaux souterraines montrent, sur l'ensemble du secteur, des teneurs souvent supérieures à **500 µg/l** dans les aquifères des milieux alluvionnaires (jusqu'à 9,4 mg/l sur le secteur de Champdôtre). En admettant que localement, aux endroits où les conditions du milieu sont réductrices, il existe un fond géochimique supérieur à 500 µg/l, il est difficile de savoir si les plus fortes valeurs mesurées sont assimilables à une origine naturelle. L'influence de l'homme est notable sur ce secteur. Pour le **manganèse**, il en est de même. Localement, dans les eaux souterraines des alluvions des vallées, des teneurs sont parfois **10 fois supérieures à la norme**, comme par exemple sur le secteur de Villers-les-Pots (634 µg/l), de Pesmes (540 µg/l), de Champdôtre (234 µg/l), de Montsous-Vaudrey (200 µg/l)... Ces points coïncident avec les points de fortes teneurs en **fer**. Sachant que les conditions favorables à la présence naturelle de ces deux éléments sont liées (milieu réducteur), l'origine naturelle de ces concentrations est probable. En revanche, pour les eaux de surface, il serait surprenant que les teneurs naturelles en **manganèse** dépassent plusieurs µg/l. En conclusion, les zones à risque de fond géochimique en **fer** et **manganèse** sont identifiables à condition de connaître des conditions de pH et d'Eh du milieu ainsi que de s'être bien informé sur les activités agricoles, urbaines et industrielles avoisinantes.

Enfin, pour les autres éléments traces, et compte tenu du contexte géologique, il n'est pas possible de trouver des zones à risque de fond géochimique élevé. Quelques valeurs anormalement élevées ont été mesurées dans les eaux de surface et souterraines dans différents secteurs à fortes influences anthropiques comme par exemple au niveau de la Saône à Pesmes (16 µg/l de **plomb**, 2 µg/l de **sélénium** dans les eaux souterraines), de l'Ouche à l'aval de Dijon (9 µg/l d'**arsenic**, 9 µg/l de **cuivre**, 8 µg/l de **nickel** dans les eaux de surface), au niveau de la commune de Fénay (30 µg/l de **chrome**, 0,4 µg/l de **mercure** dans les eaux souterraines).

Pour l'**aluminium**, il a été mesuré sur 2 points des teneurs dans les eaux souterraines supérieures à la norme à proximité de Beaune (596 µg/L et 608 µg/L). Comme le montre la carte d'occupation des sols (Corine Land Cover 2000), ces points sont localisés dans des zones viticoles. L'aluminium étant rarement présent en concentration significative à l'état naturel dans les eaux souterraines (BRGM, 2005), une origine anthropique de l'élément est à envisager. Un examen plus précis des produits potentiellement utilisés en contexte viticole montre d'ailleurs que la viticulture peut constituer une source anthropique d'aluminium. En effet, d'après les informations disponibles sur le serveur « e-phy » du Ministère de l'Agriculture (<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>), l'aluminium entre dans la composition d'adjuvants pour bouillies insecticides ou fongicides (aluminosilicate de potassium).

2.2.3 Secteur du plateau Haut-saônois

2.2.3.1 Rappel : Informations issues du rapport de phase 1

2.2.3.1.1 La partie Nord du Morvan

Pour les formations sédimentaires de ce secteur, la présence de **fer** dans les carbonates du Jurassique est beaucoup plus rare car les faciès sont plus franchement marins. Localement, dans quelques niveaux, les faciès sont typiques de milieux marins de faible profondeur et peuvent contenir de nombreux oxydes de **fer** comme dans les calcaires oolithiques ferrugineux de l'Oxfordien, qui autrefois ont fait l'objet d'exploitations minières (Rémond et al., 1984), les calcaires à entroques du Bajocien inférieur et de l'Aalénien (Coulon, 1979 ; De Blic et al., 1972), les calcaires du Sinémurien (Baize, 1997).

Les apports anthropiques sont présents sur le Morvan par le traitement des vignes. Le Beaujolais ainsi que toute la côte du Morvan jusqu'à Dijon sont très occupés par l'activité viticole ; si bien que des fortes teneurs en **cuivre** sont connues dans les eaux de surface (Lorenchet-de-Monjamont et al., 1973).

2.2.3.1.2 Le plateau haut-saônois

La présence d'éléments traces au niveau du plateau haut-saônois est beaucoup plus rare que dans le secteur du Morvan. Seuls le **fer**, le **manganèse** et le **fluor** sont concernés.

La partie la plus au Nord du plateau haut-saônois, et appartenant au bassin RM & C, a un substratum triasique. Il existe de nombreuses sources ferrugineuses, avec quelques traces de **manganèse**, dans les grès bigarrés du Trias sur les secteurs de la Haute-Saône et de la Haute-Marne, comme par exemple à Luxeuil-les-bains (Théobald, 1968) ou encore à Monthureux-sur-Saône (Minoux et al., 1974). Les concentrations en **fer** et en **manganèse** ne sont pas données par ces références.

2.2.3.1.3 Les formations alluvionnaires

En ce qui concerne le domaine alluvionnaire, et plus précisément sur le bassin versant amont de la Saône, il existe des concentrations élevées en **fer** et **manganèse** dans les eaux souterraines des alluvions. Les exemples sont nombreux : la Saône sur les captages de Gray (Chauve et al., 1986), la Semouse à Saint-Loup-sur-Semouse (Deprez et al., 1971) et l'Ognon (Mania et al., 1988).

La présence d'**arsenic** d'origine naturelle est également mentionnée par l'AERM&C (2004) dans la partie amont de la Saône (jusqu'à 96.7 µg/g d'arsenic sur bryophytes et 41 µg/g sur sédiments), de la Lanterne (jusqu'à 45 µg/g sur bryophytes et 30 µg/g sur sédiments) et de l'Ognon (jusqu'à 12 µg/g sur bryophytes et 63 µg/g sur sédiments). Sur ces trois tronçons, les terrains traversés sont les grès du Trias. La présence de cet

élément est toutefois probablement liée à l'existence locale de filons sulfurés dans ces niveaux.

2.2.3.2 Interprétation des résultats

Les occurrences en éléments traces dans les sols concernent uniquement les zones situées à proximité du socle vosgien dans un contexte géologique triasique. Les données sur les eaux souterraines sont mieux représentées que celles sur les eaux de surface. Les informations recueillies sont suffisantes pour identifier les zones à risque de fond géochimique élevé.

Les risques de trouver des zones à fond géochimique élevé sont faibles et ne concernent que très peu d'éléments comme le **fer**, le **manganèse**, l'**arsenic** (seulement les secteurs où le Trias est présent) et également l'**antimoine**. Pour les autres métaux, les fortes teneurs dans les eaux sont dues à une influence anthropique.

2.2.3.2.1 Eaux souterraines

Pour le **fer**, de nombreux gisements sont présents (surtout dans les niveaux du Jurassique). Les données sur les eaux souterraines montrent des teneurs oscillant **entre quelques dizaines de µg/l et quelques mg/l** (jusqu'à 3 mg/l dans les alluvions de l'Ognon), et souvent supérieures à la norme. Localement et lorsque les conditions sont réductrices et donc favorables à la libération du fer, il existe des fonds géochimiques élevés pouvant dépasser **1 mg/l**.

En ce qui concerne le **manganèse**, dans les eaux souterraines des alluvions des vallées de la Saône, de l'Ognon et de la Semouse notamment, les teneurs sont souvent de l'ordre **de plusieurs dizaines de µg/l** (jusqu'à 770 µg/l mesurés sur le secteur de Saint-Loup-sur-Semouse).

D'après la carte de la vue 1, l'**arsenic** est également présent dans la zone couverte par les grès du Trias inférieur (plusieurs dizaines de µg/L et jusqu'à 67 µg/L). Pourtant, d'après les données de l'inventaire géochimique, les grès ne sont pas naturellement riches en arsenic. Un examen plus attentif des coupes de forage montre cependant que dans les ouvrages réalisés dans ce secteur, la crépine est située généralement à l'interface entre le socle et la couverture sédimentaire qui, comme les parties affleurantes à l'est le montrent, sont naturellement riches en arsenic. En conclusion, les occurrences en arsenic relevées dans la partie triasique du secteur sont naturelles et ont pour origine un lessivage du socle sous-jacent.

Enfin, pour les autres éléments traces, et compte tenu du contexte géologique, il est peu probable de trouver des zones à risque de fond géochimique élevé. Quelques valeurs anormalement élevées ont été mesurées dans les eaux souterraines en **cuivre** (jusqu'à 76 µg/l), **plomb** (jusqu'à 45 µg/l), **nickel** (jusqu'à 33 µg/l de nickel) et en **aluminium** (jusqu'à 876 µg/l). Il est possible que, pour les eaux souterraines des forages dans les grès du Buntsandstein, les fortes teneurs aient une origine composante naturelle plus importante qu'ailleurs par remontées de fluides minéralisés issus du socle.

2.2.3.2.2 Eaux de surface

La zone drainée par l'Ouche (partie ouest du **Plateau du Haut Saônois** et partie nord du **bassin tertiaire de la Bresse**) est dominée par les vignobles et les activités agricoles. Par ailleurs les eaux souterraines présentent des concentrations peu élevées en arsenic. Dans ce contexte, les plus fortes valeurs en **arsenic** mesurées dans l'Ouche (9 µg/l, 6 µg/l et 10 µg/l concentrations maximales pour la phase dissoute prélevée respectivement à Dijon, Crimolois et Echenon) peuvent être attribuées préférentiellement à des apports anthropiques et non à un fond géochimique élevé.

Les concentrations maximales en **arsenic** mesurées dans la Saône à Auxonne, à Charrey-sur-Saône et le Doubs à Saunière (≈2-3 µg/l) laissent supposer que le fond géochimique est peu élevé pour cet élément (partie est du **Plateau du Haut Saônois** et partie nord du **bassin tertiaire de la Bresse**).

Pour les eaux superficielles du secteur, la mise en solution d'autres éléments traces, que ceux évoqués précédemment, n'apparaît pas de manière significative.

2.3 VUE 2 : PARTIE EST DU MASSIF CENTRAL, MORVAN ET BASSIN DU SILLON SAONE-RHONE

Les différentes illustrations proposées sur cette vue intéressent la partie Est du Massif Central, le massif du Morvan et le bassin du sillon Rhône-Saône (Bresse, Dombes et Bas Dauphiné). Sur cette vue le Massif Central se distingue des autres secteurs par son contexte géologique de socle.

Remarque : la partie Ouest du massif du Jura qui est représenté en bleu sur les cartes (Jurassique) sera traitée dans le chapitre 2.4.

2.3.1 Bassin du sillon Saône-Rhône

2.3.1.1 Rappel : Informations issues du rapport de phase 1

Les teneurs élevées rencontrées sont essentiellement liées au **fer** et au **manganèse**. Dans les eaux souterraines, les concentrations sont parfois supérieures à la norme autorisée, notamment lorsque l'aquifère devient captif.

Pour le **fer**, il a été constaté que les eaux souterraines miocènes présentent des teneurs faibles à moyennes. Sur 43 prélèvements réalisés dans le cadre d'une étude (Gouisset et al., 1985), 9 analyses révèlent des concentrations en **fer** supérieures à 0.2 mg/L.

Pour le **manganèse**, seulement 3 points sur 35 analyses dépassent 0.1 mg/L dans les eaux souterraines miocènes (Gouisset et al., 1985).

Pour tous les éléments métalliques autres que le **fer** et le **manganèse**, les concentrations élémentaires élevées sont imputables à une origine anthropique. Celles constatées sont très aléatoires et sont liées aux matériaux des ouvrages captant ou de distribution sur lesquels on prélève (corrosion métalliques des tubages, des conduites ou des réservoirs) (Agence de l'Eau Rhône – Méditerranée – Corse, 1991).

En ce qui concerne les dépôts tertiaires bressans, le même constat est fait, à savoir que seuls le **fer** et le **manganèse** sont concernés. Cependant il existe un niveau de marnes pisolithiques dans le Pontien pouvant donner un fond géochimique en **fer** plus important (De Blic et al., 1972). Les eaux souterraines pontiennes sont très minéralisées (Jauzein et al., 1972).

2.3.1.2 Interprétation des résultats

2.3.1.2.1 Eaux souterraines

Globalement, les résultats illustrés sur les cartes confirment les risques de trouver, localement, des zones à fond géochimique élevé en **fer** et **manganèse** dans les eaux souterraines lorsque les conditions du milieu sont réductrices. Les données sur les eaux souterraines ont montré que souvent **les teneurs dépassent 200 µg/l pour le fer** (1180 µg/l sur le secteur de Montrevel-en-Bresse) **et 50 µg/l pour le manganèse** (810 µg/l sur le secteur de Châlon-sur-Saône).

Il est important de noter que sur ce secteur la totalité des captages sont situés dans les sédiments quaternaires. La présence de fer et de manganèse est donc reconnue dans les nappes alluviales quaternaires mais il n'est pas possible de déterminer si ces occurrences sont également avérées pour les sédiments pliocènes pourtant abondants dans le secteur.

En ce qui concerne les autres éléments traces, les fortes valeurs rencontrées dans les eaux de surface et souterraines sont à rattacher aux pollutions. Les risques de trouver localement des zones à fond géochimique élevé ou des concentrations significatives d'origine naturelle proches ou dépassant les normes sont quasi inexistantes.

Pour l'**aluminium**, les teneurs dans les eaux souterraines dépassent rarement **100 µg/l** et **20 µg/l** dans les eaux de surface. L'utilisation de produits riches en aluminium pour l'agriculture est une cause possible lorsque les concentrations atteignent 100 µg/l.

En ce qui concerne le **fluor**, les données traduisent un fond de l'ordre de **100 µg/l** dans les eaux souterraines et de **50 µg/l** dans les eaux de surface.

Pour le zinc, les fonds géochimiques sont de l'ordre de **30 µg/l** dans les eaux souterraines.

L'**arsenic** est présent naturellement dans les eaux souterraines du Bas Dauphiné avec des teneurs **inférieures à 1 µg/l**.

Les résultats dans les eaux souterraines en **cuivre** sur le secteur du Bas Dauphiné sont souvent **supérieurs à 10 µg/l**. L'origine de ces concentrations n'a pas été identifiée.

Pour le **baryum**, les fonds n'excèdent pas plusieurs dizaines de µg/l dans les eaux souterraines.

Les valeurs données en **sélénium** dans les eaux souterraines sur le secteur du Bas Dauphiné (3 points à 5 µg/l et 2 points à 10 µg/l) sont, semble-t-il, l'objet d'erreurs au niveau des bulletins analytiques.

2.3.1.2.2 Eaux de surface

En raison d'une occupation des sols fortement dominée par les pressions anthropiques (classes 1, 3 et 5 majoritaires, Tableau 6, correspondant respectivement aux vignobles, aux zones urbanisées et industrielles et aux zones agricoles hétérogènes), le signal naturel pour les éléments traces dans les eaux superficielles du **bassin du sillon Saône-Rhône** se trouve en grande partie masqué. Les concentrations mesurées pour la Reyssouze à Servignat, la Bienne à Jeurre, l'Ange à Brion, l'Ain (donnée FOREGS), la Bourbre à Cessieu et à Chavanoz, la Drôme (donnée FOREGS), ne sont pas significatives. Il est à noter que la valeur obtenue pour l'arsenic à la Bourbre à Chavanoz le 9/12/1993 (10 µg/l) correspond probablement à un seuil de quantification, en effet le prélèvement réalisé le 8/6/2000 ne confirme pas ce résultat. Cette remarque d'ordre général doit être gardée à l'esprit. En effet la confusion entre seuil de quantification et valeur stricte mesurée est parfois commise dans la gestion des bases de données. L'Isère à Château-Neuf-sur-Isère présente des concentrations significatives en arsenic (7 µg/l). Or, comme précédemment évoqué, les eaux superficielles drainant les formations du Jurassique, Crétacé et Miocène, ne présentent a priori pas de fond géochimique élevé en arsenic, les concentrations observées pour l'Isère à Château-Neuf-sur-Isère ne sont donc pas imputables à l'occurrence naturelle de cet élément dans les sols et les roches du **bassin du sillon Saône-Rhône**. Néanmoins il est possible que ces concentrations proviennent du lessivage d'horizons riches en arsenic dans la partie amont du bassin versant de l'Isère (Massif de Belledonne, voir interprétation des fond géochimiques pour la Vue 4).

Dans la Saône et le Rhône, les concentrations en éléments traces sont fortement influencées par les apports anthropiques, il apparaît donc bien délicat d'exploiter les données obtenues pour la **Saône et le Rhône** avec pour objectif d'identifier des fonds géochimiques.

2.3.2 Partie Est du Massif Central

2.3.2.1 Rappel : Informations issues du rapport de phase 1

2.3.2.1.1 Départements du Rhône et de la Saône-et-Loire

Une étude de valorisation de l'inventaire géochimique national portant sur les sols et les alluvions a été réalisée par le BRGM (1997b) sur le département du Rhône. Cette étude, dont le but est de faire le lien entre le contexte géologique, les sols et la présence potentielle d'éléments traces dans les eaux, a montré que :

- Le **plomb**, le **zinc**, le **cuivre** et l'**arsenic** associées sous forme de minéralisations sulfurées (pyrite) se retrouvent le long de la bordure orientale du socle (Mine de pyrite de Sain-Bel, Mine de cuivre de Chessy...).
- Les formations carbonifères et certaines intrusions granitiques au Nord du département présentent un fond en **baryum** de 700 à 900 ppm).
- Le **fer**, le **manganèse**, le **chrome** et le **nickel** sont plus abondants dans les amphibolites et le volcano-sédimentaire paléozoïque de la Brévenne que dans les granitoïdes et les migmatites.
- Le **fluor** est caractéristique des milieux granitiques et certaines parties des migmatites.

En ce qui concerne les départements du Rhône et de la Saône-et-Loire, c'est dans les formations volcano-sédimentaires de la série de La Brévenne, où la quantité et la diversité des éléments sont importantes, que l'on peut s'attendre à rencontrer des éléments traces dans les eaux. Ces formations ont d'ailleurs fait l'objet d'exploitations comme à Chessy où a été extrait du **cuivre** (Marcoux et al., 1990) et à Sain Bel où des amas pyriteux ont été exploités pour la production de H₂SO₄. A Pampailly c'est l'**argent** qui a été exploité (Deroin et al., 1992). On notera enfin que le **fer**, l'**antimoine** et l'**arsenic** sont également présents dans les sols (Delfour et al., 1989 ; Sider et al., 1988).

Malgré le manque de références sur les occurrences en éléments traces dans les eaux du secteur du Massif Central, il est possible au regard de ces informations sur la composition des roches et des sols, de prévoir les éléments potentiellement présents dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Il s'agit du **baryum**, du **fluor**, du **fer**, du **manganèse** et probablement aussi de l'**arsenic**, du **zinc**, du **nickel** et du **cadmium**.

2.3.2.1.2 Département de la Loire

Une étude similaire a été réalisée sur le département de la Loire par Artignan et al. (1995a) sur la base des résultats de l'inventaire géochimique. Elle a montré que :

- Le **fer** se retrouve surtout en grande quantité dans le bassin stéphanien, mais sa présence est possible dans une vaste gamme de roches à des teneurs plus ou moins importantes. Sa contribution dans les eaux dépend des conditions de pH et de Eh du milieu dans lequel il se trouve. Pour le **manganèse**, les teneurs moyennes sont toujours très proches du seuil de quantification. Souvent associé au **fer**, il peut être présent dans les terrains du bassin houiller stéphanois. Les concentrations en **chrome** varient entre 10 et 5000 ppm, avec une moyenne de 50 ppm. Le **chrome** se retrouve essentiellement dans les formations du bassin stéphanien, mais il est peu mobilisable dans les eaux.
- Les teneurs en **plomb** dans les sols peuvent atteindre 14000 ppm. Il est peu soluble, donc peu mobilisable dans les eaux, et il est principalement situé dans les volcanites. On le retrouve aussi à l'extrême Sud (Sud du Mont Pilat), associé à du baryum dans des filons de quartz-barytine recoupant les granites. Le baryum est également associé aux formations granitiques et les filons de barytine sauf au Nord, où il apparaît dans les volcanites. Les teneurs en **baryum** peuvent atteindre 7900 ppm et ces teneurs dans les sols sont potentiellement mobilisables dans les eaux peu sulfatées. Le **zinc**, souvent associé au **plomb**, se présente sous forme de sulfures (blende), facilement oxydable. Les concentrations varient entre 11 et 4280 ppm. L'**argent** est surtout présent dans les volcanites. Les teneurs en **argent** varient de 0.1 à 259 ppm, mais la concentration moyenne n'est que de 0.6 ppm. Notons quelques points isolés dans le Stéphanien. L'**argent** est très peu soluble dans les eaux.
- Les teneurs en **arsenic** atteignent 3100 ppm dans les sols, avec un fond géochimique moyen de l'ordre de 48 ppm. L'**arsenic** est assez bien corrélé avec les zones riches en tungstène. Au Sud de Saint-Chamond, il est en relation avec les zones à **antimoine**. Au Nord-Est il est clairement lié aux volcanites riches en mispickel, prolongement de la série de la Brévenne et au bassin houiller stéphanien. L'**antimoine** est associé à l'**argent** dans les volcanites. Il est mobilisé dans les eaux par oxydation, si bien qu'il est possible de trouver quelques traces d'**antimoine** naturel dans les eaux.
- Avec un maximum de 2700 ppm, et avec une moyenne de 25 ppm, le **nickel** a une image semblable à celle du **chrome**. Sa présence dans les eaux d'origine naturelle, à des fortes concentrations, n'est pas certaine sur ce secteur. Les teneurs en **cuivre** peuvent dépasser 1800 ppm, mais la concentration moyenne n'est que de 22 ppm. Le **cuivre** est nettement présent dans les formations volcaniques et, dans une moindre mesure, dans les granites. Dans les volcanites, le **cuivre** est potentiellement mobilisable dans les eaux par oxydation des sulfures.
- Le **fluor** est présent sous forme d'apatite ou de fluorine, fréquentes et disséminées dans les granites. La fluorine est beaucoup plus soluble que l'apatite. Son niveau moyen de teneur dans les sols est de l'ordre de 100 ppm.

En plus de ces informations sur le fond géochimique naturel des sols, il faut savoir que certains secteurs peuvent être influencés par des apports d'éléments traces d'origine anthropique comme le **fer** (anciennes exploitations). Sur le département de la Loire, il s'agit essentiellement de la vallée du Gier dans le bassin houiller stéphanois. La

présence d'arsenic, de chrome, de nickel, de plomb et de zinc a d'ailleurs été relevée par l'AERM&C (2004) dans les eaux de ce cours d'eau.

Le tableau de synthèse suivant résume pour chaque domaine le lien entre le fond géochimique dans les eaux et les roches (Tableau 8). Il illustre, pour un contexte géologique donné, les éléments présents dans les roches ainsi que ceux susceptibles de donner aux eaux de surface et/ou souterraines des concentrations significatives en éléments traces.

Département	Lithologie	Eléments potentiellement présents dans les minéralisations associées	Elements traces pouvant être retrouvés en concentrations significatives dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines	
69 et 71	Granites (secteur Tarare)	Ba F Fe Pb Zn (As et Sb plus rare)	Ba F Fe	
	Granites (Secteur Romanèche)	Ba F Fe Pb Zn	Ba F Fe	
	Gneiss (secteur Tarare)	Ba F Fe	Ba F Fe	
	Microgranites filoniens (secteur Tarare)	As Pb Zn Sb	As	
	Série de la Brévenne et du Beaujolais	Contact schistes-gneiss et cornéennes	Cu Fe Pb Zn	Fe Zn
		Volcano-sédimentaire (Dévonien)	Ba Cu Cr Fe Mn Ni Pb	Ba Fe (Mn, Ni et Pb incertains)
		Séricitoschistes	Fe Mn	Fe Mn
		Filons quartzeux dans les mylonites silicifiées	As Fe Sb	As Fe (Sb incertain)
		Dacites, rhyolites et tufs (Viséen)	Ag As Ba Cu F Pb Sb	As Ba F (Cu et Sb incertains)
		Grauwackes	Pb	Pb
	Calschistes	Cu Fe Pb	Fe	
42	Granites	Ba F Fe Pb Zn	Ba F Fe	
	Bassin stéphanien	Fe Cr Mn As	As Fe Fe (Zn?)	
	Schistes, micaschistes	Pb Sb Zn	Zn	

Tableau 8 : Relation entre la lithologie, les minéralisations associées et les éléments traces dans les eaux naturelles pour le secteur Nord du Massif Central.

2.3.2.2 Interprétation des résultats

Les données recueillies en éléments traces dans les **eaux sont insuffisantes sur certains secteurs** pour tirer des conclusions pertinentes sur le risque de trouver des zones à fond géochimique élevé, comme au niveau de la série de la Brévenne où les occurrences en éléments traces sont nombreuses et citées dans le rapport de phase 1 (Sonney *et al.*, 2005).

2.3.2.2.1 Eaux souterraines

En ce qui concerne l'**aluminium**, les teneurs dans les eaux souterraines sont globalement inférieures à **100 µg/l**, avec au maximum un point indiquant 340 µg/l (commune de Saint-Jacques-des-Arrets). L'origine des plus fortes teneurs est liée à

une pollution. Dans les eaux de surface, il est possible de trouver des teneurs de l'ordre de **10 µg/l** et d'origine naturelle.

La présence d'**antimoine** dans les eaux souterraines à des teneurs supérieures à **1 µg/l** est peu probable sur ce secteur. Par manque d'information, il est difficile de donner des conclusions exhaustives. Cependant, il est à noter que dans les sols, l'antimoine est plus abondant le long des fractures bordant le bassin houiller stéphanois dans sa partie Nord. Des mesures sur les eaux de surface et souterraines doivent être effectuées sur cette zone pour confirmer la présence d'**antimoine** à des teneurs significatives. Au sud du massif du Pilat, d'autres minéralisations très locales confirment le caractère très ponctuel des occurrences en antimoine.

Pour l'**argent**, rien de notable n'est à signaler qui montrerait sa présence à des concentrations significatives dans les eaux. Il est bien représenté dans les sols du bassin stéphanois sur le secteur de Saint-Etienne.

Les données sur les sols ont montré que l'**arsenic** est présent dans le même secteur que l'argent. Les mesures sur les eaux souterraines indiquent que localement les teneurs sont fortes et dépassent la norme de **10 µg/l** (maximum de 70 µg/l au niveau des terrains primaires sur le secteur du Mont Tourvénon). L'origine des terrains rencontrés sur la bordure du Massif Central (granites, gneiss...) laisse supposer que d'autres secteurs sont susceptibles d'être des zones à risque de fond géochimique élevé. De ce fait, il est possible de trouver des fonds géochimiques de l'ordre de plusieurs dizaines de µg/l dans les eaux souterraines.

Le **baryum** est un élément rencontré dans les sols (jusqu'à 21 g/kg de sols) et les roches (très nombreux indices de barytine) comme en témoignent les données recueillies. Par manque d'informations sur les eaux, le lien direct entre les fortes concentrations dans les sols et l'existence d'un fond géochimique élevé dans les eaux ne peut être établi. Néanmoins si les conditions le permettent, en effet les propriétés de solubilité du baryum sont très dépendantes des concentrations en sulfates dans les eaux, il est possible que localement le baryum présente un fond géochimique élevé.

En ce qui concerne le **cadmium**, rien de particulier n'est à noter dans les eaux de surface et souterraines qui indiquerait une présence significative. C'est dans les sols du département de la Loire qu'il est le plus présent et notamment sur le secteur du Mont Pilat.

Pour le **chrome**, même si il ne fait pas l'objet de risques majeurs de fond géochimique élevé, il est surtout présent dans les sols le long des fractures au Nord du bassin stéphanois ainsi qu'au niveau de Matour où il a été mesuré dans les eaux de surface du Grosne (phase dissoute) une teneur de **0,1 µg/l**.

Sur ce même secteur, le **cuivre** est présent dans les sols et cela se traduit par une teneur dans les eaux de surface du Grosne d'environ **1 µg/l**. Il est également présent en abondance dans les roches et les sols au niveau du bassin stéphanois où l'on peut s'attendre à le retrouver dans les eaux souterraines à des teneurs dépassant 1 µg/l.

Le manque d'informations en **fer** et **manganèse** dans les eaux, les sols et les roches est notable sur l'ensemble du secteur. Quelques points montrent des teneurs en **fer**

dans les eaux souterraines dépassant **200 µg/l** comme par exemple au niveau du bassin versant de l'Azergues (640 µg/l). Compte tenu de la nature cristalline des terrains présents, il est possible que localement les fonds géochimiques dans les eaux souterraines puissent dépasser les normes.

En ce qui concerne le **fluor**, les nombreux points d'échantillonnage indiquent un fond de l'ordre de **100 µg/l** pour les eaux souterraines et de **50 µg/l** pour les eaux de surface.

Pour le **mercure** et le **sélénium**, rien n'indique une éventuelle présence naturelle et significative dans les eaux.

Le **nickel** est associé au **chrome** dans les sols. Dans plusieurs secteurs, les données de l'inventaire géochimique mettent en évidence la présence de nickel dans les roches primaires (sédiments cambriens à ordoviciens moyens au nord du Gier, sédiments carbonifères et permien à l'ouest de Mâcon,...). Malheureusement, l'absence de résultats d'analyse sur la concentration du nickel dans les eaux souterraines de ces secteurs ne permet d'affirmer avec certitude si un risque de fond géochimique élevé en nickel existe dans ces formations. Sur la base des résultats de l'inventaire géochimique, ce risque est donc signalé mais avec un niveau de connaissance moyen.

Enfin, le **plomb** et le **zinc** sont associés eux aussi dans les sols. Ils se retrouvent surtout au niveau des terrains primaires du bassin de l'Azergues et au Sud du Mont Pilat. Rien de notable n'est à signaler concernant leur présence à des fortes concentrations dans les eaux de surface et souterraines.

2.3.2.2.2 Eaux de surface

Seul deux points de prélèvement permettent de documenter les concentrations en éléments traces pour les eaux superficielles drainant la **partie nord du Massif Central**. Les concentrations en **arsenic** mesurées pour la Turdine à l'Arbresle et l'Ardière à Saint Jean d'Ardières (respectivement 60 et 90 µg/l), sont extrêmement élevées et traduisent probablement un **fond géochimique élevé** pour cet élément, mis en évidence précédemment pour les eaux souterraines à partir de l'inventaire géochimique. Ces rivières drainent en amont de Lyon les formations volcaniques de la **série de la Brevenne**. Cependant ces concentrations sont probablement accentuées par le drainage de différents secteurs miniers notamment de Sain Bel (amas pyriteux) et de Chessy (mine de zinc, de cuivre et de baryum comme substances principales). Bien que le contexte géologique en amont de Saint-Etienne (sédiments gneiss et granites cambriens à ordoviciens) soit significativement différent de celui décrit précédemment au nord-ouest de Lyon, l'existence d'une zone de fractures et l'occurrence en arsenic dans les lithologies drainées permet de **prédire un fond géochimique également élevé en arsenic** pour les eaux superficielles. Le réseau d'échantillonnage sur ce secteur est clairement insuffisant, nous préconisons donc la mise en place de nouvelles stations de prélèvement, tenant compte des réalités du terrain (hors zone industrielle et hors secteur de drainage de districts miniers).

2.3.3 Massif du Morvan

2.3.3.1 Rappel : Informations issues du rapport de phase 1

Les principales occurrences en métaux dans les eaux, sont les zones de contacts faillées entre le socle granitique et la couverture sédimentaire triasique, et entre le Trias et l'Oligocène bressan. En effet, les circulations des fluides dans les failles normales du Morvan génèrent des filons de sulfures de type dyke, mais également de type stratiforme par l'intermédiaire des joints de stratification (Chermette, 1975).

L'exemple le plus connu est celui de Romanèche, avec de nombreux amas manganésifères stratiformes dans les grès Rhétien et au contact avec le granite hercynien (Chermette, 1975).

Un autre exemple est celui des minéralisations stratiformes de **fluor** dans les grès du Trias dans le secteur d'Antully (Soule de Lafond et al., 1980).

Ces deux éléments peuvent se retrouver assez facilement en solution dans les eaux souterraines.

Globalement, au niveau du Morvan, le Trias contient de nombreux sulfures dans ces niveaux les plus perméables. Le risque de contamination, surtout dans les eaux souterraines ayant un contact assez long avec ces formations, est probable et ne concerne que certains éléments comme le **fer**, le **manganèse**, le **baryum**, le **fluor**, le **zinc** et dans une moindre mesure le **cuivre** et le **plomb** (Arène et al., 1977) ; mais également l'**arsenic** comme le montre le rapport de Jauffrey (2001), où des teneurs de plusieurs dizaines de µg/L ont été mesurées dans les eaux souterraines des grès triasiques au contact des granites.

Pour les formations sédimentaires plus récentes que celles du Trias, la présence de **fer** dans les carbonates du Jurassique est beaucoup plus rare car les faciès sont plus franchement marins. Localement, dans quelques niveaux, les faciès sont typiques de milieux marins de faible profondeur et peuvent contenir de nombreux oxydes de **fer** comme dans les calcaires oolithiques ferrugineux de l'Oxfordien, qui autrefois ont fait l'objet d'exploitations minières (Rémond et al., 1984), les calcaires à entroques du Bajocien inférieur et de l'Aalénien (Coulon, 1979 ; De Blic et al., 1972), les calcaires du Sinémurien (Baize, 1997).

Les apports anthropiques sont présents sur le Morvan par le traitement des vignes. Le Beaujolais ainsi que toute la côte du Morvan jusqu'à Dijon sont très occupés par l'activité viticole ; si bien que des fortes teneurs en **cuivre** sont connues dans les eaux de surface (Lorenchet-de-Monjamont et al., 1973).

2.3.3.2 Interprétation des résultats

Les informations recueillies, par l'intermédiaire de la recherche bibliographique, sont confirmées par les résultats illustrés sur les cartes en ce qui concerne les données sur les sols et les eaux souterraines (les données sur les eaux de surface sont absentes).

2.3.3.2.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines dans les secteurs à proximité **de la limite géologique entre le socle et les terrains sédimentaires secondaires** sont les plus à risque de contenir des fonds géochimiques élevés en éléments traces car se sont des zones de failles favorisant les circulations de fluides minéralisés en éléments traces.

L'**arsenic** est présent dans les sols triasiques, mais ils ne se retrouvent pas dans les eaux souterraines sur tous les points localisés sauf un seul (implanté en zone viticole) qui montre une teneur de **38 µg/l**. Sur ce même point à été identifié une concentration de **2710 µg/l** de **fluor**. L'origine naturelle de ces valeurs est possible comme le prouve le rapport de phase 1 (Sonney *et al.*, 2005).

Le **fluor** est également rencontré dans les eaux souterraines des terrains triasiques sur un point à une teneur de **900 µg/l**. Ailleurs, les valeurs excèdent rarement **200 µg /l**.

En ce qui concerne le **chrome** et le **nickel**, le **zinc** et le **plomb**, ils sont associés dans les sols triasiques. Le manque d'information sur les eaux souterraines ne permet pas de conclure exhaustivement sur leur présence à des concentrations significatives.

Le **baryum** et le **cuivre** sont également des marqueurs des sols triasiques comme par exemple sur le secteur de Couches pour le **cuivre**. Même si les données sur les eaux sont absentes, il est peu probable que les teneurs en **baryum** et en **cuivre** dans les eaux dépassent la norme.

Pour l'**aluminium**, les nombreux résultats sur les eaux souterraines indiquent un fond moyen **inférieur à 100 µg/l**.

Enfin, pour les autres éléments non cités, s'il existe des teneurs significatives dans les eaux, elles ont une origine anthropique.

2.3.3.2.2 Eaux de surface

Aucune donnée n'est disponible pour des eaux superficielles drainant le **massif du Morvan**. Compte tenu des autres informations disponibles sur cette zone géographique (inventaire géochimique, indices miniers, concentration dans les eaux souterraines), **aucun risque de fond géochimique significatif ne se dégage** pour l'ensemble des éléments considérés.