Antenne SUD
Pist Oasis 3 – Bât A
Rue de la Bergerie
30319 ALES CEDEX
Tél : +33 (0)4.66.61.09.80
Fax : +33 (0)4.66.25.89.68

Evaluation de l'impact environnemental et sanitaire lié aux dépôts miniers de la zone de la Molette (ancien site minier d'Auzelles)

RAPPORT S 2014/051DE - 14AUV2410

Date : 02/10/2014

Evaluation de l'impact environnemental et sanitaire lié aux dépôts miniers de la zone de la Molette (ancien site minier d'Auzelles)

RAPPORT S 2014/051DE - 14AUV2410

Diffusion :

B3S	Aurélien LOUIS
GEODERIS	Rafik HADADOU
GEODERIS	Nicolas ZORNETTE

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Ph. BARANGER	N. ZORNETTE	C. VACHETTE
Visa			

SOMMAIRE

1 Introduction 5
1.1 Contexte de l'étude 5
1.1.1 Origine de la demande 5
1.1.2 Emprise de la zone d'étude 5
1.2 Méthodologie générale de l'étude 6
1.3 Déroulement de l'étude 7
2 Etude documentaire et historique 9
2.1 Démarche de recueil d'information 9
2.2 Synthèse des informations et données collectées 10
2.2.1 Les contextes géographique et climatique 10
2.2.2 Le contexte géologique 11
2.2.3 Les contextes hydrologique et hydrogéologique 14
2.2.4 Le contexte environnemental 16
2.2.5 Le contexte foncier 17
2.2.6 L'exploitation minière 17
2.2.7 La retenue du Miodet (études EDF) 25
3 Etat actuel du site minier 29
4 Sources potentielles de pollution, usages et enjeux identifiés 31
4.1 Sources potentielles de pollution 31
4.2 Usages et enjeux 31
4.2.1 L'habitat 31
4.2.2 Les activités industrielles 32
4.2.3 L'activité agricole 32
4.2.4 Les activités de loisirs 32
4.2.5 Les enjeux relatifs à la qualité des eaux superficielles 34
4.2.6 Les enjeux relatifs à la qualité des eaux souterraines 36
4.2.7 Les enjeux relatifs au compartiment environnemental – Zones naturelles protégées 40
5 Schéma conceptuel préliminaire 45
6 Investigations de terrain 47
6.1 Préambule 47
6.2 Organisation des investigations 47
6.3 Programme des investigations 48
6.4 Environnement local témoin 49
6.5 Protocoles de prélèvements et mesures in situ 50

6.5.1 Sols et résidus miniers 50
6.5.2 Sédiments 51
6.5.3 Eaux de surface et souterraines 52
6.5.4 Espèces végétales (végétaux potagers et herbes de prairie) 52
6.6 Analyses 54
6.6.1 Sols et résidus miniers 54
6.6.2 Sédiments et sables 54
6.6.3 Eaux de surface et souterraines 54
6.6.4 Végétaux potagers et herbes de pâturages 54
7 Résultats et interprétation 55
7.1 Eaux souterraines 55
7.1.1 L'environnement local témoin 55
7.1.2 Les eaux issues des travaux miniers 56
7.1.3 Synthèse 59
7.1.4 Interprétation 60
7.2 Eaux superficielles 60
7.2.1 L'environnement local témoin 60
7.2.2 Les échantillons prélevés en aval ou à l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette 62
7.2.3 Synthèse 63
7.2.4 Interprétation 64
7.3 Sédiments et sables de fond de cours d'eau 68
7.3.1 Analyses de laboratoire 68
7.3.2 Mesures NITON® 77
7.4 Résidus miniers 77
7.4.1 Analyses de laboratoire 78
7.4.2 Mesures NITON® 78
7.5 Sols 79
7.5.1 Mesures de laboratoire 79
7.5.2 Mesures NITON® 87
7.6 Végétaux 88
7.6.1 Végétaux potagers 88
7.6.2 Herbes de prairies 90
8 Interprétation de l'état des milieux 93
8.1 Préambule 93
8.2 Rappels méthodologiques 93
8.3 Schéma conceptuel 100
8.3.1 Sources de pollution 100
8.3.2 Voies d'exposition pour les populations et enjeux 104
8.3.3 Bilan du schéma conceptuel 105
8.4 Calculs des risques sanitaires 109

8.4.1 Evaluation de la toxicité et valers toxicologiques de référence 109
8.4.2 Evaluation des expositions 110
8.4.3 Caractérisation des risques 119
8.4.4 Incertitudes 127
9 Conclusions et recommandations 135
9.1 Conclusions sur l'Interprétation de l'Etat des Milieux – IEM 135
9.1.1 Aspect environnemental 135
9.1.2 Aspect sanitaire 135
9.2 Recommandations 136
9.2.1 Maîtrise de la source principale de pollution 136
9.2.2 Mesures simples de gestion 139
10 Références 143

Mots clés : Interprétation de l'état des milieux, Auzelles, Sauviat, sédiments, Miodet

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

1.1.1 Origine de la demande

L'inventaire des tas de stériles et de résidus miniers effectué par GEODERIS dans le cadre de l'article 20 de la Directive européenne sur les déchets de l'industrie extractive, a classé le secteur d'Auzelles comme potentiellement impactant d'un point de vue environnemental et sanitaire (secteur classé en D sur une échelle allant de A à E ; la classe E étant représentative des secteurs potentiellement les plus impactants du point de vue sanitaire et environnemental). Ce secteur est couvert par 4 anciennes concessions minières de plomb argentifère (St-Amand-Roche-Savines, Montnebout, Auzelles et Sagne) ; le titre d'Ollièrgues n'ayant quant à lui pas été retenu lors de l'étape de présélection des titres effectuée préalablement à l'inventaire DDIE. Plus aucune de ces concessions n'est aujourd'hui valide.

Cette étude a été axée sur le titre d'Auzelles et plus particulièrement sur le principal site d'extraction de la Molette situé en amont hydraulique du barrage de Sauviat. Ce dernier a été édifié peu après l'arrêt de la mine, au tout début du XXème siècle. Le concessionnaire de la retenue (EDF) a mis en évidence une accumulation de sédiments dans cette dernière présentant une contamination métallique dont la signature se rapproche de celle des résidus stockés sur le site d'Auzelles.

Dans ce cadre, la DREAL Auvergne a demandé à GEODERIS de mener à bien une évaluation du risque environnemental et sanitaire lié aux tas de résidus miniers produits sur le site principal d'exploitation de la concession d'Auzelles (site de la Molette) et de suivre l'impact de ces résidus jusqu'au barrage le plus proche situé en aval (barrage de Sauviat).

1.1.2 Emprise de la zone d'étude

Afin de répondre au plus près à la demande exposée dans le paragraphe précédent, l'étude a porté sur une zone axée sur le ruisseau du Miodet. Cette dernière est approximativement comprise entre le village de St-Eloy-la-Glacière, situé à 30 km en amont de l'ancien site minier de la Molette et la retenue du Miodet (barrage de Sauviat) située au nord, à environ 15 km en aval (figure 1). L'identification et la caractérisation des sources primaires de pollution ont été axées sur le site de la Molette qui constituait le quartier d'exploitation minière le plus important de la mine d'Auzelles. Ce site incluait par ailleurs toutes les opérations de préparation (broyage-lavage) et de concentration du minerai. Les autres sites de la concession d'Auzelles (La Fouille, Ailloux, Laire, Fauchal, Chalus) n'ont, pour leur part, été le siège que de travaux peu importants se limitant pour l'essentiel à des recherches. Pour cette étude, il convient de signaler que quelques mesures ont été réalisées au niveau du puits nord des recherches de Chalus. Au sein de la zone d'étude, plusieurs points de mesure et de prélèvement ont aussi été spécifiquement ciblés sur l'évaluation des environnements locaux témoins (environnements situés en dehors de toute influence minière).

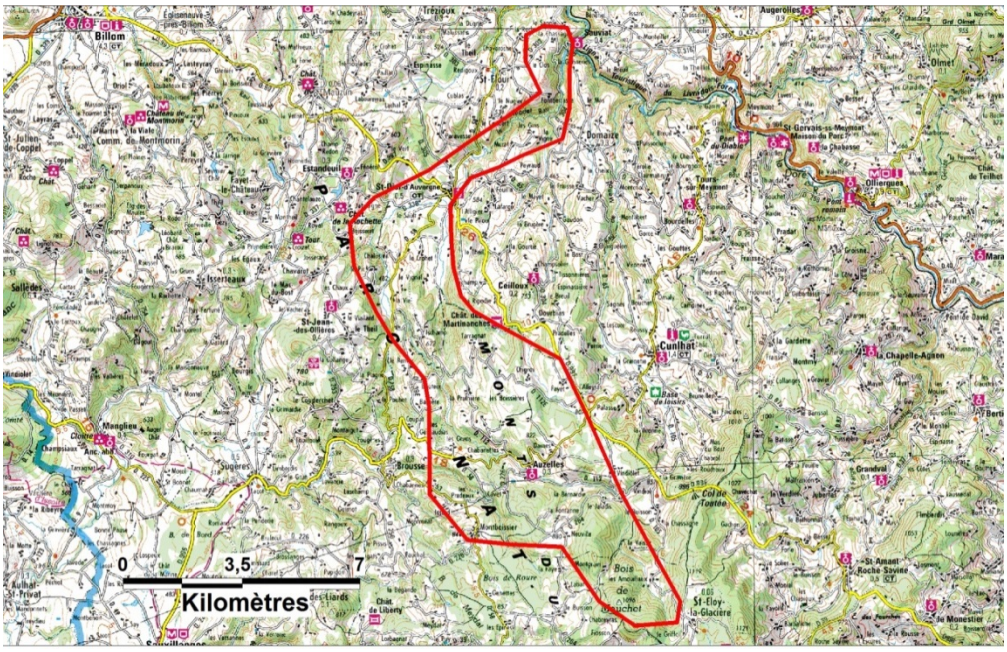


Figure 1 : Emprise de la zone d'étude

1.2 Méthodologie générale de l'étude

Pour cette étude, l'approche utilisée s'appuie sur une des démarches élaborée dans le cadre de la politique nationale de gestion des sites et sols pollués du Ministère en charge de l'environnement.

Cette démarche est notamment basée sur l'élaboration d'un schéma conceptuel et sur l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM).

Ainsi, des mesures de gestion devront être entreprises dès lors que l'IEM conclut à un état des milieux incompatible avec les usages actuels. Ces mesures sont des actions visant à améliorer / restaurer la qualité des milieux affectés afin de les rendre compatibles avec l'usage considéré.

Plus généralement, et indépendamment de l'usage sur site, des mesures de gestion sont engagées :

- lorsqu'une pollution sur site génère des impacts et des émissions polluantes hors site (cas des sources de pollution dites « non maîtrisées ») venant à compromettre la libre jouissance d'usages (puits, captages, ressource en eau, etc.) ;
- lorsqu'une source de pollution non maîtrisée est constatée (source dont les émissions polluantes échappent à l'emprise du site).

Des mesures simples et pragmatiques peuvent alors être suffisantes pour contrôler un état stabilisé ou une évolution favorable de l'état des milieux et pour résoudre le problème identifié avant toute investigation complémentaire et/ou mesure de gestion.

S'agissant des milieux dont l'état est dégradé, mais pour lesquels les risques restent acceptables, en référence aux valeurs de gestion réglementaires ou aux niveaux de risques théoriques calculés, la mise en place d'une surveillance environnementale adaptée et limitée dans le temps (une seule période quadriennale) peut être envisagée pour vérifier la maîtrise de la source et l'évolution favorable des impacts.

En tout état de cause, lorsqu'un plan de gestion n'est pas engagé, la conservation de la mémoire de l'état des milieux, par la mise en place de servitudes et restrictions d'usage, peut s'avérer nécessaire pour garantir la pérennité de l'adéquation entre les usages constatés à un moment donné et l'état des milieux.

L'objectif de ce projet est d'évaluer l'impact des activités minières sur les milieux et d'en déduire si les usages constatés sont compatibles avec l'état de ces milieux.

L'objectif de ce travail a uniquement été centré sur l'évaluation de l'impact sanitaire et environnemental (sols, eaux, végétaux) généré par l'ancienne activité minière de la zone de la Molette, principale source de pollution de la concession d'Auzelles. Les autres zones de travaux, moins conséquentes que le secteur de la Molette n'ont pas été investiguées dans la cadre de cette étude (à l'exception de quelques mesures effectuées sur le site du Chalus/Fayet).

1.3 Déroulement de l'étude

Cette étude a été réalisée en collaboration avec le BRGM et l'INERIS. Le BRGM a apporté son appui au niveau de la problématique des eaux souterraines et des sédiments. Il a également pris en charge les mesures *in situ* destinées à évaluer l'extension des zones de sol contaminées (BRGM, 2012). L'INERIS a quant à lui mené à bien le volet relatif aux risques sanitaires (INERIS 2013). GEODERIS a pris en charge la partie pollution des sols, des eaux et des sédiments ainsi que la synthèse de l'ensemble de l'étude. Il a également assuré le dépouillement des archives minières relatives à la concession d'Auzelles. Ces dernières ont été consultées au BRGM Auvergne.

Le travail s'est déroulé de la manière suivante :

- Réunion de lancement de projet
- Etude documentaire et historique (consultation de la documentation existante se rapportant à la zone d'étude ou à son environnement plus général, consultation des archives minières portant sur la concession d'Auzelles ; analyse de vulnérabilité des milieux et identification des cibles potentielles, établissement d'un schéma conceptuel préliminaire, proposition d'un plan d'échantillonnage pour la caractérisation des milieux).
- Investigations de terrain : identification et caractérisation des sources de contamination, identification des vecteurs de la pollution, analyse de vulnérabilité, mise à jour du schéma conceptuel.
- Interprétation de l'état des milieux : vérification de la compatibilité entre l'état des milieux et des usages fixés.
- En cas d'incompatibilité, mise en place de recommandations

La réunion de lancement de projet a été organisée par GEODERIS. Elle s'est tenue dans les locaux de la DREAL Auvergne en présence de l'INERIS, du BRGM, de la DREAL et de GEODERIS. Elle a été suivie d'une première visite de terrain menée en septembre 2012 (10 au 14 septembre) sur l'ensemble de la zone d'étude et à laquelle ont participé tous les acteurs présents à la réunion.

Lors de cette réunion, la mise en place des actions de communication a par ailleurs été discutée avec la DREAL. Cette dernière a adressé un courrier d'information aux sous-préfets d'Ambert et de Thiers ainsi qu'au secrétaire général de la préfecture du Puy de Dôme pour l'arrondissement de Clermont.

2 ETUDE DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE

2.1 Démarche de recueil d'information

Sur la base des données existantes, cette phase a pour objectif d'acquérir des informations sur l'environnement du site d'étude et ses alentours, notamment sur les volets relatifs à la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrographie, le climat, le contexte minier (type de minéralisation, paragénèse, historique de l'exploitation, nature des travaux souterrains et des installations de surface…). Elle a aussi pour vocation d'acquérir des données sur l'impact potentiel environnemental et sanitaire de l'ancienne activité minière (sources potentielles de pollution, voies d'exposition, enjeux : ressources en eau, populations humaines, faune, flore, etc.).

Pour cette phase de recueil d'information, ont été consulté des documents provenant de différentes sources (documentation récente, archives minières et sites internet).

Documentation existante se rapportant à la zone d'étude ou à son environnement plus général (cf. bibliographie) :

- Analyse de la chair des poissons du Miodet à l'aval des terrils. Résultat des prélèvements réalisés le 19 octobre 2009. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt du Puy-de-Dôme. Mission Inter Service de l'eau. 2 décembre 2009 ;
- Auzelles. Site Natura 2000 FR 8301044. Documents d'objectifs. Document validé par le COPIL le 23 novembre 2011. Parc naturel régional Livradois-Forez, 2011 ;
- Etude EDF des sédiments du barrage du Miodet. ;
- Etude BRGM. – Recommandations à suivre en cas de vidange de la retenue du Miodet ;
- Etude IEM. Concession d'Auzelles. Carnet de la visite du 19 juin 2012 ;
- Compte-rendu de la réunion de lancement de l'étude IEM sur l'ancien site minier d'Auzelles », référencé GEODERIS S2012/71DE 12AUV2410 ;
- « Synthèse hydrogéologique des environs de la concession d'Auzelles (63). Note BRGM du 21 décembre 2012 :
- Inventaire des Résidus Miniers à impact sanitaire potentiel. Application à la région Auvergne. GEODERIS S 2010/47DE - 10AUV2120 (2010).
- Inventaire des dépôts issus des exploitations minières selon l'article 20 de la Directive 2006/21/CE Monographie sur la région Auvergne. Volet « métallique ». Rapport GEODERIS N2012/043DE – 12NAT2121 (2013)
- Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Dore, Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Rapport de diagnostic, (2010)
- Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Dore, Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Synthèse (2010)
- SAGE de la Dore ; Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Evaluation environnementale (2011).
- Caractérisation d'une contamination des eaux par l'arsenic. Exemples d'Auzon et d'Auzelles (Auvergne). Rapport BRGM/RP-50737-FR (2001).
- AP portant interdiction de la pêche de poissons dans la rivière Dore en vue de la consommation (23 mai 2008).
- AP modifiant l'arrête préfectoral portant interdiction de la pêche de poissons dans la rivière Dore en vue de la consommation (15 octobre 2009).
- AP portant interdiction de la consommation des produits de la pêche dans la rivière du Miodet (10 mars 2010).

- Cartographie de l'aléa arsenic dans les eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable de la région Auvergne. Rapport BRGM/RP-53427-FR
- Les gisements de plomb-zinc en France. Stolojan N. et Viland J.C., 1991

Sites internet :

http://inpn.mnhn.fr/
http://www.developpement-durable.gouv.fr/
http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Natura-2000,2414-.html
http://baignades.sante.gouv.fr/homeMap.do#a
http://agreste.agriculture.gouv.fr/
http://gesteau.eaufrance.fr/sage/dore
http://infoterre.brgm.fr/
http://carmen.application.developpement-durable.gouv.fr/7/DonneesEnvironnement_Auvergne.map
http://www.geoportail.gouv.fr
http://www.cartes-topographiques.fr

Archives minières

- Rapports et avis Ingénieur des Mines,
- Comptes rendus et procès-verbaux de visite
- Rapport sur l'annulation de la concession (1958)
- Rapport sur le retrait de la concession (1938)
- Rapports BRGM portant sur les campagnes de prospection géochimiques effectuées dans le secteur d'Auzelles (rapports R4021 (1959) ; A1683 (1960) ; A1812 (1961))
- Notes descriptives relatives à la concession d'Auzelles
- Plans miniers des travaux souterrains
- Schémas des travaux miniers

2.2 Synthèse des informations et données collectées

2.2.1 Les contextes géographique et climatique

La zone d'étude est localisée en Auvergne, dans le département du Puy de Dôme, à une quarantaine de kilomètres au sud-est de Clermont-Ferrand. Elle est située au nord-ouest des monts du Livradois. Elle recoupe plusieurs communes : Auzelles, Brousse, St-Dier-d'Auvergne, St-Jean-des-Ollières, Domaize, St-Eloy-la-Glacière, St-Flour et Cunhalt. La commune d'Auzelles, où est localisé l'ancien site minier de la Molette, présente la plus grande superficie recoupée par la zone d'étude.

La zone se caractérise par un relief localement accidenté avec des altitudes qui s'échelonnent entre approximativement 400 m et 1100 m (figure 2).

Le climat d'Auzelles est de type océanique altéré. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 800 à 1200 mm et est bien répartie dans l'année. Les écarts de température peuvent être importants en fonction des périodes de l'année.

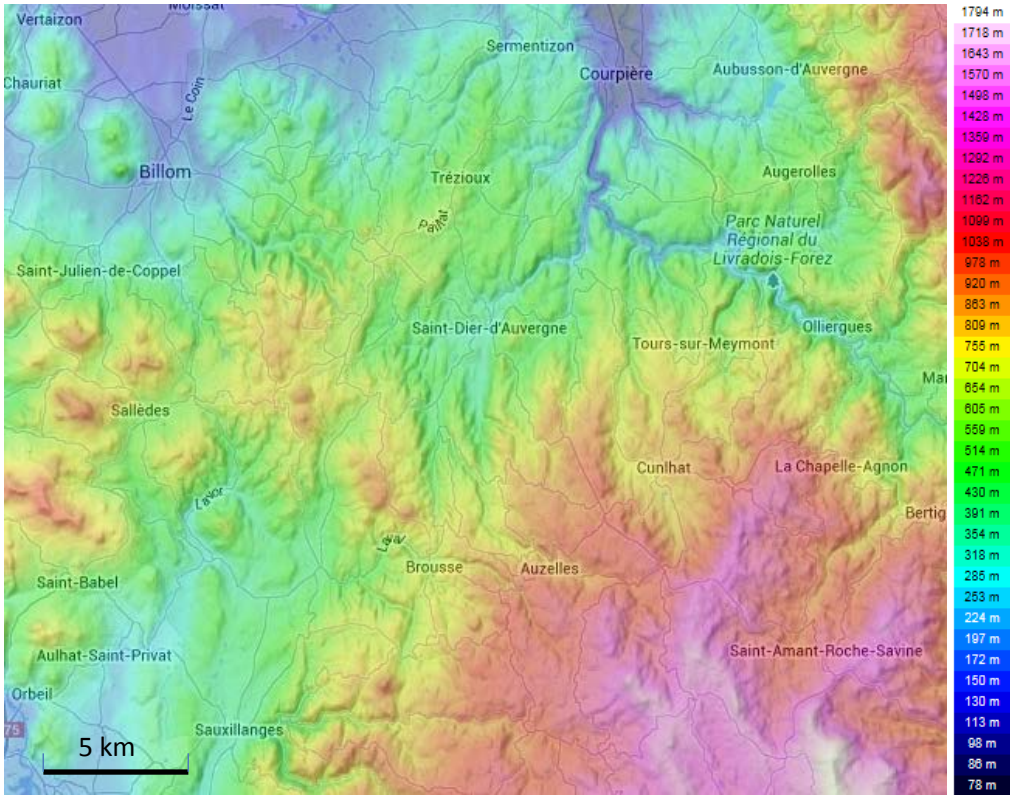


Figure 2 : Contexte topographique de la zone d'étude
(source internet : cartes-topograhiques.fr)

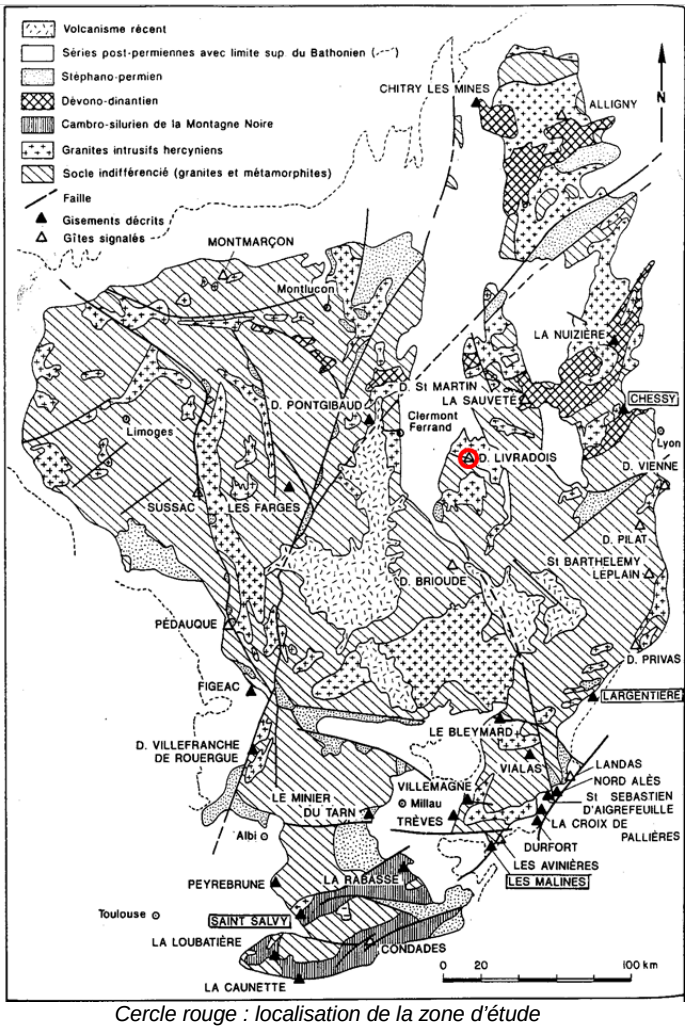
2.2.2 Le contexte géologique

Sur le plan géologique, la région est constituée par un socle cristallin métamorphique et granitique.

Les formations métamorphiques correspondent à des gneiss passant à de véritable migmatites et granites d'anatexie[1].

Le gisement d'Auzelles est situé à cheval sur le granite de St-Dier au nord et les gneiss migmatitiques au sud (figure 3). Le contact entre les formations métamorphiques et le granite de St- Dier est globalement suivi par le ruisseau du Miodet. Le socle est affecté par de nombreuses fractures de direction Nord 30°- Est à Nord 70°- Est et Nord 130°- Est à Nord 170° - Est (figures 4a et 4b).

[1] *Anatexie : processus par lequel des roches du métamorphisme général, soumises à des températures de plus en plus fortes, subissent une fusion*



Cercle rouge : localisation de la zone d'étude

Figure 3 : Géologie et situation des principaux gisements et districts Pb-Zn du Massif Central
(extrait de Stolojan et Viland 1991)

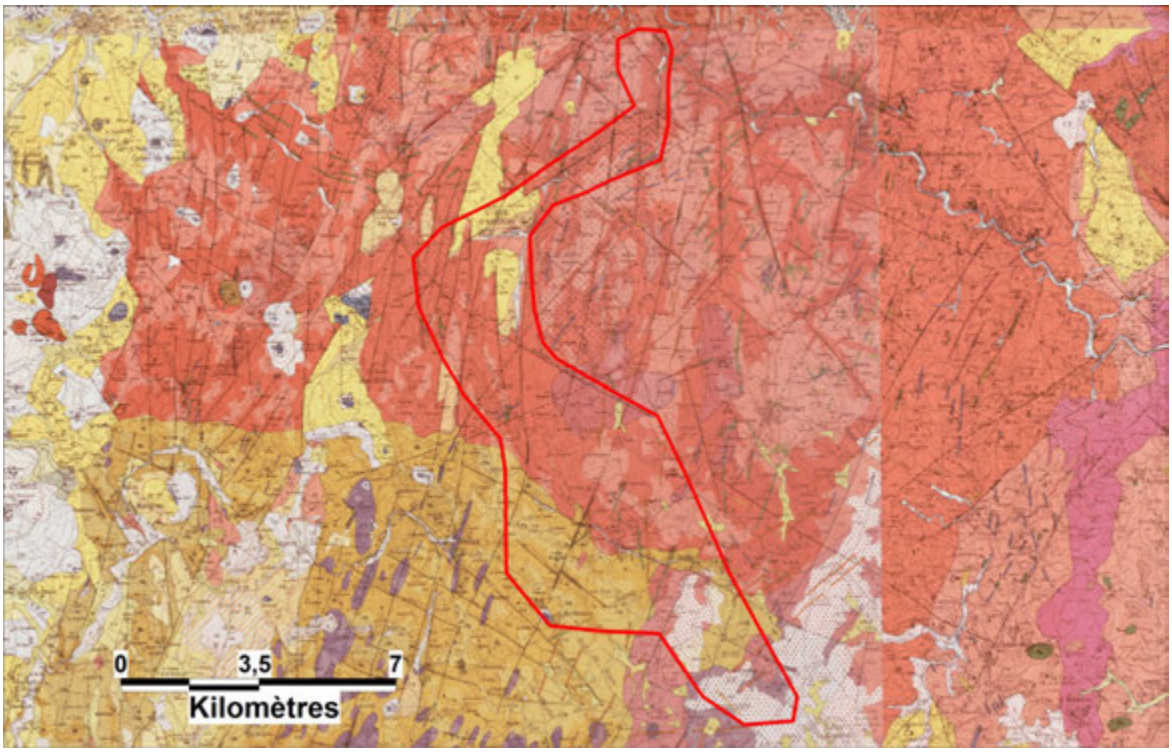


Figure 4 a: Contexte géologique de la zone d'étude (contours rouges)

Figure 4b : Légende de la figure 4a (feuille d'Issoire ; source infoterre)

2.2.3 Les contextes hydrologique et hydrogéologique

2.2.3.1 Le contexte hydrologique

La zone d'étude, située entre St-Eloy-la-Glacière et la retenue du Miodet, présente un réseau hydrographique assez dense (figure 5). Elle est traversée du sud au nord par le ruisseau du Miodet, affluent de la rivière la Dore qui coule à une quinzaine de kilomètres à l'est d'Auzelles. Entre Auzelles et Sauviat, le Miodet reçoit lui-même plusieurs ruisseaux tels que le ruisseau de Lagas ou le ruisseau des Martinanches. Il prend sa source dans les Monts du Livradois au niveau de la commune de St-Eloy-la-Glacière et draine un bassin versant de 102 km^2. Il passe au pied des tas de résidus miniers du site d'Auzelles (zone de dépôt de la Molette). Il rejoint à une quinzaine de kilomètres en aval, la retenue du Miodet. Les divers phénomènes d'érosion sur le milieu naturel et les dépôts de résidus miniers impactent fortement le lit du ruisseau et la retenue qui connaissent un ensablement important.

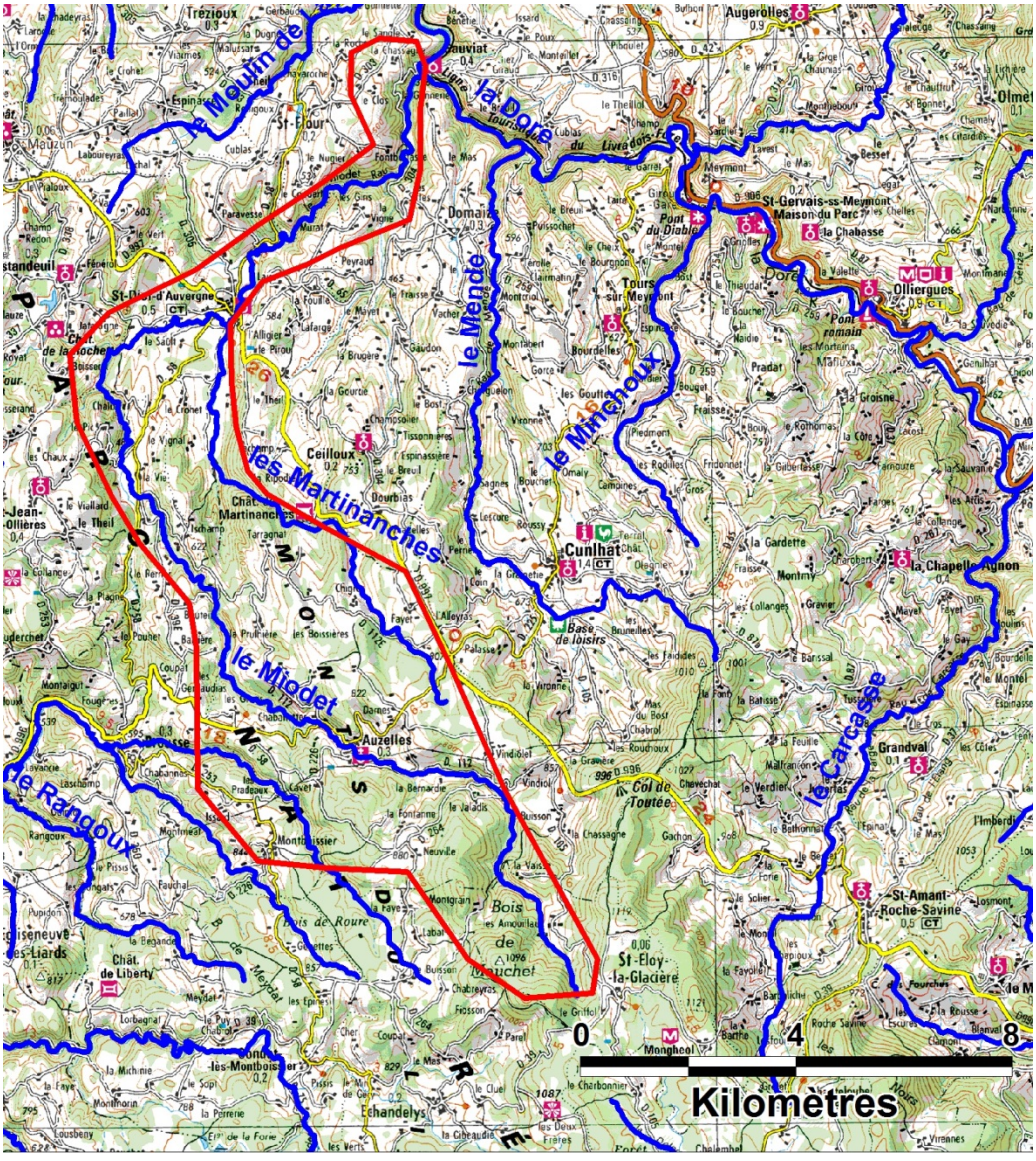


Figure 5 : Contexte hydrologique de la zone d'étude (contours rouges)

2.2.3.2 Le contexte hydrogéologique

Le secteur étudié est situé dans la partie occidentale du massif du Livradois. Le socle forme le soubassement de la région et remonte à plus de 1100 m d'altitude vers St-Eloy-la-Glaciaire.

Comme cela a déjà été mentionné précédemment (cf. 2.2.2), la zone concerne un contact majeur entre les unités granitiques qui s'étendent au nord et à l'est et des terrains métamorphiques. La combinaison de mouvements tectoniques créant une fracturation SO-NE et NO-SE et de phénomènes d'altération affectant ces formations postérieurement à leur mise en place, favorisent la constitution de niveaux aquifères.

Les eaux souterraines sont présentes dans trois types de compartiments hydrogéologiques :

- les horizons altérés meubles (altérites),
- les horizons altérés fissurés,
- le socle non altéré.

Les horizons altérés meubles

Tous les types de formations du socle subissent des processus d'altération conduisant à la décomposition de la roche originelle. Pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur dans les secteurs de faible déclivité, les altérites sont souvent absentes dans les zones escarpées.

Vers St-Eloy-la-Glacière, ces formations sont cartographiées sur la carte géologique à 1/50 000 d'Issoire sous l'appellation « nappe de blocs ».

La perméabilité des altérites est relativement faible du fait de leur composition argilo-sableuse. Elles présentent cependant d'importantes capacités d'emmagasinement d'eau souterraine.

Les eaux météoriques, qui s'infiltrent dans les altérites, forment des nappes qui circulent suivant la pente topographique. Généralement peu étendues, ces nappes s'écoulent naturellement par de multiples sources qui apparaissent au pied des ruptures de pentes témoignant d'un changement de lithologie et/ou de granulométrie de la roche (filon de roche dure, faille argilisée…).

Les horizons altérés fissurés

Un horizon altéré fissuré peut se développer entre les altérites et le socle « sain ». Il résulte de l'éclatement de la roche originelle sous l'effet de l'augmentation de volume de certains minéraux lors de leur altération (biotite en particulier). La densité des fissures ainsi créées décroit avec la profondeur.

Lorsqu'elles sont interconnectées, ces fissures permettent à cet horizon d'assurer le stockage de l'eau souterraine. La porosité de l'horizon fissuré est faible mais elle reste néanmoins significative.

Les nappes présentes dans les horizons altérés sont usuellement captées pour des usages domestiques (arrosage de jardins…) ou pour l'alimentation en eau potable des communes. Les débits, faibles, sont en moyenne de l'ordre de 1,3 l/s. Il existe souvent une grande variabilité dans les débits mesurés en hautes et basses eaux, certaines sources pouvant même se tarir à l'étiage.

Dans certains secteurs toutefois, les débits sont moins irréguliers et peuvent atteindre 10 l/s en hautes eaux. Ces aspects sont caractéristiques des sources collectant des eaux souterraines d'horizons altérés ainsi que des eaux circulant dans des fractures tectoniques ouvertes qui permettent d'avoir une aire d'alimentation plus conséquente que le simple bassin versant topographique.

Les températures de l'eau sont souvent reliées aux saisons ce qui atteste d'aquifères peu profonds.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux souterraines sont typiques des eaux ayant circulées dans des formations du socle : elles ont un pH toujours acide (jusqu'à 5,4 unités pH pour des captages d'Echandelys par exemple) et sont agressives. Leurs conductivités sont habituellement faibles (de l'ordre de 40 à 80 µS/cm) traduisant un temps de contact de l'eau avec la roche réservoir plutôt réduit.

Les minéralisations métalliques présentes dans les fractures et les filons apportent des éléments susceptibles d'altérer la qualité des eaux pour la consommation humaine. Il s'agit en particulier de l'arsenic qui est souvent mesuré à des teneurs supérieures au seuil de potabilité de 10 µg/l (annexe I de l'arrêté du 11-01-2007).

L'absence de couverture imperméable et la faible profondeur des aquifères rendent ces ressources relativement vulnérables aux pollutions anthropiques. Ces dernières sont toutefois limitées compte-tenu de l'occupation des sols (couvert forestier important). Des contaminations bactériologiques fécales liées au pacage du bétail et des teneurs en nitrates supérieures au bruit de fond naturel sont parfois détectées dans certains captages.

Les épisodes pluvieux intenses peuvent également provoquer une dégradation de la qualité de l'eau captée : augmentation importante de la turbidité de l'eau par exemple.

Le socle non altéré.

Il peut présenter localement des perméabilités élevées au droit des fractures d'origine tectonique indépendantes des phénomènes d'altération.

Les capacités de stockage d'eau souterraine profonde du socle dépendent du degré d'ouverture des fractures et du degré de connexion avec les horizons altérés. Ces capacités de stockage restent toutefois faibles à l'échelle d'un massif.

2.2.4 Le contexte environnemental

La zone d'étude se caractérise par une faible urbanisation (faible densité de population et d'habitations), englobant deux villages principaux qui sont Auzelles (337 ha pour 10,1 habitants/km² ; INSEE, 2009) et St-Dier-d'Auvergne (577 ha pour 28,6 habitants/Km² ; INSEE, 2009). Elle est surtout constituée de praires et de zones de forêts. Sur le site de la Molette, la végétation reste rare sur les dépôts de résidus miniers (absence de matière organique, dépôt raviné et très pentu). Sur certains secteurs on peut malgré tout observer quelques pins ou quelques bouleaux. Les zones limitrophes au ruisseau du Miodet sont quant à elles bien végétalisées.

2.2.5 Le contexte foncier

La parcelle cadastrale principale recoupant la zone de dépôt de la Mollette est la BC40 (figure 6). Elle appartient à un particulier. Afin de préserver le site, une convention a été établie entre le propriétaire et le Parc naturel du Livradois-Forez pour la gestion de cette parcelle.

Figure 6 : Parcelles cadastrales du secteur de la Molette (extrait de Geoportail)

2.2.6 L'exploitation minière

Les données ont été, pour l'essentiel, tirées de l'étude historique effectuée au niveau des archives minières. Elles ont notamment apporté des informations sur la minéralisation, sur les méthodes de traitement du minerai, ou encore sur le stockage des résidus miniers et la géométrie des bassins destinés à clarifier les eaux issues de la laverie avant rejet dans le milieu naturel.

2.2.6.1 Le contexte du gisement et de la minéralisation

Le gisement appartient à la bande métallifère orientée N° 30-E qui traverse la partie est du Puy de Dôme, de la région de Jumeaux aux environs du Puy de Montoncel. Cette bande à une longueur de l'ordre de 70 km et une largeur de 10 à 12 km. Plusieurs concessions y ont été instituées (la Brugère, St-Amand-Roche-Savine, Olliègues ,Auzelles, Montnebout et Sagnes).

La zone minéralisée d'Auzelles est constituée par plusieurs filons de puissance, d'orientation et de pendages variables, inclus dans des granites et granulites souvent kaolinitisés.

Les archives consultées signalent trois formes de minéralisations sur le gisement d'Auzelles :

- une minéralisation en amas et veines de galène dans une brèche siliceuse contenant des cavités géodiques à quartz ou à calcite
- une minéralisation rubanée constituée de veines de galène finement cristallisée dans un quartz laiteux à cavités géodiques
- une minéralisation constituée de fines mouches de galène, chalcopyrite et pyrite dans un quartz plus compact.

La blende est également signalée mais en plus faible proportion. Il en va de même pour le mispickel et la cérusite. La calcite et l'ankérite sont très abondantes dans les gangues. La barytine est absente.

Un procès-verbal de visite de 1873 mentionne des travaux qui portent sur un filon dirigé N 40°-E et plongeant de 40° vers l'Est. Le filon est encaissé dans un granite à grains durs et affleure sur les deux rives du ruisseau du Miodet, près du hameau de la Molette. La partie la plus riche du filon semble limitée par deux coupures orientées S 40°-E plongeant au nord. Elle fournit de la galène à gros grains sur 40 m à partir du Nord jusqu'à un filon croiseur contenant du quartz et de la pyrite et également orienté S 40°-E.

2.2.6.2 L'exploitation

Les travaux d'exploitation ont été concentrés au quartier de la Molette (figure 7) sur la rive gauche du ruisseau du Miodet où se trouvent deux filons. Le filon n° 1 a été activement exploité jusque vers 1900 et a donné un tonnage total de minerai assez important (de l'ordre de 10 000 t de minerai lavé à 60 % de plomb). Le filon n° 2 n'a été que peu exploité.

Un procès-verbal de visite de 1886 mentionne que l'extraction se faisait au moyen d'une cage guidée mise en mouvement par une machine à vapeur qui actionnait aussi une pompe d'épuisement. La machine à vapeur était alimentée par de la houille avec une consommation de 10 à 11 t par mois. La houille utilisée venait de St Etienne. L'emplacement du stock de houille sur le site n'est pas spécifié. Le minerai sortait de la mine par une galerie située au niveau 27 et les eaux étaient évacuées par une galerie située au niveau 50.

Un autre procès-verbal de visite de 1873 indique que, dans les dépilages, on était obligé à cause de la dissémination du minerai, d'extraire la plus grande partie de la roche abattue avec un recours à la réalisation de chambres d'emprunt de matériaux pour le remblayage des vides.

En moyenne, étaient extraits de la mine 1400 wagonnets par mois d'un quart de m^3 dont 460 seulement étaient chargés de minerai. Le reste allait au tas de stériles. Le minerai fourni par le troisième étage était monté au sortir du travers banc par un plan incliné. Les wagons y étaient remontés par une roue qui recevait l'eau du dernier bassin d'épuration de la laverie.

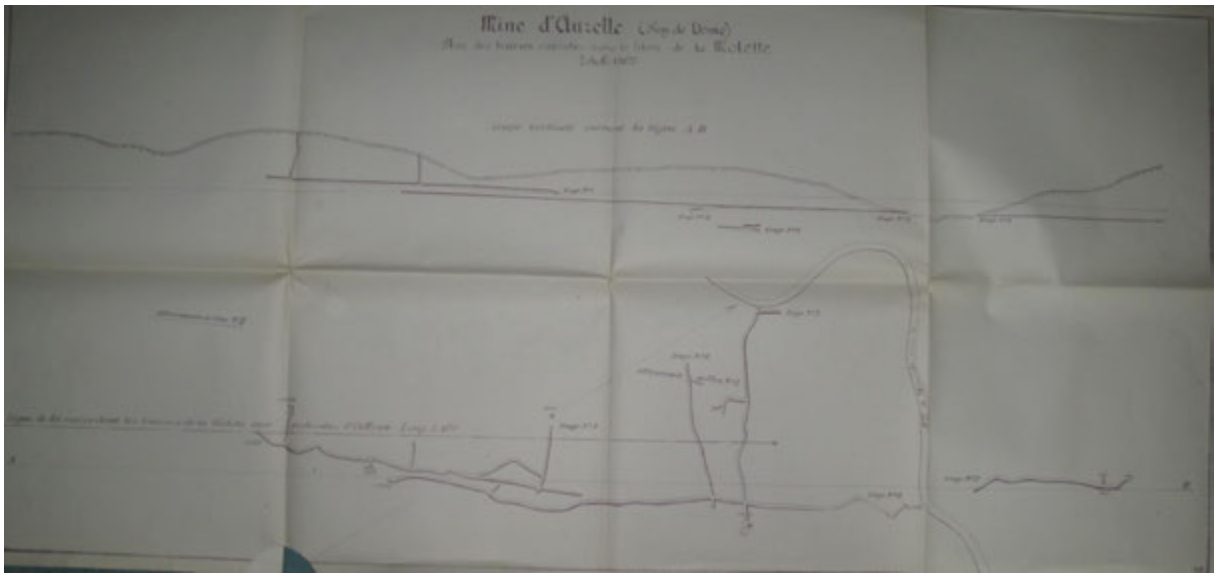
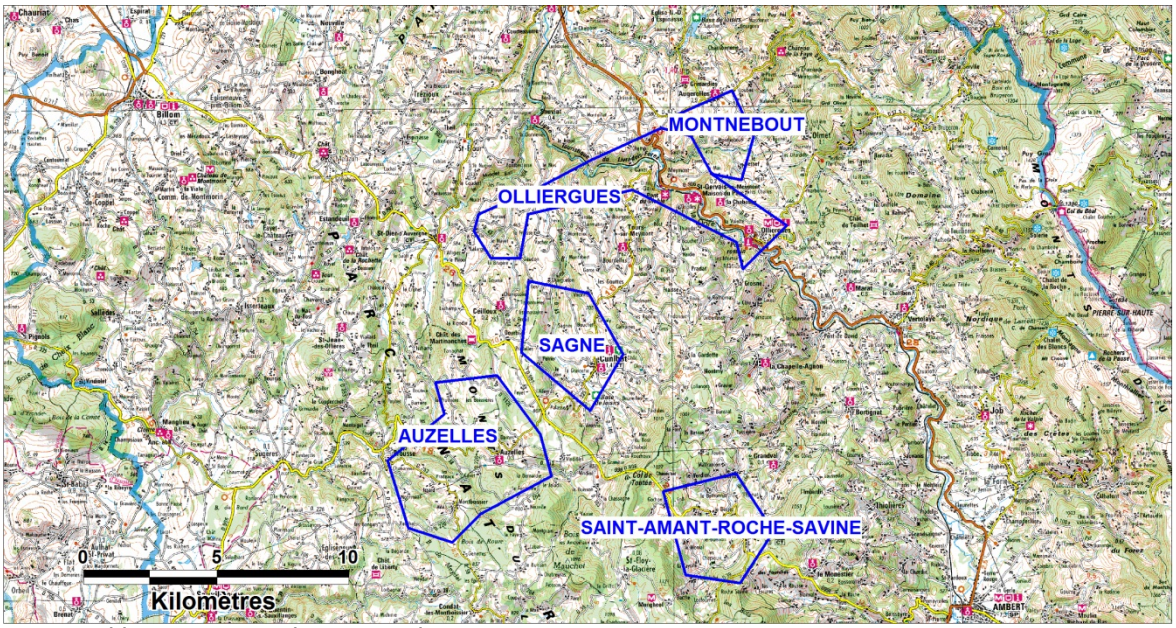


Figure 7 : Plan d'archive montrant une partie des travaux exécutés dans le filon de la Molette

2.2.6.3 L'historique minier

La concession d'Auzelles a été octroyée par Décret Impérial du **26/06/1869**. Les contours de cette concession sont indiqués sur la figure 8.



Contours bleus : contours des concessions

Figure 8: Localisation de la concession d'Auzelles

Entre 1873 et 1876, 200 à 300 t de minerai lavé à 55 % de plomb sont produits annuellement. Un document de 1873 donne un total de 71 à 76 personnes travaillant à la mine dont 38 ouvriers en souterrain. La production de l'année 1873 s'élevait à environ 220 t de grenaille, schlich et schlamm, à en moyenne 55 % de plomb et 900 g d'argent à la tonne. Le minerai était vendu à la Société des Mines et Fonderies de Pontgibaud.

En 1876, l'activité de la mine décline de manière importante. L'emprise géographique de cette dernière est alors augmentée.

A partir de 1884 la mine connaît un net regain d'activité avec la Société des Mines et Fonderies de Pontgibaud. Le puits St Robert (figure 9) a été creusé en 1887 et 5 niveaux (18, 33, 45, 67 et 86) furent équipés pour l'exploitation. Ce puits a été foncé jusqu'à 108 m de profondeur pour exploiter presque exclusivement le filon n° 1, les tentatives pour exploiter le filon n°2 ayant échoué. Au 5ème étage un travers banc de 85 m a recoupé le filon qui a été suivi sur environ 45 m vers le sud sans trouver de minerai. La production annuelle était de 400 à 500 t de minerai lavé et a atteint un maximum en 1894 avec 683 t alors qu'un sixième niveau était mis en exploitation. Un document d'archive de 1892 mentionne 66 ouvriers travaillant sur la mine.

Figure 9 : Plan d'archive montrant les travaux miniers souterrains avec le puits St Robert
(plan daté de 1935)

La production s'est poursuivie **jusqu'en 1901** avec une moyenne de 300 t de production annuelle. Un procès-verbal de visite de 1886 indique une production mensuelle d'environ 20 t qui comprend trois catégories : les grenailles (entre 3 et 4 mm) dans la proportion de 1/5, des schlichs (entre 2 et 1 mm) dans la proportion de 7/15 et des schlamms dans la proportion de 1/3. Les grenailles contenaient de 48 à 50 % de plomb, les schlichs 70 % et les schlamms 69 %.

L'approfondissement et l'éloignement des chantiers, d'importantes venues d'eau et les dimensions restreintes des zones exploitables ont conduit la société à abandonner les travaux le **30 juin 1901**. Un procès-verbal daté du 14 juin 1901 relate une venue d'eau très importante, environ 600 l/mn après de fortes pluies.

Un procès-verbal de visite daté du 23 aout 1901 mentionne que, suite à l'arrêt des travaux au puits St. Robert, l'eau avait déjà envahi les galeries inférieures et que son niveau avait atteint le 4ème étage de l'exploitation. Toujours selon ce document, il était prévu que le niveau d'eau continuerait à s'élever jusqu'au 3ème étage de l'exploitation (figure 7) et que par ce niveau l'eau s'écoulerait naturellement dans le ruisseau du Miodet. Par ailleurs, il apparaît que suite à l'arrêt des travaux du puits St Robert, une équipe de 12 ouvriers a été chargée de réaliser des recherches à environs 700 m au SW de ce puits. Ces travaux correspondent au secteur de la « Fouille ». Ils consistent en deux galeries à flanc de coteau (galeries n° 1 et n° 2 ; figure 10) sur l'affleurement du filon n°1. L'ensemble de ces travaux a fourni 38t de minerai brut ayant donné 2t400 de minerai de fonderie.

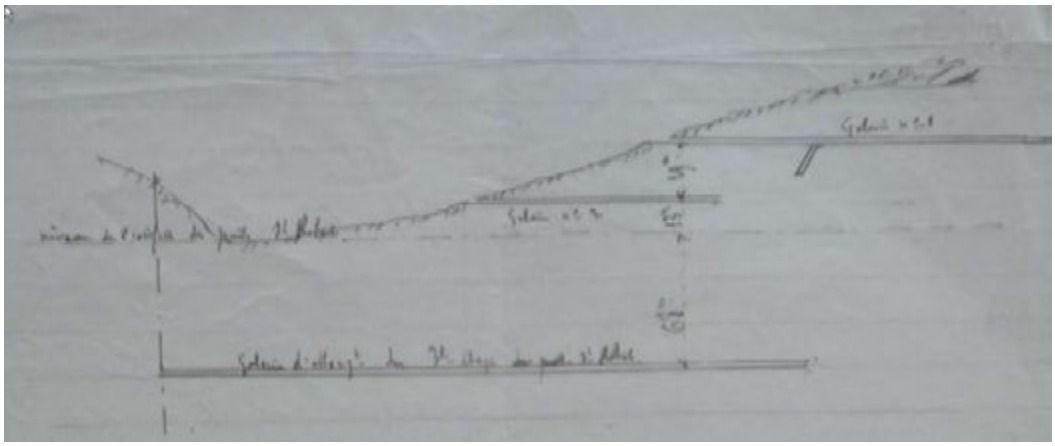


Figure 10 : Schéma des travaux du secteur de la Fouille mentionnés dans le procès-verbal du 23 août 1901.

De 1918 à 1921, d'autres travaux (travaux de recherches) sont entrepris par la Société des Forges et Hauts Fourneaux de Pont à Mousson au niveau des sites de la Fouille et d'Ailloux sans toutefois aboutir à la découverte de minéralisations suffisamment importantes pour être exploitées. Des puits furent également creusés dans le secteur des fermes de Laire, Champs Martin et Fauchal.

En 1938 un arrêté ministériel prononce le retrait de la concession. Cette dernière est mise en adjudication publique en 1939. La concession devient propriété de l'Etat du fait de l'adjudication infructueuse. La concession est annulée par arrêté ministériel en **1960**.

La même année, des prospections de surface sont effectuées sur le secteur par le BRGM. **En 1962**, des travaux de reconnaissance sont effectués sans succès sur le site de Chalus (2 puits et 2 travers bancs). Deux galeries de recherche sont par ailleurs ré-ouvertes (l'une à la Fouille et l'autre à Ailloux) mais, là encore, sans succès. Les recherches sont abandonnées en **1963**.

A noter **qu'en 1983** est attribué un PER à la société SNEA-P pour uranium et autres métaux radioactifs et substances connexes. Il sera renouvelé jusqu'en octobre 1992 et aura permis la découverte du gîte du Buisson et d'indices voisins.

2.2.6.4 La laverie et les bassins

L'examen des archives minières indique que le minerai extrait à Auzelles ne subissait qu'un traitement physique. Le minerai amené à la laverie était toujours accompagné d'une gangue argileuse très abondante. Il est signalé que l'atelier de préparation mécanique traitait 2,5 m^3 de terrain par tonne de minerai bon à fondre.

Une description de l'atelier de traitement est donnée dans un procès-verbal de visite de 1873. L'atelier comprenait à cette époque une paire de broyeurs, un débourbeur, des cribles à secousses mus mécaniquement, 6 caisses jumelles (dont 2 pour les broyeurs), 1 table conique, 3 round-buddles. Le mouvement était assuré par 3 roues hydrauliques, d'une force totale de 25 chevaux. Un autre texte mentionne quant à lui une roue de 10 m de diamètre avec une couronne de 1 m de large et quatre autres roues dont la puissance variait de 1 à 7 chevaux et qui, selon ce document, étaient utilisées « *pour le service des remblais et pour différents usages* ».

Une description précise du traitement est fournie par les archives. Ce dernier s'avérait complexe et les pertes supposées importantes par suite de la nécessité de broyer très finement.

Le minerai extrait était renversé sur une grille dont les barreaux étaient espacés de 0.10 m. La fraction la plus grossière était cassée à la massette et réinjectée au niveau de la grille. Seuls quelques morceaux massifs étaient éliminés. Les fines ayant traversés la grille étaient dirigées vers un trommel en tôle percée de trous de 0.02 m environ. La fraction grossière allait aux broyeurs. Le menu descendait sur un crible débourbeur formé d'une toile métallique à mailles de 0.005 m environ. La grenaille était traitée sur 2 cribles à secousses. Le sable, que les eaux déposaient dans un bassin au sortir du débourbeur, était traité sur 2 autres cribles à secousses.

D'après les documents d'archives consultés, il existait sur le site un système de 5 grands bassins d'épuration et de clarification des eaux issues de la laverie. Un plan d'archive a été retrouvé précisant l'emplacement de la zone de bassin (figure 11). Ces bassins présentaient une surface totale de 1143 m^2 et une contenance de 2634 m^3. Une profondeur de 3.5 m est mentionnée pour l'un des bassins (sans préciser lequel). Ces bassins étaient construits le long du Miodet. Ils en étaient isolés par un mur de 2 à 2.60 m de haut, épais de 0.80 m au sommet et de 1.20 m à la base et garnis de terre sur une épaisseur allant de 3 m à 2 m. Le dernier des bassins était initialement censé alimenter une roue hydraulique qui permettait de remonter les wagons du 3eme étage de la mine au niveau de la laverie.

Figure 11 : Plan minier indiquant la zone d'anciens bassins (plan daté de 1863)

Des documents d'archives datés de 1877, relatent des plaintes des habitants d'Auzelles concernant les eaux issues de la laverie qui troublaient celles du Miodet. Ces documents mentionnent aussi que les eaux issues des opérations de lavage, après être passées dans les bassins destinés à les clarifier, présentaient un aspect laiteux très prononcé.

Une des raisons avancées pour expliquer cet état de fait est que les bassins étaient presque totalement remplis par les boues de décantation issues du traitement. C'était le cas notamment du premier bassin dans lequel il est signalé que l'on y jetait même les sables provenant des lavoirs destinés à séparer le minerai de la roche broyée (buddles).

L'autre explication avancée, beaucoup plus probable, est que les eaux du 4ème bassin ne passaient pas toujours dans le 5ème et allaient directement se jeter dans le ruisseau du Miodet. Il semble que le 5ème bassin se situait en effet à un niveau trop bas pour donner suffisamment de charge à la roue hydraulique desservant le plan incliné sur lequel remontaient les wagons pleins (wagons sortant du niveau inférieur de la mine). Le canal d'amenée prenait alors ses eaux dans le 4ème bassin dont le niveau était suffisamment élevé pour créer la chute nécessaire. Au moment du fonctionnement de la roue, les eaux prises dans le 4ème bassin s'écoulaient donc directement dans le ruisseau. Toujours selon le rapport de 1877, il apparaît également que la vanne placée à l'origine du canal d'amenée des eaux et que l'on ouvrait seulement pour actionner la roue ne fermait pas hermétiquement, ce qui avait pour conséquence de laisser passer une assez grande quantité d'eau directement dans le ruisseau.

Pour remédier à ce problème de bassins, le document stipule que les exploitants avaient l'intention d'augmenter de 2 m la hauteur des bassins et de rétablir ainsi leur capacité de stockage initiale. Cette surélévation aurait aussi pour effet de créer une chute plus importante avec les eaux du 5ème bassin.

2.2.6.5 Les dépôts liés aux résidus miniers

A la lecture des archives minières (rapport du Garde-mines de 1877) il apparaît que les déblais de la mine étaient déposés à proximité du ruisseau, la base de leur talus arrivant très près du lit du cours d'eau.

Un document daté de 1873 précise que : « *les sables et boues provenant de l'atelier de lavage étaient entassés en cavaliers de 8 à 10 m de hauteur dont le pied était à 2 m seulement au-dessus du ruisseau et au bord même de celui-ci ».*

Le ruisseau était apparemment protégé localement par un mur de soutènement de 23 m de long et de 4 m de hauteur ainsi que par des étais et du bois de garnissage. Le rapport de 1877 stipule toutefois que de chaque côté du mur, les résidus miniers risquaient d'être entraînés dans le lit du ruisseau sous l'influence des pluies torrentielles. Il précise néanmoins que ces décharges ne se feraient qu'en faible quantité, sans danger pour les populations riveraines.

Il semble, toujours d'après ce rapport, qu'une balustrade en bois ait été installée pour empêcher le déchargement des wagons en ces points vulnérables et que les déblais miniers étaient déversés à une plus grande distance du ruisseau. Enfin le rapport mentionne le projet de l'exploitant de détourner le Miodet en le décalant sur la rive droite de manière à pouvoir élargir la rive gauche. Cette dernière pourrait alors recevoir l'ensemble des déblais de la mine et des résidus issus de la laverie. Par ce biais, il serait aussi possible de construire de nouveaux bassins destinés à clarifier les eaux issues du traitement du minerai avant son rejet dans le Miodet.

A noter que le rapport du Garde-mines de 1877 mentionne une lettre au préfet du Puy de Dôme indiquant, selon les déclarations du maire d'Auzelles, que les exploitants de la mine d'Auzelles n'exécutaient pas les prescriptions de l'arrêté préfectoral les autorisant à occuper temporairement deux parcelles de terrain pour déposer les matières stériles provenant de l'exploitation. Ces prescriptions stipulent qu'il est interdit au concessionnaire de jeter dans le lit du ruisseau du Miodet les déblais provenant de l'exploitation et de troubler les eaux de ce ruisseau.

Les dépôts miniers de résidus de traitement de la zone de la Molette sont aujourd'hui encore facilement observables dans le paysage en contrebas de la D996. Ils sont disposés en bordure du Miodet et présentent un volume estimé à environ 100 000 à 150 000 m^3 (annexe 4). En 2009, ils ont fait l'objet de quelques mesures de surface réalisées avec un appareil portatif de fluorescence X (NITON® ; GEODERIS, 2010). Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

SITE	N°PT	Sb	Sn	Ag	Rb	Pb	As	Zn	Cu
Auzelles	1	< LOD	< LOD	24	133	16406	672	1106	< LOD
Auzelles	2	< LOD	< LOD	< LOD	126	8294	292	187	< LOD
Auzelles	3	110	< LOD	24	121	10684	710	380	< LOD
Auzelles	4	< LOD	< LOD	< LOD	140	13313	257	290	< LOD
Auzelles	5	< LOD	< LOD	< LOD	113	5776	< LOD	687	< LOD
Auzelles	6	128	< LOD	< LOD	132	5180	492	5350	< LOD
Auzelles	7	< LOD	< LOD	< LOD	137	6780	215	798	< LOD
Auzelles	8	< LOD	< LOD	< LOD	155	9786	257	2028	< LOD
Auzelles	9	< LOD	< LOD	< LOD	64	82	76	104	< LOD
Auzelles	10	< LOD	< LOD	< LOD	84	82	95	138	< LOD
Auzelles	11	< LOD	< LOD	< LOD	84	2691	341	141	39
Auzelles	12	< LOD	< LOD	< LOD	101	4830	169	409	< LOD

Tableau 1 : Résultats de mesures NITON® effectuées au niveau de la zone de dépôt de la Molette lors de l'étude GEODERIS en 2010

2.2.6.6 Le dépôt de dynamite

Un rapport de l'ingénieur des mines daté de 1892 stipule que la société anonyme des mines et fonderies de Pontgibaud a été autorisée par décret du 25 juin 1891 à établir un dépôt de dynamite de 1ère catégorie sur le territoire de la commune d'Auzelles. Ce dépôt est situé à environ 75 m de la laverie et 180 m en contrebas des maisons du lieu-dit de Chabanettes.

Après vérification de la conformité du dépôt par l'administration, un projet d'arrêté préfectoral a été déposé, autorisant la mise en service de ce dépôt à la condition que des plantations végétales à croissance rapide soient effectuées sur les talus extérieurs de la levée de terre qui l'entoure.

Le dépôt était situé près du ruisseau et entièrement construit en bois. Sa superficie intérieure était d'environ 5 m^2 et il présentait une hauteur sous plafond de 2 m. Les côtés étaient constitués par une double paroi de planche de 3 cm d'épaisseur clouées sur des poteaux en bois. Ces planches laissaient entre elles un intervalle comblé de sciure de bois. Sur la face ouest s'ouvrait une double porte en menuiserie pleine. La ventilation était assurée par 4 évents fermés par une toile métallique et ouverts sur les faces nord et sud. La toiture était constituée de tuiles et les parois extérieures du bâtiment étaient recouvertes d'une couche de goudron minéral.

Pour la construction du bâtiment, le rocher a dû être entaillé sur une assez grande surface de manière à créer une plateforme. La face sud du bâtiment était de ce fait entourée par une paroi rocheuse verticale de 5.7 m de hauteur. Les autres faces étaient entourées de murs en pierres sèches d'une hauteur de 4.12 m pour la face nord. Les murs étaient renforcés par une levée de terre et l'ensemble entouré d'une clôture en bois de 2 m de hauteur.

L'accès au dépôt se faisait par une galerie d'une hauteur de 1.75 m et d'une largeur de 0.70 m. Les parois de cette dernière étaient en pierres sèches et boisées. Cette galerie présentait un angle droit et son entrée était située du côté ouest, opposé à la laverie et au lieu-dit de Chabanettes.

2.2.7 La retenue du Miodet (études EDF)

La retenue du Miodet (photo 1) est située à une quinzaine de kilomètres en aval de la zone de dépôt de la Molette. Elle est limitée au nord par le barrage de Sauviat édifié peu après l'arrêt de la mine au tout début du XXème siècle. Elle dessert une usine hydroélectrique dont le concessionnaire est Electricité de France. Cette retenue est alimentée au sud par le Miodet et au nord par la Dore prélevée en amont par un canal de dérivation (prise d'eau des Prades). Ce dernier se développe sur 2720 m en rive gauche de la Dore. La figure 12 montre que la retenue du Miodet est potentiellement soumise à l'impact des résidus miniers drainés par le Miodet (résidus miniers du site de la Molette) et par la Dore via le canal de dérivation des Prades (résidus miniers des sites miniers de Sagne et Montnebout).

Points rouges : tas de résidus miniers retenus dans le cadre de l'inventaire DDIE (GEODERIS, 2013)

Figure 12 : Sites miniers de Sagne, Montnebout et Auzelles (aval retenue du Miodet)

a)

b)

Photos 1 : Retenue du Miodet

a) : partie amont au sud : queue de retenue

b) : partie aval au nord : près du barrage

Des études EDF ont été réalisées sur les sédiments de la retenue du Miodet. Une bathymétrie a ainsi pu être effectuée après la vidange de mai 2000. Le volume de sédiments présent dans la retenue a été estimé à environ 260 000 m^3, sachant que le volume total de la retenue est de 570 000 m^3 pour une tranche utile de 120 000 m^3. Cette bathymétrie a aussi montré que les sédiments sont déposés de façon irrégulière. Leur hauteur varie entre 3 à 9 m.

Deux campagnes de prélèvement de sédiments ont été réalisées dans le cadre de ces études, l'une en 1987 et l'autre en 2007 (figure 13).

Pour la première, les prélèvements ont été effectués par carottage sur quatre points répartis sur l'ensemble de la retenue. Des échantillons ont été prélevés à différentes profondeurs jusqu'à 2.80 m.

Pour la seconde, les prélèvements ont été réalisés à la benne « Heckmann ». Il s'agit de prélèvements de surface où chaque échantillon analysé est le résultat de l'homogénéisation d'un ou plusieurs prélèvements pris sur une surface d'environ 10°m^2 de manière à obtenir suffisamment de matière pour analyse. Cinq zones de prélèvement ont été retenues (quatre réparties sur l'ensemble de la retenue et une au niveau de la prise d'eau des Prades.

Les analyses effectuées dans le cadre de la campagne de 1987 (annexe 1) ont montré une forte contamination en métaux des sédiments de la retenue (contamination particulièrement marquée pour le plomb et le chrome[2] et dans une moindre mesure pour le zinc). On observe par ailleurs une augmentation des teneurs en métaux avec la profondeur. Une comparaison des résultats d'analyses issus des deux campagnes indique, sur des échantillons de surface, qu'il existe une décroissance entre 1987 et 2007 (annexe 1) des teneurs en plomb, zinc et cadmium beaucoup plus marquée pour les prélèvements effectués dans la partie nord de la retenue que pour ceux réalisés dans la partie sud. Cette observation tend à indiquer qu'il existe un apport toujours actif de ces éléments par le Miodet au sud de la retenue.

[2] *Le chrome n'a pas été retenu dans la liste des substances considérées dans la présente étude. En effet, les analyses chimiques effectuées dans le cadre de cette dernière au niveau des résidus miniers de la Molette et des sédiments du Miodet en aval des résidus montrent des teneurs en chrome qui restent globalement faibles, indiquant que la zone de la Molette ne constitue pas une source fortement génératrice de cet élément.*

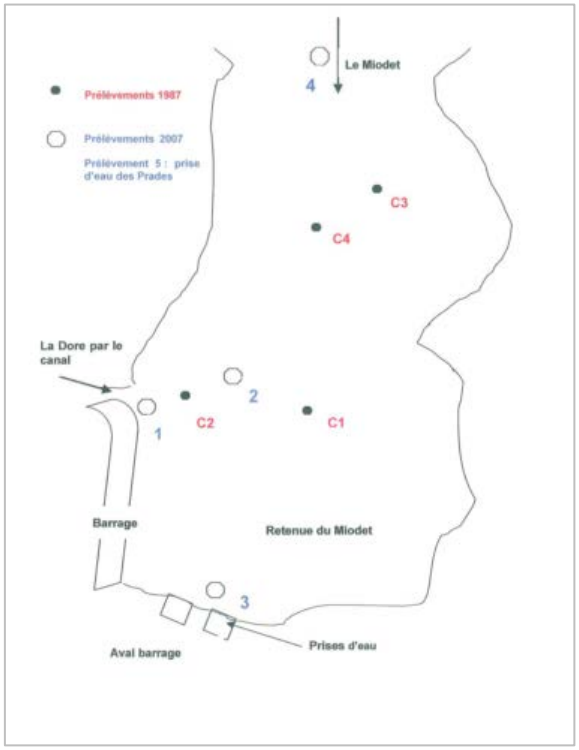


Figure 13 : Extrait de l'étude EDF ; position des prélèvements de sédiments effectués lors des campagnes de 1987 et de 2007

3 ETAT ACTUEL DU SITE MINIER

L'essentiel des restes de l'ancien site minier sont situés au niveau du quartier de la Molette (galerie ; résurgence minière ; restes de bâtiments, de bassins et de canaux ; vestiges de murs en pierre situés en bordure du Miodet). On retrouve également les tas de résidus miniers issus de l'exploitation et du traitement (volume estimé de 100 000 m^3 à 150 000 m^3 ; photos 2).

Photos 2 : Quelques illustrations photographiques des dépôts de résidus de traitement de la zone de la Molette

4 SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION, USAGES ET ENJEUX IDENTIFIES

4.1 Sources potentielles de pollution

Plusieurs sources potentielles de pollution liées à l'ancienne activité minière de la mine d'Auzelles ont été retenues :

Sources primaires

- Les dépôts de matériaux solides liés à l'extraction et au traitement du minerai (tas de stériles de creusement ou de résidus de traitement ; anciens bassins) ; les sols situés à proximité des dépôts,
- L'aquifère minier.

Sources secondaires

- Les eaux du ruisseau du Miodet en aval des résidus miniers et dont la qualité est affectée par ces derniers et/ou par les eaux issues de l'aquifère minier,
- Les sols situés en bordure du Miodet en aval des résidus miniers et qui sont contaminés par ces derniers,
- Les sédiments déposés dans le Miodet en aval des résidus miniers et dont la qualité est affectée par ces derniers et/ou les eaux issues de l'aquifère minier,
- Les végétaux (potagers et herbes de prairie) ayant poussés sur les sols contaminés par les résidus miniers et/ou qui ont été arrosés avec des eaux contaminées.

Au regard des informations relatives au gisement retrouvées lors de l'étude historique et documentaire, les métaux susceptibles d'être présents au niveau des sources de pollution sont principalement le plomb, le zinc, le cuivre, l'argent, l'arsenic et l'antimoine. Par ailleurs, l'usage du charbon durant l'exploitation de la mine pourrait potentiellement conduire à la présence de certaines substances organiques susceptibles d'être aujourd'hui présentes notamment dans les sols ou les sédiments.

Comme cela a été signalé précédemment (cf. 1.2), l'identification et la caractérisation des sources primaires de pollution ont été axées sur la zone de la Molette qui constituait le quartier d'exploitation le plus important de la mine d'Auzelles et qui incluait toutes les opérations de préparation (broyage-lavage) et de concentration du minerai. En dehors des prélèvements et analyses destinées à l'évaluation des environnements locaux témoins, l'étude a par ailleurs été ciblée sur le seul ruisseau du Miodet qui représente le principal vecteur de transfert de la pollution entre le site de la Molette et la retenue du Miodet.

4.2 Usages et enjeux

4.2.1 L'habitat

L'environnement immédiat du site de la Molette ainsi que celui du Miodet entre la Molette et la retenue du Miodet reste peu urbanisé. Quelques potagers ont pu être observés tout particulièrement en bordure du Miodet. Plusieurs d'entre eux ont été ciblés pour faire l'objet de prélèvements de sols et de végétaux de manière à y mesurer les concentrations en éléments potentiellement contaminants tels que le plomb ou l'arsenic. A noter que pour plusieurs de ces potagers, il n'a pas toujours été possible d'obtenir des informations précises sur les pratiques culturales et d'arrosage.

4.2.2 Les activités industrielles

La zone d'étude proprement dite n'inclue pas de grosse structure industrielle. Comme nous l'avons déjà signalé, le bassin de la Dore comprend toutefois un nombre important d'industries qui se concentrent surtout au niveau des communes bordant la Dore et la Durolle, rivière affluent de la Dore dans la partie nord du bassin, en aval hydraulique de la zone étudiée. Viennent ensuite des industries agroalimentaires, du bois, du papier, du carton, du caoutchouc et du plastique. A ces dernières, se rajoute aussi une industrie pharmaceutique au niveau de la commune de Vertolaye (établissements SANOFI Adventis), implantée depuis 1939.

4.2.3 L'activité agricole

Au niveau des activités agricoles, on compte 165 exploitations réparties sur l'ensemble des communes recoupées par la zone d'étude (source RGA 2000). Ceci correspond à environ 6220 ha de Surface Agricole Utile (SAU). La surface de prairie est importante (figure 14) : les superficies toujours en herbe sont d'environ 5000 ha, ce qui représente 80 % de la SAU. Plusieurs de ces prairies sont situées en bordure du Miodet.

L'élevage bovin apparaît majoritaire. Un total de 3398 vaches est comptabilisé sur l'ensemble des communes (hors commune de St-Eloy-la-Glacière), avec 374 vaches sur la seule commune d'Auzelles.

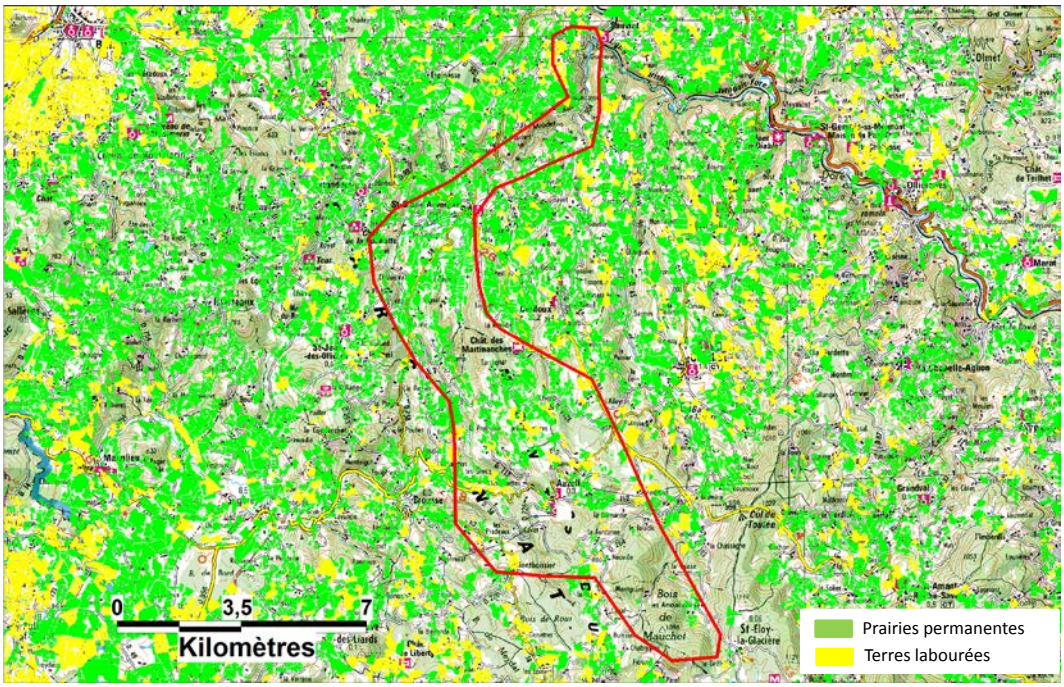


Figure 14 : Répartition des prairies permanentes et des terres labourées au niveau de la zone d'étude (polygone rouge : limite de la zone d'étude)

4.2.4 Les activités de loisirs

a) La chasse

Au vu des observations de terrain, la zone de dépôt de la Molette apparaît fréquentée par des chasseurs (présence de restes de cartouches au niveau du sol). Le document d'objectif du site Natura 2000 d'Auzelles précise qu'il y a environ 60 chasseurs sur la commune d'Auzelles.

b) La pêche

Le document d'objectif du site Natura 2000 d' Auzelles signale la présence d'environ 5 pêcheurs sur la commune d'Auzelles. La consommation des poissons pêchés dans le Miodet, de sa source jusqu'au barrage de Sauviat, est toutefois interdite par arrêté préfectoral du 10 mars 2010. Cette interdiction a été dictée par les résultats d'une étude analytique effectuée sur la chair de poissons en 2009 par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Puy-de-Dôme. En aval de la zone de dépôt de la Molette, ce travail met en évidence, pour la chair de poissons, une contamination au cadmium et au plomb supérieure aux seuils fixés par la réglementation européenne (figure 15 ; tableau 2). Les concentrations en arsenic apparaissent quant à elles plus fortes en amont qu'en aval des dépôts. Ce dernier point peut être imputé à une cause naturelle liée à la présence d'un fond géochimique marqué en arsenic au niveau du secteur d'étude.

Dans ce cadre, rappelons aussi les arrêtés préfectoraux d'interdiction de pêche de poissons en vue de la consommation, liés à la contamination des eaux de la Dore par des substances médicamenteuses (arrêtés du 23 mai 2008 et du 15 octobre 2009). La pêche de loisir est toutefois autorisée, sachant que tout poisson pêché doit être rejeté sans délai dans le cours d'eau. Cette interdiction s'applique également sur la retenue du Miodet.

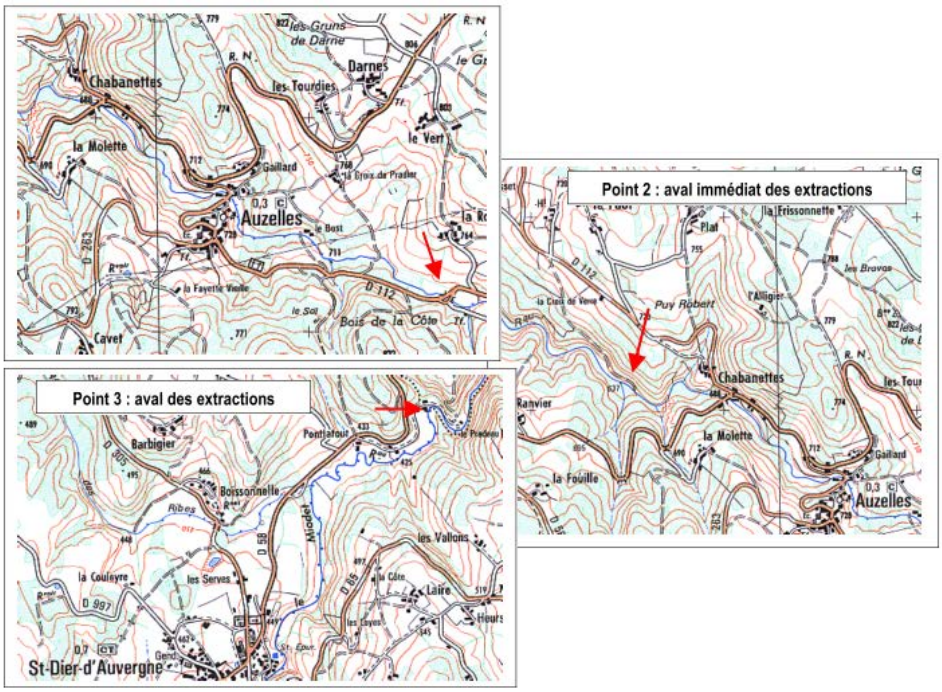


Figure 15 : Localisation des prélèvements effectués en 2009 en vue d'analyses de chair de poissons
(extrait d'une étude réalisée en 2009 par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Puy de Dôme)

Station	Arsenic	Mercure	Cadmium	Plomb	Zinc
1- amont	1,21±0,17	0,114±0,016	0,123±0,017	<0,025	7,08±1,00
2- aval terril	0,96±0,14	0,091±0,013	0,166±0,023	1,56±0,22	8,54±1,21
3- aval St-Dier d'Auvergne	0,290±0,041	0,060±0,008	0,037±0,005	0,112±0,016	8,26±1,17
Limite consommation indiquée dans le règlement européen CE n°1881/2006	Aucune norme	1	0.05	0.3	Aucune norme

L'ensemble des données est exprimées en mg/kg

Tableau 2 : Résultats des analyses de chair de poissons
(prélèvements localisés sur la figure 15 ; extrait d'une étude réalisée en 2009 par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Puy de Dôme)

c)Les randonnées et bases de loisirs

Un sentier de randonnée passe à proximité du site de la Molette (circuit de « la Croix de Pradier ») et une aire de détente a été identifiée au niveau de la zone d'étude. Il s'agit de l'aire de repos et pique-nique située à l'entrée sud-ouest de St-Dier-d'Auvergne.

d)La baignade

Aucune zone de baignade n'a pu clairement être identifiée au niveau de la zone d'étude[3].

4.2.5 Les enjeux relatifs à la qualité des eaux superficielles

Le Miodet constitue le principal cours d'eau traversant la zone d'étude. Il s'inscrit dans le périmètre du SAGE du bassin de la Dore qui s'étend sur trois départements (Puy-de-Dôme, Haute Loire et Loire). Il est situé au niveau du secteur de la Dore moyenne. Pour le bassin de la Dore, si le SAGE signale une qualité des eaux globalement bonne pour certains paramètres (nitrates, produits phytosanitaires), il mentionne en revanche une mauvaise qualité des eaux vis-à-vis des micropolluants minéraux (Cu, Zn, Ni, Cd, Cr) du fait notamment de la présence de rejets industriels (vallée de la Dore et de la Durolle) et de l'ancienne mine de plomb d'Auzelles. La qualité devient très mauvaise en aval du bassin, au niveau de la Dore à Dorat.

A noter qu'une dégradation de la qualité des eaux est également signalée en tête de bassin pour des éléments tels que le cuivre alors que les rejets industriels y sont pourtant limités.

Un autre type de dégradation concerne le rejet de substances médicamenteuses dans la Dore (en lien avec les rejets des établissements SANOFI Avantis) qui sont responsables de malformations sur les populations de poissons. Un arrêté préfectoral de 2009 interdit d'ailleurs la consommation des poissons pêchés sur une partie de la Dore. L'abreuvement des animaux d'élevage est également déconseillé. La baignade dans la Dore est par ailleurs interdite du fait d'une qualité bactériologique insuffisante. Enfin, le SAGE signale également une qualité des eaux passable vis-à-vis des HAP au niveau de toutes les stations de la Dore entre 2000 et 2005.

Les tableaux 3 et 4 listent les apports des principaux rejets industriels sur la Dore.

[3] *Pour information, la baignade dans la Dore est interdite pour des raisons sanitaires (qualité bactériologique insuffisante). Elle se pratique sur 6 plans d'eau à Arlanc, Ambert, Cunlhat, Aubusson, Chabreloche et Saint-Rémy-sur-Durolle. Des développements de cyanobactéries peuvent être observés sur certains plans d'eau et entrainant des interdictions temporaires de baignade (Ambert, Aubusson, …). En 2012, le plan d'eau de Cunhlat, situé au niveau de la zone d'étude (amont du site minier d'Auzelles) était classé en catégorie B (qualité moyenne) pour la baignade (Ministère des affaires sociales et de la santé – qualité des eaux de baignade). Aucune zone de baignade n'est mentionnée au niveau du Miodet.*

Famille	Réf	Substance	Pts de rejets	Fréquence d'apparition	Flux moyen (g/j)	Flux cumulé (g/j)
Métaux	6 - (12)	Cadmium et ses composés	5	33	0,71999947	10,79999200
	20	Plomb et ses composés	5	33	1,81067200	27,16008000
	23	Nickel et ses composés	9	60	80,54834400	1208,22516000
	(4)	Arsenic et ses composés	6	40	1,03997667	15,59965000
		Chrome et ses composés	10	67	35,99744533	539,96168000
		Cuivre et ses composés	13	87	66,19836800	992,97552000
		Zinc et ses composés	12	80	354,80994267	5322,14914000
TOTAL			**15**	**100**	**541,12474813**	**8116,87122200**
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	28	Benzo (a) Pyrène	1	7	0,00048742	0,00731136
	28	Benzo (b) Fluoranthène	2	13	0,00166138	0,02492064
	28	Benzo (g,h,i) Pérylène	3	20	0,00228480	0,03427200
	28	Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	4	27	0,00467405	0,07011072
	2 - (3)	Anthracène	2	13	0,00387269	0,05809040
	15	Fluoranthène	6	40	0,00110651	0,01659760
TOTAL	**28 - (99)**		**8**	**53**	**0,01359779**	**0,20396688**
Chlorobenzènes	(20)	Chlorobenzène	2	13	0,00391589	0,05873840
		Dichlorobenzènes (sommes des isomères)	4	27	0,03566232	0,53493480
	(54)	1,3 dichlorobenzène	3	20	0,01278912	0,19183680
	(55)	1,4 dichlorobenzène	4	27	0,02287320	0,34309800
TOTAL			**4**	**27**	**0,03957821**	**0,59367320**
Chlorotoluène	(38)	2-chlorotoluène	1	7	0,00148447	0,02226700
TOTAL		**Chlorotoluène (somme des 3 isomères)**	**1**	**7**	**0,00148447**	**0,02226700**
Benzène Toluène Ethylbenzène Xylène (BTEX)	4 - (7)	Benzène	1	7	0,00015360	0,00230400
	(79)	Ethylbenzène	3	20	0,01178560	0,17678400
	(112)	Toluène	8	53	0,81947985	12,29219780
	(129)	Xylènes (Somme o,m,p)	4	27	0,18961627	2,84424400
TOTAL			**9**	**60**	**1,02103532**	**15,31552980**
Composés organiques Halogénés Volatils (COHV)	10 - (59)	1,2 dichloroéthane	6	40	8,07778459	121,16676880
	11 - (62)	Chlorure de méthylène	6	40	11,16938787	167,54081800
	32 - (23)	Chloroforme	8	53	3,41247905	51,18718580
	(13)	Tétrachlorure de carbone	2	13	0,08168000	1,22520000
	(58)	1,1 dichloroéthane	1	7	0,00015360	0,00230400
	(60)	1,1 dichloroéthylène	1	7	0,00099840	0,01497600
	(61)	1,2 dichloroéthylène	5	33	0,22094360	3,31415400
	(110)	1,1,2,2 tétrachloroéthane	1	7	0,82212000	12,33180000
	(111)	Tétrachloroéthylène	4	27	0,05209680	0,78145200
	(119)	1,1,1 trichloroéthane	1	7	0,04243200	0,63648000
	(121)	Trichloroéthylène	6	40	0,14993240	2,24898600
TOTAL			**11**	**73**	**24,03000831**	**360,45012460**
Diphényléthers bromés		Pentabromodiphényléther	1	7	0,00000063	0,00000944
		Décabromodiphényléther	1	7	0,00000171	0,00002569
TOTAL	**5 ****		**1**	**7**	**0,00000461**	**0,00006921**
Phtalates	12	Di (2-éthylhexyl)phtalate	1	7	0,00118020	0,01770300
TOTAL			**1**	**7**	**0,00118020**	**0,01770300**
Autres composés détectés	Diphényléthers bromés	Tétrabromodiphényléther	1	7	0,00000214	0,00003215
TOTAL			**1**	**7**	**0,00000214**	**0,00003215**

Tableau 3 : Flux de substances dangereuses rejetées sur la Dore ; DRIRE 2009
(tableau extrait du SAGE rapport de diagnostic, 2010)

Substance	Débit (m3/j)	Cadmium	Plomb	Nickel	Arsenic	Chrome	Cuivre	Zinc
pts de rejets		5	5	9	6	10	13	12
Fréquence d'apparition		33	33	60	40	67	87	80
Flux moyen (g/j)		0,7200	1,8107	80,5483	1,0400	35,9974	66,1984	354,8099
Flux cumulé (g/j)		**10,8000**	**27,1601**	**1208,2252**	**15,5997**	**539,9617**	**992,9755**	**5322,1491**
ADIAMAS	8			0,1349	0,0253	1,1128		0,0506
CELTA	30	0,0150		0,3300		0,0600	45,0000	3,8400
CET du Poyet (SIVOM d'Ambert)	17			0,5100	0,1870	0,7310	0,3060	
DAPTA SAS - VALFOND	3	0,0020	0,1930	0,0547		0,0230	1,1952	1,3766
O-I (ex BSN GLASSPACK)	520			4,6786			3,1190	350,8920
PAPETERIES DE GIROUX	1156		**10,4040**		**6,9360**	5,7800	25,4320	124,8480
SANOFI AVENTIS 1 (rejet rivière Vertolaye)	11581						**162,1301**	
SANOFI AVENTIS 2 (rejet STEP)	5263	**10,0000**					**715,7898**	**831,5793**
SANOFI AVENTIS 3 (rejet Eaux Pluviales)	796				**6,3648**		11,9340	35,8020
SAPEC 1	43	0,0518	0,9072	**265,6800**		**96,7680**	6,9984	**980,6400**
SAPEC 2	49		1,0332	**610,0800**		**46,5432**	15,3996	**541,2000**
S.M.D.C.	30			34,3026		**73,7200**	1,6850	
STE FROMAGERE DU LIVRADOIS 1 (Fosse)	139				1,6704	0,8352	3,6192	27,1440
STE FROMAGERE DU LIVRADOIS 2 (Ruisseau)	24				0,4162		0,3672	2,8886
STEP de Thiers	914	0,7311	**14,6227**	**292,4544**		**314,3885**		**2421,8880**

Tableau 4 : Flux de métaux rejetés par les industries sur la Dore ; DRIRE 2009
(tableau extrait du SAGE rapport de diagnostic, 2010)

La qualité des eaux et des sédiments du Miodet est quant à elle potentiellement affectée par les restes de l'ancienne activité minière de la mine d'Auzelles et plus particulièrement par les dépôts de résidus miniers de la zone de la Molette.

Que ce soit au niveau du Miodet ou de la Dore, la mauvaise qualité des eaux et surtout des sédiments pour le Miodet va directement impacter la retenue du Miodet par accumulation des micropolluants dans cette dernière.

Au total, le Miodet respecte l'objectif de bon état chimique d'ici 2015. Toutefois, du point de vue de la qualité des milieux aquatiques, le Miodet fait partie des cours d'eau qui bénéficient d'un report d'objectifs à 2021.

4.2.6 Les enjeux relatifs à la qualité des eaux souterraines

Les résultats d'analyses d'eaux souterraines qui ont pu être collectées au niveau de la littérature existante montrent que ces eaux peuvent localement présenter des teneurs élevées en arsenic. Ces dernières dépassent souvent le seuil de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine (10 µg/l). Elles sont attribuées à une origine naturelle.

Le tableau 5 présente des résultats d'analyses réalisées sur plusieurs captages situés aux alentours de St Eloy-la-Glacière dans différents contextes géologiques. Ces captages, situés au sud et à proximité sud de la zone d'étude sont localisés sur la figure 16.

	Captage VACHERON		Captage BOYER	Captage FONTANNE		Captage CHARRIER	Captage FIOSSON
	07188X0011/S		07188X0012/S	07188X0015/S		07188X0062/352	07188X0057/346
	Auzelles		Auzelles	Auzelles		Echandelys	Echandelys
	minimum	maximum		minimum	maximum		
antimoine ((µg/l)	1	5	2,5	1	5		2,5
arsenic (µg/l)	20,5	61	33	26,2	30	100	101
cadmium (µg/l)	0,5	0,5	2,5	0,5	0,5		0,25
calcium (mg/l)	2,4	2,5	9,4	1,9	2,1		1,2
chlorures (mg/l)	2,3	2,4	14,4	2,1	2,2	3,1	1,3
fer (µg/l)	10	10	2,5	5	10		7
fluor (mg/l)	0,1	0,5	0,025	0,05	0,5		0,025
hydrogénocarbonates (mg/l)	8,54	9,76	13,4	10,98	12,2		11
magnésium (mg/l)	0,5	0,6	1,4	0,5	0,5		0,3
nitrates (mg/l)	6,1	6,2	12	2,9	3,8	9,4	1,6
potassium (mg/l)	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6		0,9
sodium (mg/l)	3,7	4,4	7,4	4,2	5		3,4
sulfates (mg/l)	2,2	3,1	6	2,5	3,4	6,2	0,8
conductivité (µS/cm)	40,9	42,3	108	39,8	54,8	69,5	29,3
pH	5,5		5,7	5,55	6,9	5,7	6
Contexte géologique	Formations métamorphiques		Formations métamorphiques et faille	granite bois de Bérot		granite de St Eloy Fournols	granite de St Eloy Fournols

Tableau 5 : Exemples de composition chimique d'eaux prélevées au niveau de captages AEP situés aux alentours de St Eloy-la-Glacière (source ADES)

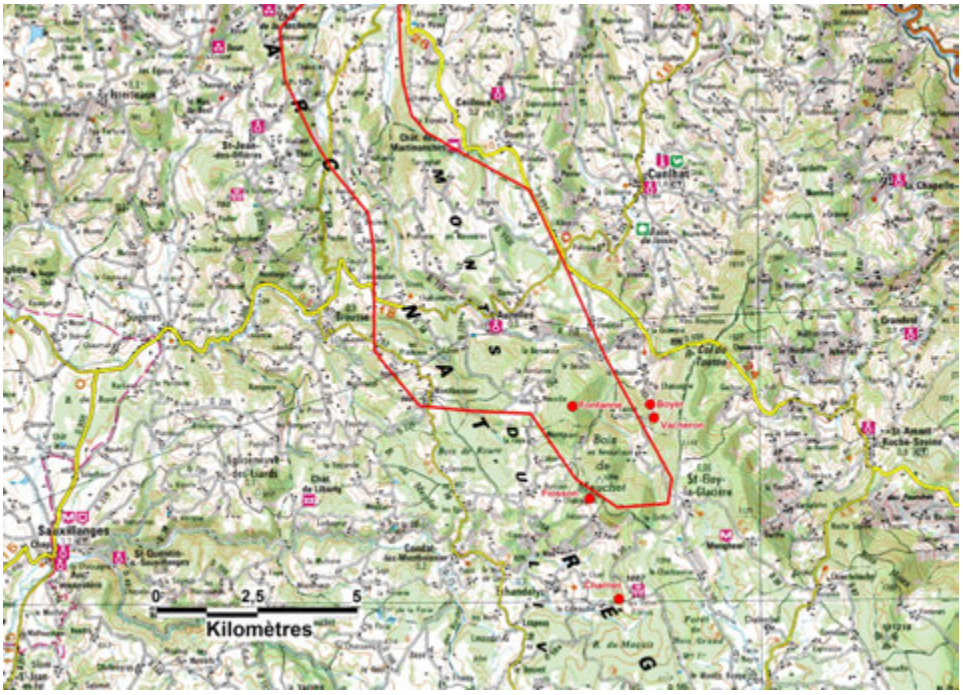


Figure 16 : Localisation des captages présentés dans le tableau 6
(polygone rouge : limites de la zone d'étude)

D'autres exemples de composition chimique d'eau souterraine (teneurs en métaux et métalloïdes) sont présentés dans le tableau 6. Ils portent sur des émergences naturelles situées entre Auzelles et St-Eloy-la-Glacière (figure 17). Ces résultats ont été extraits d'une étude BRGM réalisée en 2000-2001 par Sanjuan *et al.*

Lieu	Nom	Date	As(SAA) $_{< 0,45\ \mu m}$ µg/l	As(SAA) $_{< 0,1\ \mu m}$ µg/l	As(V) %	As(ICP/MS) µg/l	Ag µg/l	Ba µg/l	Be µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Echandélys	Tonnelier	10/10/00	105	104	100	109	< 5	< 5	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	30
	Chabreyrat	10/10/00	97	98	100	106	< 5	< 5	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	27
	Pellet	10/10/00	125	127	100	137	< 5	< 5	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	24
St Eloy La Glacière	Echallier 1	11/10/00	11	10	100	16	< 5	7	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	< 5
	Echallier 2	11/10/00	11	13	70	22	< 5	18	< 5	2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	5
	Echallier 3	11/10/00	103	106	100	122	< 5	< 5	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	36
	Echallier 4	11/10/00	42	49	100	57	< 5	7	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	7	< 5	< 2	25
Mauchet	Arbre Blanc	11/10/00	15	15	100	20	< 5	< 5	< 5	< 2	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	43

Tableau 6 : Exemples *de composition chimique d'eaux prélevées au niveau d'émergences naturelles situées entre Auzelles et St-Eloy-la-Glacière*
(source Sanjuan et al., 2001)

Figure 17 : Localisation des points de prélèvement d'eau présentés dans le tableau 7

Selon le référentiel cartographique de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, le secteur d'étude est situé à l'aplomb de la masse d'eau souterraine n° FRG143 (« Madeleine BV Allier »). Cette dernière est proposée en report d'objectif DCE pour l'atteinte du bon état chimique en 2021.

L'alimentation en eau potable s'effectue principalement à partir des eaux souterraines. La consultation des bases de données BSS et ADES ne font apparaître aucun captage destiné à l'AEP en aval proche (de l'ordre du Km) du site de dépôt de la Molette.

La plupart des captages sont situés à l'est et au sud-est de la concession d'Auzelles (figure 18). Le Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable (SIAEP) du Bas-Livradois exploite près d'une trentaine de captages gravitaires de sources sur les communes d'Auzelles, Echandelys et St-Eloy-la-Glaciaire. Le SIAEP du Bas-Livradois alimente une quinzaine de communes en eau potable. Dans la mesure où les eaux souterraines peuvent présenter localement des teneurs naturellement élevées en arsenic, l'eau est traitée contre ce polluant potentiel, avant distribution.

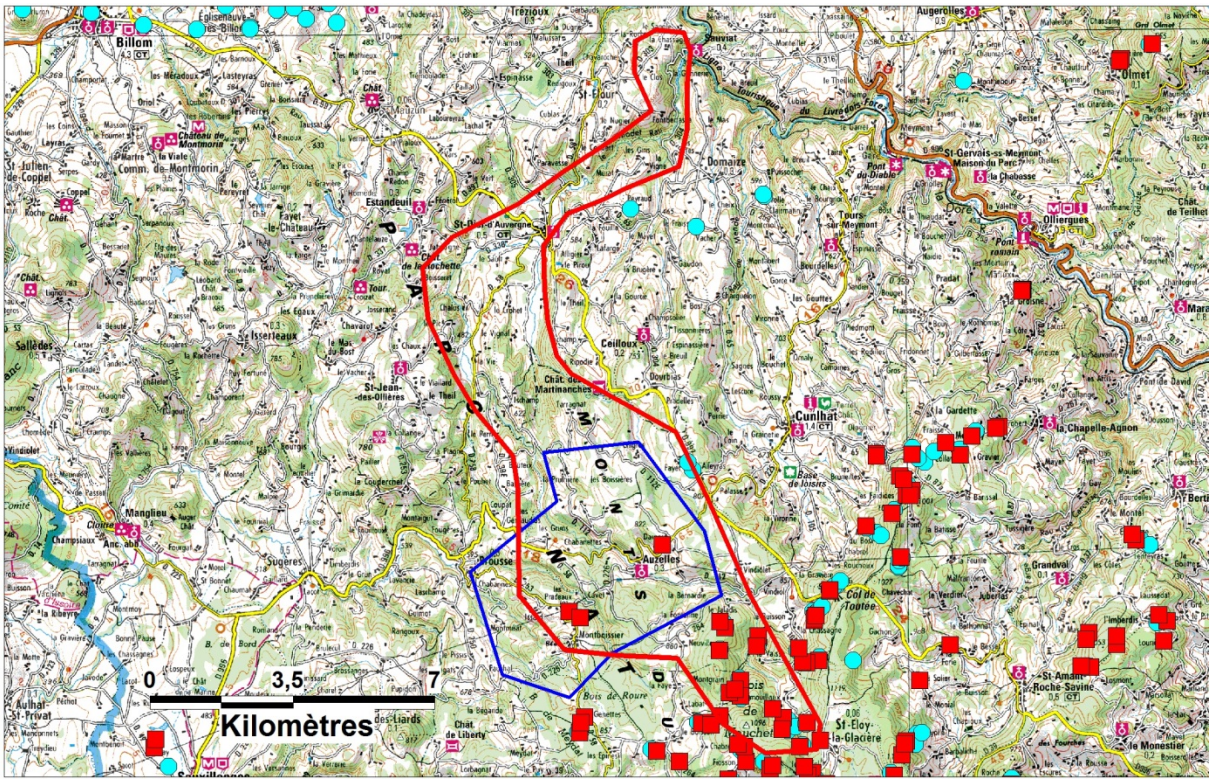


Figure 18 : Localisation des ouvrages d'eau BSS (ronds bleus) et des ouvrages AEP extraits de la base ADES (carrés rouges)

Les polygones rouges et bleus représentent respectivement les limites de la zone d'étude et de la concession d'Auzelles

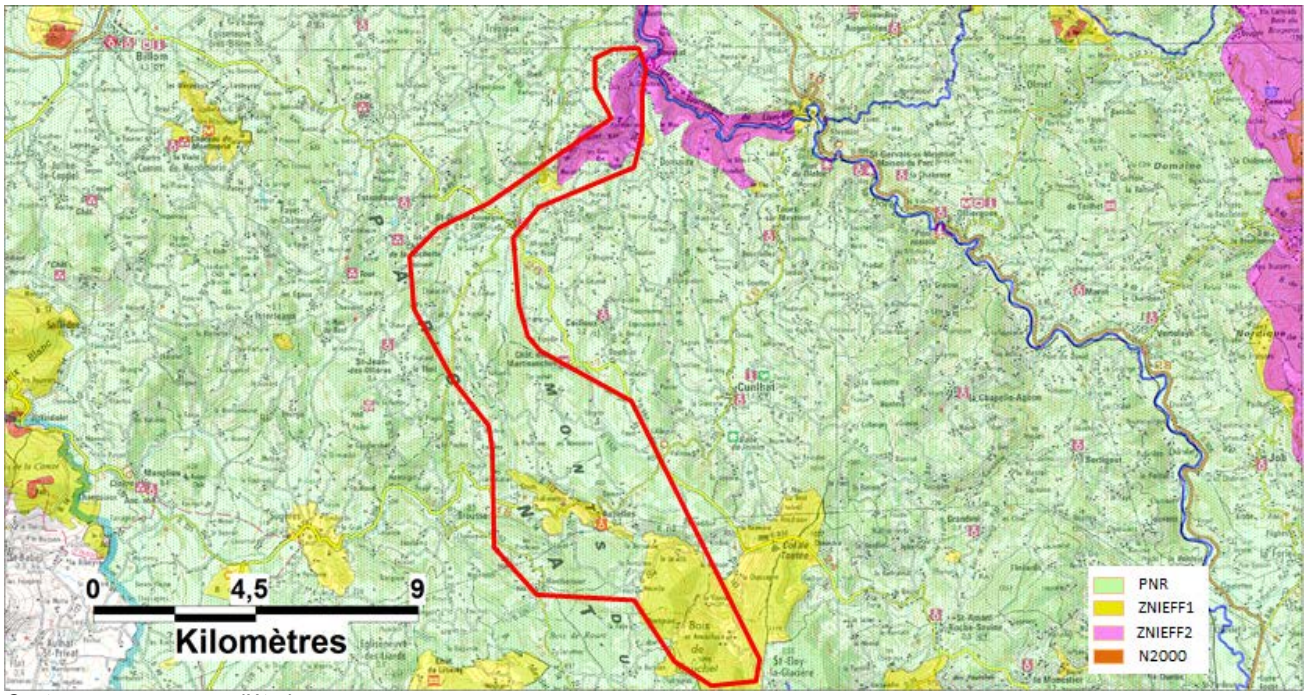
Il est aussi à noter que les eaux souterraines peuvent, ou ont pu, servir à l'arrosage des jardins potagers (exemples de quelques potagers du village d'Auzelles), même si la plupart des jardins investigués dans le cadre de cette étude sont maintenant arrosés avec de l'eau de pluie.

Aucun AEP n'a été identifié en aval proche des dépôts. Il en va de même pour les puits privés du fait de l'absence de recensement officiel des puits au niveau de la commune d'Auzelles et de l'absence de mention par les riverains de possession de puits privés, lors de l'enquête de terrain.

4.2.7 Les enjeux relatifs au compartiment environnemental - Zones naturelles protégées

L'ensemble du secteur d'étude est situé dans le Parc Naturel régional du Livradois-Forez. Il recoupe (figure 19) :

- en amont du site minier (entre les villages de St-Eloy-la-Glacière et d'Auzelles), la ZNIEFF de type 1 « Bois de la Mauchet et de la Flotte Bois de Bérat »,
- aux environs du village d'Auzelles, la ZNIEFF de type 1 « Le Miodet »,
- plus au nord, entre St-Dier-d'Auvergne et la retenue du Miodet, la ZNIEFF de type 1 « gorges de la Dore et du Miodet » et la ZNIEFF de type 2 « vallée de la Dore ».



Contours rouges : zone d'étude

Figure 19 : Zones environnementales : région d'Auzelles

La zone où sont stockés les résidus miniers de la mine d'Auzelles (zone de dépôt de la Molette) constitue, pour sa part, la zone NATURA 2000 « Auzelles ». Le périmètre du site comprend deux gîtes à chauves-souris dont la cavité d'Auzelles (ancienne galerie minière aujourd'hui encore ouverte et protégée par une grille cadenacée).

La cartographie des habitats effectuée en 2006 par le conservatoire d'espaces naturels (CEN) d'Auvergne a permis d'y inventorier 10 habitats naturels (figure 20 ; tableau 7).

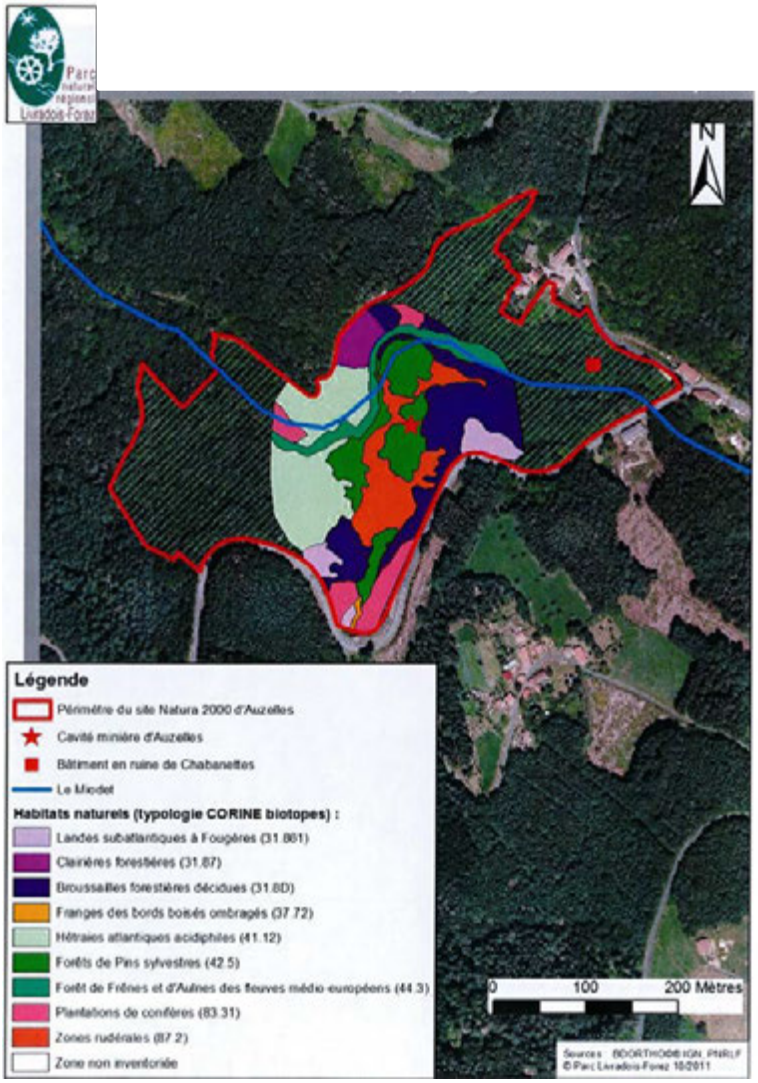


Figure 20 : Cartographie des habitats naturels dominants suivant la typologie CORINE biotopes
(extrait du document d'objectif Auzelles Site Natura 2000 FR 8301044)

Code CORINE Biotopes	Habitats naturels et semi-naturels	Surface (ha)	% de la surface totale du site	% de la surface cartographiée du site	Origine des données, Structures ressources
24.1	Lits des rivières	0,04	0,3	0,7	DREAL Auvergne (cartographie CHANES), CEN Auvergne, 2006
31.861	Landes subatlantiques à Fougères	0,32	2,7	5,6	
31.87	Clairières forestières	0,13	1,1	2,3	
31.8D	Broussailles forestières décidues	1,37	11,4	24,1	
37.72	Franges des bords boisés ombragés	0,02	0,2	0,4	
41.12	Hêtraies atlantiques acidiphiles	1,26	10,4	22,1	
42.5	Forêts de Pins sylvestres	0,94	7,8	16,6	
44.3	Forêt de Frênes et d'Aulnes des fleuves médio-européens	0,38	3,2	6,7	
83.31	Plantations de conifères	0,52	4,3	9,1	
87.2	Zones rudérales	0,71	5,9	12,5	
		5,69 ha	**47,3 %**	**100,0 %**	

Tableau 7 : Liste des habitats présents sur le site Natura 2000 d'Auzelles en 2006
(typologie CORINE biotopes ; extrait du document d'objectif Auzelles Site Natura 2000 FR 8301044)

La zone de dépôt de la Molette abrite trois habitats d'intérêt communautaire selon la typologie des habitats d'intérêt communautaire de l'union européenne (figure 21 ; tableau 8):

- Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à houx et à if
- Forêts alluviales d'aulnes et de frênes
- Mégaphorbiaies hydrophiles d'ourlets planitiaires.

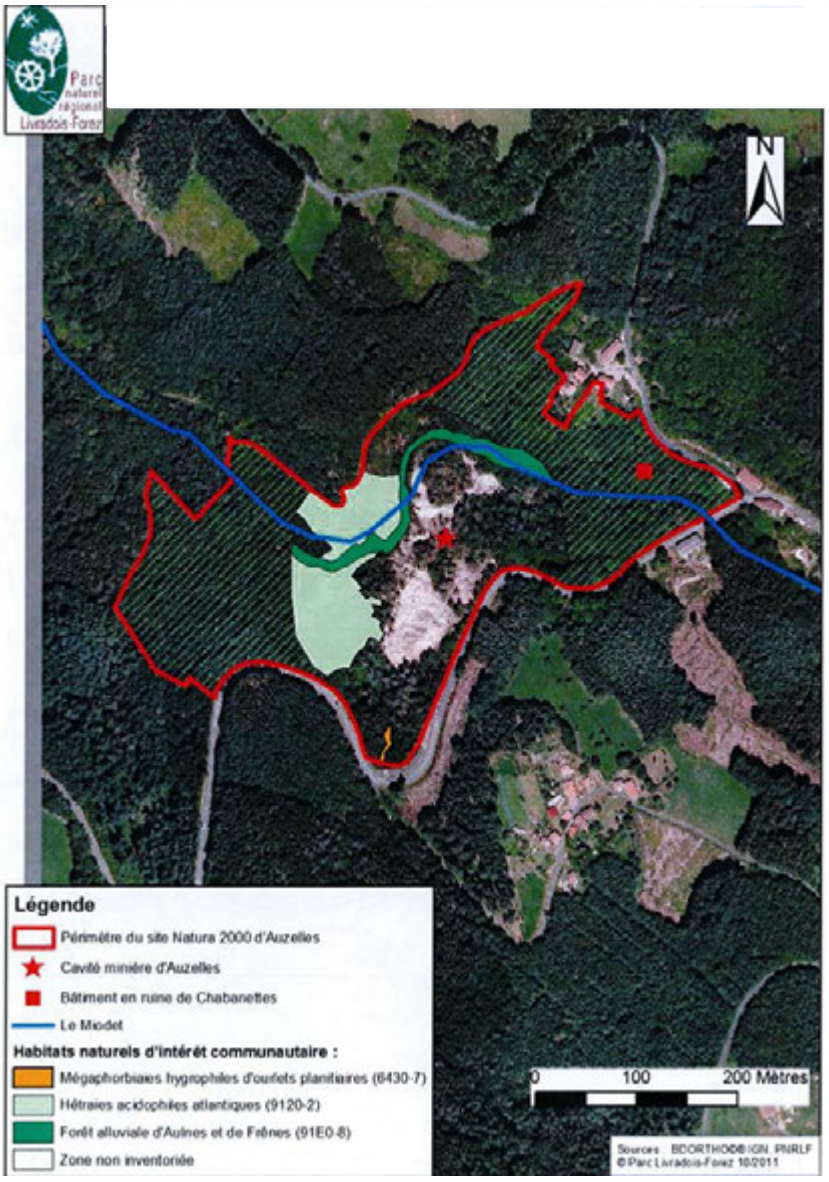


Figure 21 : Cartographie des habitats naturels d'intérêt communautaire suivant la typologie Natura 2000

(extrait du document d'objectif Auzelles Site Natura 2000 FR 8301044)

Code CORINE Biotopes	Code européen Natura 2000 de l'habitat naturel		Habitats naturels d'intérêt communautaire identifiés dans le FSD	Surface couverte par l'habitat (ha) et % de surface de l'habitat par rapport à la surface du site N2000	% de surface de l'habitat par rapport à la surface de la zone cartographiée du site N2000	Structure	Fonctionnalité	Etat de conservation à l'issue de l'inventaire	Etat de conservation à l'échelle biogéographique	Origine des données, Structures ressources
	Habitat générique	Habitat élémentaire								
37.72	6430	6430-7	Mégaphorbiaies hygrophiles d'ourlets planitiaires	0.02 ha 0.2 %	0.4 %	Végétation des lisières forestières le long d'un ruisseau proche de la route	-	Défavorable/ Inadéquat	Défavorable/ Inadéquat	DREAL Auvergne, CEN Auvergne, 2006 Fiches "Habitats" des cahiers d'habitats Natura 2000
41.12	9120	9120-2	Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à *Ilex* et parfois à *Taxus*	1,26 ha 10,4 %	22,1 %	Hêtraie-chênaie collinéenne à Houx	Gîtes potentiels, territoire de chasse	Défavorable/ Inadéquat	Inconnu	
44.3	91E0*	91E0-8	Forêt alluviale à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*	0,38 ha 3,2 %	6,7 %	Aulnaie-frênaie à laîche des bords du ruisseau du Miodet, riche en espèces	Gîtes potentiels, territoire de chasse	Favorable	Mauvais	

* habitat d'intérêt communautaire prioritaire

Tableau 8 : Liste des habitats de l'annexe 1 de la directive Habitats (typologie Natura 2000) présents sur le site Natura 2000 d'Auzelles
(extrait du document d'objectif Auzelles Site Natura 2000 FR 8301044)

Les deux objectifs principaux donnés dans le document d'objectifs du site Natura 2000 « Auzelles » sont :

- maintenir ou développer les potentialités d'accueil pour les chauves-souris sur le site à long terme,
- maintenir les habitats d'intérêt communautaires sur le site ainsi que les habitats d'espèces.

Ce site est reconnu comme Site d'Importance Communautaire (SIC) par la Commission Européenne (juillet 2003), au titre de la directive Habitats.

5 SCHEMA CONCEPTUEL PRELIMINAIRE

Le schéma conceptuel permet de préciser les relations entre les sources de pollution, les différents vecteurs/milieux de transfert et d'exposition ainsi que les enjeux à protéger.

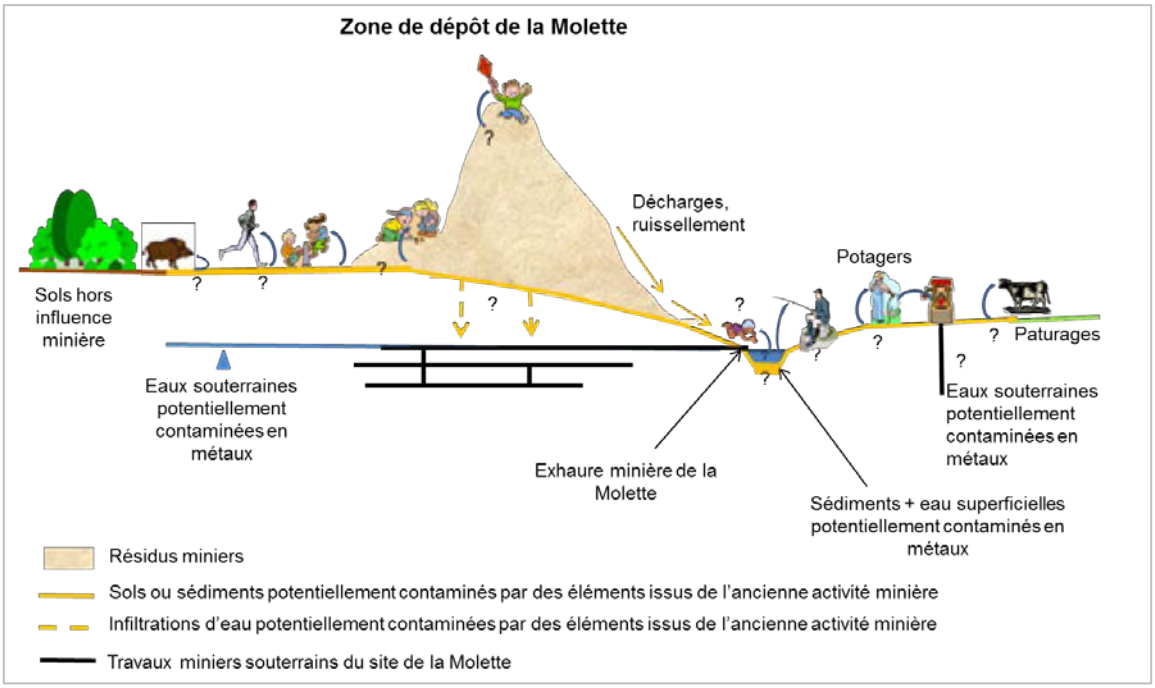
L'élaboration d'un schéma conceptuel préliminaire, basé sur les informations acquises lors de l'étude historique et documentaire, est nécessaire pour les étapes ultérieures de l'étude, en l'occurrence pour l'élaboration de la stratégie d'investigations. Ce schéma conceptuel est actualisé au fur à mesure de l'étude et donc de l'acquisition de nouvelles informations.

Le schéma conceptuel préliminaire a été élaboré au regard des liens pouvant exister entre les sources potentielles de pollution identifiées et les usages constatés pour les milieux eaux souterraines, eaux de surface, sols et végétaux (par l'intermédiaire des jardins).

Au regard des usages constatés (habitats résidentiels, jardins potagers, aire de jeux, activités de loisirs comme la randonnée, chasse, …) et des caractéristiques physico-chimiques des substances considérées, les voies d'exposition potentielles directes ou indirectes pour les populations humaines, comprennent :

- l'ingestion de terre et de particules issues du sol (principalement pour les enfants de moins de 6 ans) et l'inhalation de poussières issues de dépôts et des sols environnants ces dépôts ;
- l'ingestion de légumes potagers cultivés dans des jardins potentiellement contaminés par du ré-envol ou par l'eau d'arrosage (voie d'exposition indirecte) ;
- l'ingestion d'eau potentiellement contaminée, plus particulièrement lors d'activités de loisirs comme la randonnée, la baignade ;
- l'ingestion de poisson (voie d'exposition indirecte) ayant accumulé des contaminants potentiellement présents dans l'eau ou les sédiments ;
- l'ingestion de sédiments potentiellement contaminés lors d'activités récréatives particulièrement pour les enfants (cf. activité de baignade ; les sédiments ne sont pas toujours directement accessibles aux populations, hormis en cas d'assèchement des cours d'eau, ou dans le cadre d'activités de loisirs avec marche dans le cours d'eau principalement) ;
- l'ingestion de viandes, lait, œufs d'animaux domestiques, susceptibles d'avoir accumulé des contaminants potentiellement présents dans les sols, l'eau (voie d'exposition indirecte) ;
- l'ingestion de viandes de bétails d'élevage ou de gibiers susceptibles d'avoir accumulé des contaminants lors d'ingestion d'herbages, d'eau potentiellement contaminée (voie d'exposition indirecte).

La Figure 22 présente le schéma conceptuel préliminaire d'exposition.



Voies principales d'exposition	Enjeux population
Ingestion de sols de surface, Inhalation de poussières issues du sol Ingestion de végétaux des potagers Ingestion de viande (bovins) Ingestion d'eau pendant des activités récréatives, sportives	Enfants et adultes

Figure 22 : Schéma conceptuel préliminaire d'exposition

Pour information, le dépôt majeur de la Molette est facilement accessible à partir de la départementale 996. Il est situé en bordure de la route et visible de cette dernière. Cependant, il est à noter que durant la campagne de terrain, une barrière et une clôture ont été installées en bordure de la route, empêchant l'accès au dépôt.

Sur la base de ce schéma conceptuel, un plan d'investigation a pu être élaboré. Il ne prend pas en compte la caractérisation des milieux relatifs aux voies d'exposition indirectes liées à la chaîne trophique : poissons (interdiction de manger les poissons) ; animaux domestiques, d'élevage ou de la chasse. Seule l'ingestion de végétaux potagers a été prise en compte.

6 INVESTIGATIONS DE TERRAIN

6.1 Préambule

Les objectifs généraux d'un diagnostic de terrain sont multiples. Les informations à rechercher concernent notamment les points suivants :

- l'identification et la caractérisation de la contamination, en termes :
  - de types d'émission des sources primaires et secondaires vers les milieux,
  - de conditions locales susceptibles de modifier le comportement des contaminants dans les sources primaires et secondaires,
  - de composition chimique,
  - de concentration dans les vecteurs/milieux de transfert et milieux d'exposition,
  - d'extension spatiale (latérale, verticale) des sources identifiées,

- la caractérisation des vecteurs/milieux de transfert et milieux d'exposition (sol, eaux, etc.), afin de mieux qualifier et préciser :
  - les différents vecteurs/milieux de transfert associés à la contamination,
  - les concentrations de référence locales des milieux naturels voisins des zones d'investigations tenant compte de la présence du gisement minier. Ceci pour les différentes substances identifiées dans les compartiments environnementaux qui serviront de base à l'estimation de l'impact réel de l'exploitation minière sur les milieux (caractérisation de l'environnement local témoin),
  - les mécanismes de transferts des polluants dans ces milieux, etc.

Dans le cadre de la présente étude et considérant le schéma conceptuel préliminaire, les investigations ont pour objectifs :

- de caractériser les milieux d'exposition, dont les principaux sont les sols de surface non remaniés, les sols de surface remaniés pour les zones potagères (l'horizon cultivable), les végétaux potagers et les eaux ;
- de caractériser l'environnement local témoin par la réalisation de prélèvements dans des zones situées hors influence minière ;
- de caractériser, pour les potagers, les eaux d'arrosage et les sols par rapport à une éventuelle contamination des végétaux.

6.2 Organisation des investigations

La campagne de mesures a été proportionnée et orientée en fonction des usages et des enjeux identifiés au travers du schéma conceptuel préliminaire.

Le programme d'investigations, incluant le plan d'échantillonnage, a été établi de concert entre l'INERIS, le BRGM et GEODERIS. Il a été dressé à la fois sur la base de l'étude documentaire et historique ainsi que de la première visite de terrain réalisée au moment de la réunion de lancement de projet. Il a consisté à implanter les points de prélèvements et de mesures, à établir la liste des substances à rechercher, à fixer les protocoles de prélèvement et de conditionnement, à vérifier les limites de quantification pertinentes et nécessaires au regard des critères de gestion retenus.

Les investigations ont porté à la fois sur les résidus miniers, les sols (sols de surface non remaniés : 0-3 ou 5 cm ; horizon cultivable pour les zones potagères : 0-30 cm), les eaux souterraines, les eaux superficielles, les sédiments et les végétaux. Outre la caractérisation des sources potentielles de pollution (primaires et secondaires) ainsi que des vecteurs/milieux de transfert et milieux d'exposition, certains prélèvements ont été spécifiquement ciblés sur la détermination des environnements locaux témoins pour les substances considérées dans l'étude.

Nous rappelons ici que la caractérisation des sources primaires de pollution a volontairement été axée sur la zone de dépôt de la Molette (tas de résidus miniers, anciens bassins et sols situés dans la zone de dépôt) qui constituait le principal site d'exploitation minière de la mine d'Auzelles et au sein duquel les opérations de préparation (broyage-lavage) et de concentration du minerai étaient réalisées. En termes de transfert, l'étude a surtout été ciblée sur le ruisseau du Miodet qui représente le principal vecteur de transfert de la pollution entre la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet. Outre les prélèvements d'eau et de sédiments, des prélèvements de sols ont aussi été effectués au niveau des prairies situées en bordure de ce ruisseau, avec pour certaines, des prélèvements d'herbe. Enfin des prélèvements de sols et de végétaux ont aussi été effectués au niveau de plusieurs potagers.

Les substances analysées (métaux lourds et arsenic) ont été choisies, pour l'essentiel, au regard du type de minéralisation et de paragénèse associée au gisement. Quelques vérifications ponctuelles ont aussi été effectuées au niveau des substances organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Certains échantillons ont aussi fait l'objet d'analyses spécifiques telles que des déterminations granulométriques, des mesures de teneur en carbone organique total ou encore des mesures de pH de sols.

Les limites de quantification demandées au laboratoire d'analyses ont été choisies en fonction des objectifs de l'étude en tenant compte notamment des valeurs de gestion qui sont utilisées dans le cadre de l'IEM (ou en l'absence de valeurs de gestion, au regard de la mise en œuvre de calculs de risques sanitaires et des valeurs toxicologiques de référence associées).

6.3 Programme des investigations

L'ensemble des investigations de terrain a été réalisé lors d'une campagne qui s'est déroulée sur une durée d'une semaine, amené/replis compris (entre le 10 et 14 septembre 2012). Ces investigations ont été menées de concert entre le BRGM, l'INERIS et GEODERIS. Les résultats des contributions respectives du BRGM et de l'INERIS sont présentés dans deux rapports (BRGM, 2012 et INERIS, 2013).

Lors de la campagne de terrain, une rencontre à la Mairie d'Auzelles a été organisée avec le Maire de cette commune en présence de la DREAL, de GEODERIS, du BRGM et de l'INERIS, afin de présenter le programme de travail et d'investigations. Le maire a notamment accompagné les équipes sur certains lieux de prélèvements de végétaux potagers (propriété au lieu-dit « Fleury ») et a pris des contacts téléphoniques avec plusieurs propriétaires de jardins à Auzelles et au lieu-dit Chabanettes afin de faciliter la venue de l'équipe de l'INERIS dans les jardins potagers.

Le schéma conceptuel préliminaire a conduit à la mise en œuvre du plan d'échantillonnage présenté dans les sections suivantes pour les milieux eaux souterraines, eaux de surface, sédiments, résidus, sols et végétaux.

La position géographique des points de prélèvements et de mesure NITON® est reportée pour chaque milieu sur les cartes de l'annexe 2. Compte tenu de l'extension géographique importante de la zone d'étude, trois cartes ont été réalisées pour chacun de ces milieux (cartes sud, centre et nord). Pour une meilleure lisibilité, des zooms ont par ailleurs été réalisés au niveau de la zone de dépôt de la Molette.

6.4 Environnement local témoin

L'évaluation du degré de contamination d'un site se fait par comparaison entre son état actuel et son état initial (exempt d'impacts anthropiques) ou, si les données ne sont pas disponibles, l'état naturel des terrains environnants (sous réserve d'une géologie similaire).

Pour les sols, l'évaluation de l'environnement local témoin s'avère particulièrement délicate en contexte minier. En effet, par définition, une exploitation minière se développe sur des zones d'extensions très variables (filons, amas, etc.) comprenant des anomalies géochimiques suffisamment fortes pour permettre une exploitation économique des substances.

Trois critères ont été retenus pour la sélection des environnements locaux témoins pour les différents milieux étudiés :

- contexte naturel similaire aux « territoires » étudiés : environnement dans lequel les conditions géologiques, pédologiques et hydrographiques sont proches de celles rencontrées sur les sites étudiés ;
- activité anthropique inexistante ou minimale : le site doit être indemne d'activités minières (d'extraction et de traitement),
- scénario d'exposition similaire : les voies d'exposition aux milieux considérés (sols, eaux, végétaux potagers autoproduits) doivent s'approcher au mieux des voies envisagées dans le schéma conceptuel préliminaire défini pour l'étude.

Les environnements locaux témoins ont ici été établis à partir des résultats d'analyses de laboratoire et non à partir des mesures NITON® où les données enregistrées restent semi quantitatives. La sélection des lieux destinés à caractériser l'environnement local témoin pour les eaux souterraines, les eaux de surface, les sédiments, les sols et les végétaux potagers est reprise dans le Tableau 9. La localisation géographique des points est présentée en annexe 2).

Type de milieu	Référence du point de prélèvement
Eaux souterraines	AUZ-LS-02, 04, 05, 06, 08, 100, 101, 102
Eaux de surface	AUZ_L-01, 11, 05, 14, 16, 12, 13, 15, 19[4], 105, 110
Sols	AUZ_S-14, 35, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 115,
Sédiments	AUZ_SED-01, 05, 11, 15
Végétaux potagers	AUZ_VEG-100, 101, 102

Tableau 9 : Référence des points de prélèvement destinés à caractériser l'environnement local témoin pour les eaux, les sols, les sédiments et les végétaux potagers

[4] *Echantillon non analysé.*

6.5 Protocoles de prélèvements et mesures in situ

6.5.1 Sols et résidus miniers

En termes d'exposition des populations humaines, les profondeurs échantillonnées (déterminées en fonction du type d'utilisation des sols) sont les suivantes :

- 0 - 3 cm, 5 cm ou 10 cm au niveau d'horizons non remaniés concernés par les voies d'exposition directes comme l'ingestion de sol/poussières. Cette profondeur de prélèvement concerne par exemple les jardins d'agrément, les zones de jeux, de promenade et les zones de paturâge ;
- 0 - 30 cm au niveau d'horizons remaniés, potentiellement concernés par les mêmes voies d'exposition que celles citées ci-dessus, mais également par celle liée à l'ingestion de végétaux. Cette profondeur concerne plus particulièrement les zones cultivées : les jardins potagers ou les sols agricoles.

Quelques échantillons de sols plus profonds ont également été prélevés afin de caractériser les matériaux des dépôts de résidus et des bassins.

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons ou sachets fournis par le laboratoire et placés dans une glacière au frais et à l'abri de la lumière.

La localisation des prélèvements est précisée en annexe 2 et une description macroscopique sommaire de ces derniers et du lieu de prélèvement est fournie en annexe 3. L'annexe 4 illustre la réalisation de quelques exemples de prélèvements.

Au total, 38 prélèvements de sols[5] et 17 prélèvements de résidus miniers ont été réalisés.

6.5.1.1 Prélèvements de sols non remaniés

Ces prélèvements ont été effectués à l'aide d'une bêche nettoyée à chaque nouveau lieu investigué . Ils concernent la tranche de sol comprise entre 0 et 3cm, 5cm ou 10cm de profondeur. Les composés susceptibles d'être quantifiés dans cette tranche superficielle de terrain ne sont pas volatils (à l'exception potentiellement de zone pour lesquels des indices organoleptiques ont été observés (odeurs de type hydrocarbures).

Selon l'homogénéité des sols au droit des points de prélèvement et de la suspicion de la présence de composés volatils, l'échantillon a été réalisé soit à partir de prélèvements unitaires (cas de la présence suspectée d'hydrocarbures), soit à partir de prélèvements composites réalisés avec 2 à 4 prises unitaires. Ces dernières sont effectuées sur une zone donnée en cercle, en carrée, en triangle ou autres (afin de minimiser l'incertitude sur la représentativité de l'échantillonnage) et sont de volumes semblables homogénéisés.

6.5.1.2 Prélèvements de sols remaniés (jardins potagers, zones cultivées)

Comme les précédents, ces prélèvements ont été réalisés au moyen d'une bèche. Ils concernent la tranche de sol comprise entre 0 et 30 cm de profondeur. Les composés susceptibles d'être quantifiés dans cette tranche de terrain ne sont pas volatils. Ces prélèvements concernent les sols des jardins potagers et ont été effectués à partir de prélèvements unitaires ou composites (réalisés sur la base de 2 à 4 prises unitaires) répartis sur l'ensemble du potager.

---

[5] *le nombre indiqué concerne le nombre d'échantillons pour analyse. En effet, pour les sols un échantillon peut correspondre au prélèvement d'un échantillon unitaire ou d'un échantillon composite comprenant plusieurs sous-échantillons prélevés dans le même horizon à des emplacements proches et rassemblés en un seul échantillon pour l'analyse chimique*

6.5.1.3 Mesures de surface in situ : évaluation semi quantitative des teneurs en métaux de l'horizon de surface

Ces mesures ont été réalisées grâce à un spectromètre portable de fluorescence X (NITON® XLt999KWY ; annexe 5). La plupart des analyses ont été effectuées sur un matériau tamisé à 2 mm (modes bulk). Certaines ont été réalisées sur échantillons séchés puis tamisés à 200 µm ; l'analyse ayant été menée sur les passants à 200 µm. Chaque mesure a été effectuée sur une durée de 60 secondes. Une série d'échantillon (14 échantillons) a par ailleurs été prélevée et analysée au laboratoire (ICP et ICP-MS) afin d'établir les droites de calibration de la mesure NITON®. Ces dernières sont reportées en annexe 5. Elles s'avèrent satisfaisantes (pente comprise entre 0,90 et 1,23 avec r^2 supérieur à 0,94) pour As, Pb et Zn.

Compte tenu de leur caractère qui reste malgré tout semi-quantitatif, les mesures NITON® ont été spécifiquement utilisées sur le terrain pour affiner, voire dans certains cas, réorienter le plan d'échantillonnage au niveau des sols et accessoirement des sédiments. Elles ont également apporté des informations complémentaires sur :

- la caractérisation de la source principale de pollution constituée par les dépôts de résidus de traitement de la Molette,
- l'identification de secteurs où les sols ont manifestement été impactés par les résidus miniers.

Un jeu de 78 mesures a été réparti sur l'ensemble de la zone d'étude.

6.5.2 Sédiments

Les prélèvements ont portés à la fois sur des sédiments (matériaux les plus fins) et des sables plus ou moins grossiers déposés en fond de cours d'eau.

Les sédiments (matériaux les plus fins) ont été recherchés et prélevés au niveau des zones protégées du courant et donc les plus favorables à la sédimentation des particules les plus fines. Les prélèvements de sédiments se sont toutefois avérés souvent impossibles du fait des faibles quantités de matériaux déposées. Ces difficultés ont conduits à réduire le nombre de prélèvements par rapport aux prévisions initiales. De plus, les faibles quantités prélevées pour l'essentiel des échantillons n'ont pas permis de soumettre ces derniers à une analyse granulométrique. D'un point de vue macroscopique, les échantillons de sédiment prélevés présentent une texture de type terre fine (limons et argiles).

A l'inverse, les sables prélevés en fond de lit de ruisseau sont abondants et les déterminations granulométriques effectuées sur ces échantillons indiquent une très nette prédominance de la fraction « sables grossiers ».

Les échantillons ont été réalisés à partir de prélèvements unitaires ou composites effectués à l'aide d'une pelle à main. Ils ont été conditionnés dans des flacons fournis par le laboratoire et placés dans une glacière au frais et à l'abri de la lumière selon les normes en vigueur.

La localisation des prélèvements est précisée en annexe 2 et une description sommaire du lieu de prélèvement est fournie en annexe 3. L'annexe 4 illustre la réalisation de quelques exemples de prélèvements.

Au total, 28 prélèvements de sédiments et de sables de fond de cours d'eau ont été réalisés.

6.5.3 Eaux de surface et souterraines

Les évaluations de débit ont été réalisées par la méthode de jaugeage au flotteur. La méthode volumétrique a été utilisée pour les sources.

Les prélèvements d'eaux de surface ont été réalisés directement depuis la berge du cours d'eau.

Pour les eaux souterraines, les prélèvements ont été réalisés au niveau des exutoires disponibles (sources naturelles avec par exemple prélèvements effectués en sortie de tuyaux d'arrosage, résurgence minière, ancien puits minier).

Pour certains points d'échantillonnage en lien avec l'arrosage des jardins potagers, le prélèvement a été directement réalisé en sortie du tuyau d'arrosage utilisé par le propriétaire de la parcelle. Il a parfois aussi été effectué au sein d'une réserve d'eau servant à l'arrosage et alimentée par une source.

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons fournis par le laboratoire et placés dans une glacière au frais et à l'abri de la lumière selon les normes en vigueur.

Certains points de prélèvements ont conduit à la réalisation de deux types d'échantillons, l'un filtré (filtration à 0.45 µm) et l'autre non filtré (eau brute), ce dernier type d'échantillons étant plus spécifiquement ciblé sur l'étude sanitaire et l'usage de l'eau des cours d'eau pour l'arrosage des jardins potagers.

Pour la majorité des points de prélèvements, une mesure in situ de la température, du pH et de la conductivité a été effectuée. Les échantillons destinés à l'analyse des métaux ont été acidifiés sur le terrain à l'aide d'acide nitrique suprapur.

La localisation des prélèvements est précisée en annexe 2 et une description sommaire du lieu de prélèvement est fournie en annexe 3.

Au total, 30 points de prélèvement d'eau ont été réalisés (eaux souterraines et eaux superficielles).

6.5.4 Espèces végétales (végétaux potagers et herbes de prairie)

6.5.4.1 Végétaux de potagers

Les potagers ciblés pour des prélèvements de végétaux ont d'abord été choisis en fonction de leur position géographique (amont/aval zone de dépôts de la Molette, bordure de Miodet). Lorsque l'origine des eaux d'arrosage et/ou d'irrigation était connue, les prélèvements de végétaux ont été préférentiellement ciblés sur les potagers arrosés et/ou irrigués avec des eaux de surfaces ou des eaux souterraines (non utilisation de l'eau de pluie).

Pour les différents types de légumes, la sélection des espèces s'est appuyée communément sur l'importance de la consommation des légumes autoproduits et sur leur capacité à l'accumulation des polluants recherchés (sans biaiser l'étude en cherchant à n'échantillonner que les espèces les plus accumulatrices, si leur rôle dans l'exposition est négligeable).

Les prélèvements ont été effectués conformément au guide d'échantillonnage des plantes potagères réalisé dans le cadre des diagnostics environnementaux (ADEME, 2007). Différents types de légumes ont été échantillonnés selon leurs disponibilités afin de disposer des quantités nécessaires aux analyses, selon la représentativité de l'échantillon et selon le critère de diversité des légumes : légumes racines, tubercules, légumes feuilles, légumes tiges, légumes fruits, légumes fleurs, fruits. Les légumes prélevés sont également représentatifs des différentes catégories définies par le règlement européen (CE n° 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006, modifié pour l'année 2011 par le règlement CE n° 835/2011 du 19 août 2011 et le règlement CE n° 1259/2011 du 2 décembre 2011) relatifs aux denrées alimentaires.

Sur le terrain, les échantillons prélevés n'ont pas été nettoyés, à l'exception des particules de terre les plus grossières adhérentes aux racines ou aux parties aériennes. Les échantillons prélevés ont été conditionnés dans des sacs en plastique placés dans une glacière au frais et à l'abri de la lumière selon les normes en vigueur.

Nous rappelons que les prélèvements de légumes potagers ont été couplés à des prélèvements de sol (échantillon composite constitué d'un mélange homogène d'échantillons unitaires prélevés sur l'ensemble du potager, en l'absence de pratiques culturales particulières et sur une profondeur de 0 à 30 cm). Au regard de la pratique d'arrosage, des échantillons d'eau ont également été prélevés parallèlement aux prélèvements de végétaux.

La localisation des prélèvements est présentée en annexe 2 et le type de végétal prélevé est précisé en annexe 3. L'annexe 4 illustre la réalisation de quelques exemples de prélèvements.

Au total, 28 échantillons de végétaux ont été prélevés (23 échantillons de végétaux potagers[6] et 5 échantillons d'herbes).

6.5.4.2 Herbes de prairie

La majorité des échantillons d'herbes de prairie a été prélevée dans des prairies potentiellement impactées par les résidus miniers de la zone de dépôt de la Molette car situées en aval de cette dernière et en bordure du Miodet. Nous rappelons que ces prélèvements ont pour objectif d'évaluer le transfert de métaux présents dans les sols vers les végétaux pouvant être consommés par des animaux d'élevages ou du gibier. Un échantillon a été prélevé dans une prairie supposée non impactée par l'ancienne activité minière (environnement local témoin).

Comme précédemment, les échantillons prélevés n'ont pas été nettoyés, à l'exception des particules de terre les plus grossières adhérentes aux racines ou aux parties aériennes. Les échantillons ont été conditionnés dans des sacs en plastique placés dans une glacière au frais et à l'abri de la lumière selon les normes en vigueur.

[6] *pour les légumes, un échantillon analysé peut comprendre la prise de plusieurs légumes de même type dans le potager.*

6.6 Analyses

6.6.1 Sols et résidus miniers

Les analyses de sols ont concerné tout ou une partie des paramètres suivants : le pH, la teneur en matière sèche, la teneur en matière organique, les éléments traces (métaux et métalloïdes) et les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP (16 de l'US EPA).

En complément, des analyses granulométriques ont également été effectuées sur plusieurs échantillons.

Quelques échantillons de sols ont également fait l'objet de mesures de bioaccessibilité. Ces résultats seront intégrés lors des calculs des expositions et des risques, plus particulièrement dans le cadre des incertitudes, compte tenu du nombre restreint de mesures de bioaccessibilité.

6.6.2 Sédiments et sables

Les analyses ont concernés : la granulométrie pour les sables, la matière sèche, le COT, et les éléments traces (métaux et métalloïdes).

6.6.3 Eaux de surface et souterraines

Les analyses ont concerné tout ou une partie des paramètres suivants : le pH, la conductivité, la température, la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les MES, le Carbone Organique Total (COT), les cations et anions majeurs et les éléments traces.

6.6.4 Végétaux potagers et herbes de pâturages

Les échantillons ont été acheminés jusqu'au laboratoire pour y être préparés, tels que consommés. Le mode de préparation des échantillons a été spécifié au laboratoire (lavage ou non du légume et épluchage si nécessaire, séchage, broyage puis analyse). Plus particulièrement, pour les légumes de types feuilles, il a été demandé d'enlever les feuilles extérieures, souvent détériorées et souillées et rarement consommées. Il a été demandé d'éplucher les légumes de types tubercules et de n'effectuer qu'un simple grattage sur les légumes racines.

Pour les herbes de pâturages, il a été demandé au laboratoire d'enlever les herbes séchées ou abimées.

Les analyses ont concernés : la teneur en eau, la teneur en matière sèche, les métaux et métalloïdes (Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Fe, Cu, Ni, Ag, W, Zn).

Quelques échantillons de végétaux potagers ont également fait l'objet de mesures de bioaccessibilité.

7 RESULTATS ET INTERPRETATION

7.1 Eaux souterraines

Pour les eaux souterraines, les données analytiques ont été obtenues soit à partir de résultats déjà existants (Sanjuan et al. 2001, bases de données BSS et ADES), soit à partir de prélèvements effectués dans le cadre de la présente étude au niveau de résurgences naturelles ou d'origine minière. Les eaux liées aux travaux miniers ont pu ainsi être prélevées au niveau d'une résurgence localisée en bordure du Miodet (résurgence de la Molette) et d'un ancien puits minier situé sur le site du Chalus à environ 3 km au NNE du village d'Auzelles (travaux de recherche mentionnés au niveau des archives).

Nous rappelons qu'aucun AEP n'a été identifié en aval proche des dépôts. Il en va de même pour les puits privés (absence de recensement officiel des puits au niveau de la commune d'Auzelles et absence de mention par les riverains de possession de puits privés, lors de l'enquête de terrain).

7.1.1 L'environnement local témoin

Dans le cadre de cette étude, cinq prélèvements ont été consacrés à l'évaluation de l'environnement local témoin pour les eaux souterraines. Les résultats d'analyse de ces prélèvements sont reportés dans l'annexe 6 et dans les tableaux 10 et 11. Pour l'arsenic, la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin est comprise entre 16 µg/l et 220 µg/l pour les échantillons filtrés et entre 16 µg/l et 230 µg/l pour les échantillons non filtrés. Ces gammes de valeurs sont en accord avec les teneurs mesurées au niveau de plusieurs forages situés en amont des travaux miniers (Sanjuan et al. 2001, données BSS et ADES). Pour le fer, le manganèse et le zinc, les gammes de teneurs relatives à l'environnement local témoin ont été respectivement évaluées pour les échantillons filtrés entre 0.029 mg/l et 0.37 mg/l, <LQ et 20 µg/l ; 11 et 50 µg/l. Pour les échantillons non filtrés elles ont été respectivement évaluées entre 0.017 mg/l et 0.88 mg/l, <LQ et 17 µg/l, <LQ et 41 µg/l.

Les quelques résurgences naturelles analysées présentaient des débits compris entre 1 et 0.03 m^3/h.

Substance	Gamme de concentrations (µg/l)	
	minimum	maximum
Fer	17	880
Manganèse	< LQ (5)	17
Arsenic	16	230
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (10)	< LQ (10)
Cadmium	< LQ (2)	< LQ (2)
Cuivre	< LQ (1)	11
Plomb	< LQ (5)	31
Zinc	< LQ (10)	41

LQ : limite de quantification

Tableau 10 : Gammes de concentrations (minimum – maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les eaux souterraines pour l'environnement local témoin ; échantillons non filtrés

Substance	Gamme de concentrations (µg/l)	
	minimum	maximum
Fer	29	370
Manganèse	< LQ (5)	20
Arsenic	16	220
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (10)	< LQ (10)
Cadmium	< LQ (2)	1,1
Cuivre	< LQ (1)	11
Plomb	< LQ (5)	21
Zinc	11	50

LQ : limite de quantification

Tableau 11 : Gammes de concentrations (minimum – maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les eaux souterraines pour l'environnement local témoin ; échantillons filtrés

7.1.2 Les eaux issues des travaux miniers

Deux échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de l'aquifère minier (annexe 6) :

- L'échantillon AUZ-LS01 a été prélevé en sortie de la résurgence minière située en bordure du Miodet, à la base des dépôts de la Molette. Cette résurgence, qui se jette directement dans le Miodet, donne lieu à d'importants dépôts d'oxyhydroxydes de fer qui peuvent être observés sur une zone d'une vingtaine de mètres au niveau du cours d'eau (photos 3). Lors de la visite de terrain la résurgence a été repérée sur une zone d'environ 10 m le long du ruisseau avec un point de rejet bien identifiable et des parties diffuses. Au point de rejet, son débit a été évalué à environ 5 m^3/h. Cette résurgence peut être rattachée au niveau 3 de la mine d'Auzelles (figure 23), notamment signalé dans les archives comme le niveau de sortie possible des eaux après l'arrêt de l'exploitation (procès-verbal de visite daté de 1901). L'eau issue de cette résurgence minière (échantillon filtré) se caractérise par des teneurs en fer, manganèse et zinc supérieures aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin.

- L'échantillon AUZ-LS03 a été prélevé au niveau d'un ancien puits de mine situé à proximité du lieu-dit « le Fayet ». Ce puits peut être attribué aux travaux réalisés au niveau du site du Chalus. Le puits est recouvert d'une dalle béton et le prélèvement d'eau a été réalisé par le biais d'une petite ouverture présente au niveau de cette dalle (photo 4). L'échantillon filtré prélevé dans ce puits se caractérise par un dépassement de la teneur en manganèse par rapport à la gamme définie pour l'environnement local témoin. L'échantillon non filtré présente quant à lui à la fois un dépassement en fer et en manganèse par rapport à l'environnement local témoin.

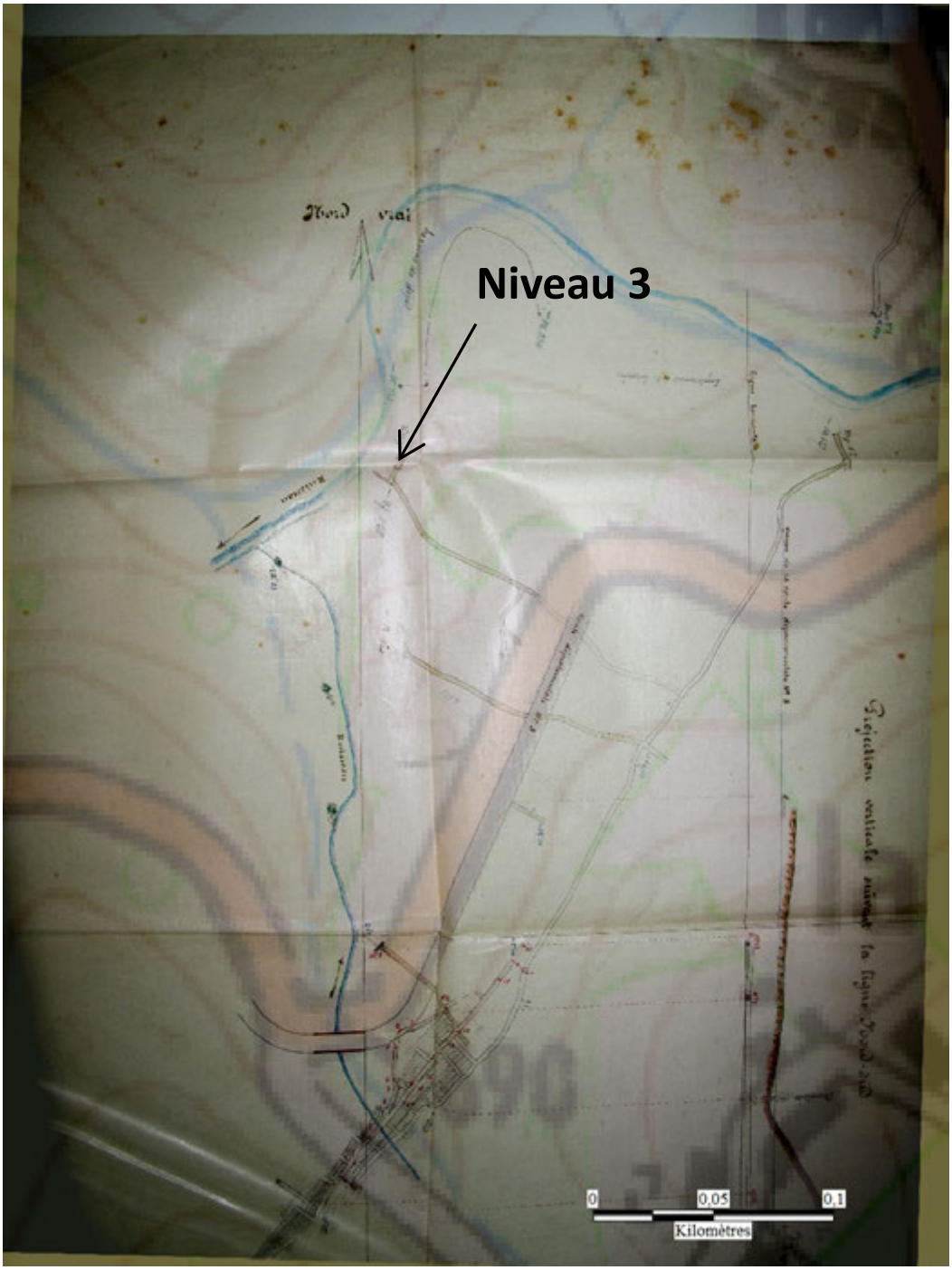


Figure 23 : Plan calé des travaux miniers souterrains de la zone de la Molette (niveau 3 : résurgence supposée de la mine)

Photo 3 : Résurgence minière de la Molette

Photo 4 : Ancien puits minier du Fayet

7.1.3 Synthèse

Les eaux souterraines apparaissent peu minéralisées (conductivité inférieure à 150 µS/cm) avec un caractère globalement acide (majorité des pH compris entre 5.1 et 6.9).

Des analyses isotopiques effectuées en 2001 sur plusieurs échantillons d'eau souterraine prélevés sur le secteur d'Auzelles, suggèrent que les eaux sont d'origine superficielle avec une vitesse de circulation élevée et qu'elles sont en grande partie issues de l'infiltration de précipitations relativement récentes (Sanjuan et al. 2001).

7.1.3.1 Arsenic

Les mesures effectuées à l'amont des travaux miniers (en dehors de toute influence minière) indiquent une forte hétérogénéité des teneurs en arsenic avec des valeurs qui peuvent s'avérer ponctuellement élevées. Ces dernières sont ici attribuées à une origine naturelle. La teneur maximum enregistrée dans le cadre de cette étude est de 230 µg/l au niveau de la fontaine située sur la place du village d'Auzelles. Le jour de la visite, cette fontaine présentait un débit estimé à 0.130 m^3/h.

7.1.3.2 Plomb

Les teneurs en plomb restent globalement faibles (inférieures à la limite de quantification). Pour certaines sources naturelles, à noter toutefois quelques valeurs comprises entre 16 µg/l et 21 µg/l pour les échantillons filtrés et 18 µg/l et 31 µg/l pour les non filtrés (AUZ_LS02, AUZ_LS05 et AUZ_LS06).

7.1.3.3 Fer et manganèse

Les analyses réalisées sur les eaux issues des travaux miniers (résurgence minière de la Molette et puits du Fayet sur les travaux de Chalus) présentent une signature de composition bien marquée essentiellement caractérisée par des teneurs élevées en fer et en manganèse. Comme nous le verrons par la suite pour les eaux superficielles, cette signature se marque aussi sur un cours d'eau affluent du Miodet, situé à environ 250 m à l'ouest des dépôts de la Molette et qui draine un écoulement d'eau attribuable aux travaux miniers de la Fouille. Les fortes teneurs en fer sont responsables de la précipitation de dépôts d'oxyhydroxydes de fer de couleur orangée. Pour la résurgence de la Molette les quantités précipitées au niveau de la zone de rejet dans le Miodet sont importantes et peuvent être visuellement suivies dans ce ruisseau sur une vingtaine de mètres en aval du rejet. Une analyse effectuée sur ces oxyhydroxydes montre qu'ils sont notamment très chargés en arsenic (13000 mg/kg MS[7]), plomb (1700 mg/kg MS), zinc (6700 mg/kg MS) et manganèse (31 000 mg/kg MS). Du cadmium y est également enregistré avec une teneur de 37 mg/kg MS. Les teneurs élevées en arsenic, plomb et zinc peuvent majoritairement être imputées au piégeage et à la coprécipitation de ces éléments au sein des oxyhydroxydes de fer. La précipitation d'oxyhydroxydes de manganèse en association avec les oxyhydroxydes de fer peut pour sa part expliquer les fortes teneurs en manganèse observées au niveau de ces dépôts.

7.1.3.4 Autres éléments traces

Pour les autres éléments traces analysés dans les eaux souterraines, les teneurs restent soit inférieures à la limite de quantification, soit à des niveaux peu élevés.

---

[7] *Matière sèche*

7.1.4 Interprétation

Les eaux souterraines se caractérisent ici par des teneurs en arsenic qui se répartissent de manière hétérogène et qui peuvent être ponctuellement élevées. Ces dernières sont pour l'essentiel attribuées à une origine naturelle. L'hétérogénéité constatée reflète la variabilité de composition des différents compartiments hydrogéologiques ainsi que le contexte d'anomalie géochimique lié à la présence de zones minéralisées.

L'absence d'AEP en aval proche des dépôts et l'absence d'informations précises sur la localisation d'éventuels puits privés en aval de ces mêmes dépôts n'a actuellement pas permis d'appréhender l'impact potentiel du dépôt de résidus de la Molette sur les eaux souterraines.

La signature chimique de l'aquifère minier a par contre pu être clairement établie. Elle se caractérise par des teneurs élevées en fer et en manganèse.

7.2 Eaux superficielles

Les prélèvements d'eaux superficielles ont été répartis sur l'ensemble du secteur d'étude entre l'amont et l'aval des travaux miniers du site de la Molette.

Plusieurs mesures de débit ont par ailleurs été effectuées sur le Miodet. Elles ont permis d'évaluer un débit d'environ 120 m^3/h en aval immédiat des dépôts de la Molette et de 750 m^3/h à l'entrée de la retenue du Miodet.

7.2.1 L'environnement local témoin

Les prélèvements dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin vis-à-vis des métaux et métalloïdes considérés dans cette étude ont été réalisés sur le Miodet à l'amont de la zone de dépôt de la Molette et sur quelques affluents du Miodet non influencés par l'ancienne activité minière. Les résultats d'analyse de ces prélèvements sont reportés en annexe 6 et sur les tableaux 12 et 13. A noter que l'échantillon AUZ_L15, prélevé sur l'un des affluents du Miodet, n'a pas été retenu car considéré non représentatif du fait du très faible débit constaté lors du prélèvement. La teneur en manganèse enregistrée sur l'échantillon filtré de ce prélèvement s'avère par ailleurs très supérieure à celle de l'échantillon non filtré, ce qui laisse aussi supposer l'existence d'un problème analytique pour cet échantillon.

Que ce soit au niveau des échantillons filtrés ou non filtrés, les teneurs en arsenic apparaissent hétérogènes et peuvent être ponctuellement élevées (teneurs allant de 10 à 100 µg/l pour les échantillons non filtrés et de < LQ à 56 µg/l pour les échantillons filtrés). Comme pour les eaux souterraines, ces valeurs peuvent être imputées à une origine naturelle reflétant un contexte d'anomalie géochimique lié à la présence de zones minéralisées. Pour leur part, les teneurs en plomb restent faibles, comprises entre < LQ et 6.7 µg/l pour les échantillons non filtrés et < LQ pour les échantillons filtrés. Pour le fer, la gamme de teneurs évaluée pour l'environnement local témoin est de 0.16 mg/l-1.4 mg/l pour les échantillons non filtrés et de 0.093 mg/l-0.46 mg/l pour les échantillons filtrés. Pour le manganèse, l'environnement local témoin s'inscrit entre < LQ µg/l et 130 µg/l pour les échantillons non filtrés et entre < LQ et 17 µg/l pour les échantillons filtrés.

Substance	Gamme de concentrations (µg/l)	
	minimum	maximum
Fer	160	1400
Manganèse	< LQ (5)	130
Arsenic	10	100
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (10)	< LQ (10)
Cadmium	< LQ (2)	< LQ (2)
Cuivre	< LQ (1)	9,8
Plomb	< LQ (5)	6,7
Zinc	< LQ (10)	23

LQ : limite de quantification

Tableau 12 : ***Gammes de concentrations (minimum - maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les eaux superficielles pour l'environnement local témoin ; échantillons non filtrés***

Substance	Gamme de concentrations (µg/l)	
	minimum	maximum
Fer	93	460
Manganèse	< LQ (5)	17
Arsenic	< LQ (5)	56
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (10)	< LQ (10)
Cadmium	< LQ (2)	< LQ (2)
Cuivre	< LQ (1)	6,3
Plomb	< LQ (5)	< LQ (5)
Zinc	< LQ (10)	28

LQ : limite de quantification

Tableau 13 : ***Gammes de concentrations (minimum - maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les eaux superficielles pour l'environnement local témoin ; échantillons filtrés***

7.2.2 Les échantillons prélevés en aval ou à l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette

Neufs échantillons ont été prélevés depuis l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette jusqu'à la retenue du Miodet :

- L'échantillon AUZ-L02 a été prélevé à l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette, dans sa partie ouest. Pour le prélèvement filtré on constate un dépassement des teneurs en plomb (5.8 µg/l), en zinc (53 µg/l) et en manganèse (93 µg/l) par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. La teneur en plomb reste toutefois peu élevée (inférieure à 10 µg/l). A noter aussi des teneurs en plomb (13 µg/l) et en zinc (71 µg/l) supérieures à l'environnement local témoin pour le prélèvement non filtré. La teneur en arsenic mesurée sur échantillon filtré (57 µg/l) dépasse quant à elle très légèrement la fourchette haute de la gamme relative à l'environnement local témoin.
- L'échantillon AUZ-L03 a été prélevé en aval immédiat de la zone de dépôt de la Molette. Pour le prélèvement filtré on constate un dépassement des teneurs en plomb (19 µg/l), en zinc (97 µg/l) et en manganèse (72 µg/l) par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. Le prélèvement non filtré se caractérise quant à lui par des teneurs en plomb (100 µg/l), en zinc (130 µg/l) et en cadmium (0.67 µg/l) supérieures aux valeurs mesurées pour l'environnement local témoin.
- L'échantillon AUZ-L04 a été prélevé sur un ruisseau affluent du Miodet. Le prélèvement a été réalisé sous le pont de la D996, juste en amont de la confluence avec le Miodet. Il est important de préciser que ce ruisseau draine les eaux des travaux miniers menés au niveau du site de la Fouille. Au moment du prélèvement, le ruisseau présentait un très faible débit (quelques litres/heure). Des dépôts orangés ont été observés au niveau du lit du cours d'eau, témoignant de la présence d'oxyhydroxydes de fer. La composition chimique enregistrée sur le prélèvement filtré montre un dépassement des teneurs en nickel (7.4 µg/l), en manganèse (100 µg/l) et en zinc (110 µg/l) par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. Pour le prélèvement non filtré les teneurs de nombreux métaux sont supérieures aux gammes de l'environnement local témoin (plomb : 49 µg/l ; cadmium : 0.87 µg/l ; fer : 3.8 mg/l, manganèse : 170 µg/l, nickel : 9.2 µg/l et zinc : 160 µg/l).
- L'échantillon AUZ-L06 a été prélevé au niveau du lieu-dit « Fleury » à environ 3 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Il présente principalement un dépassement des teneurs en plomb et en zinc par rapport à la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin, que ce soit pour le prélèvement filtré ou non filtré (pour le plomb : 49 µg/l et 95 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés ; pour le zinc : 71 µg/l et 86 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés). Pour l'échantillon filtré, la teneur en manganèse (20 µg/) est par ailleurs légèrement supérieure à la borne haute de la gamme de l'environnement local témoin.
- L'échantillon AUZ-L18 a été prélevé au sud-est de St-Dier-d'Auvergne, à environ 10 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Pour les prélèvements filtrés et non filtrés, un dépassement de la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin est observé pour le plomb et le zinc (33 µg/l et 44 µg/l de plomb respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés ; 52 µg/l de zinc pour les deux prélèvements filtrés et non filtrés).

- L'échantillon AUZ-L17 a été prélevé au sud du lieu-dit « Pontlatout » à environ 13 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Que ce soit pour les prélèvements filtrés ou non filtrés, les teneurs en plomb (19 µg/l et 27 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés) et en zinc (35 µg/l et 34 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés) se situent au-delà des gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin.
- Les échantillons AUZ-L07 et AUZ-L-103 ont été prélevés au niveau du lieu-dit « Moulin neuf » à environ 16 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. A noter simplement pour ces échantillons, un dépassement des teneurs en plomb par rapport à la gamme de l'environnement local témoin définie pour cet élément (pour l'échantillon AUZ-L07 : 10 µg/l et 15 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés ; pour l'échantillon d'eau brute AUZ-L103 : 17 µg/l).
- L'échantillon AUZ-L08 a été prélevé à l'extrême sud de la retenue du Miodet. Que ce soit pour les prélèvements filtrés ou non filtrés, il présente un dépassement des teneurs en plomb par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin (11 µg/l et 19 µg/l respectivement pour les prélèvements filtrés et non filtrés). Il est à noter un léger dépassement par rapport à l'environnement local témoin pour le manganèse (24 µg/l) sur l'échantillon filtré et pour le zinc (34 µg/l) sur l'échantillon non filtré.
- L'échantillon AUZ-L10 a été prélevé à l'extrémité nord de la retenue du Miodet. Pour le prélèvement filtré, il se caractérise par un dépassement des teneurs en plomb (13 µg/l) et en fer (0.55 mg/l) par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. Pour l'échantillon non filtré on constate également un dépassement de la teneur en plomb (20 µg/l) par rapport à l'environnement local témoin.

7.2.3 Synthèse

7.2.3.1 Arsenic

Les teneurs en arsenic mesurées sur les échantillons non impactés par l'activité minière apparaissent hétérogènes et ponctuellement élevées. Comme pour les eaux souterraines, ces résultats sont imputables au contexte d'anomalie géochimique lié à la présence de zones minéralisées. Les teneurs en arsenic mesurées sur les eaux du Miodet, en aval des dépôts miniers (eaux potentiellement impactées par les résidus et la résurgence de la Molette) restent quant à elles comprises dans la gamme de teneurs évaluée pour l'environnement local témoin. Cette constatation concerne à la fois les échantillons filtrés et non filtrés.

7.2.3.2 Plomb

Entre la zone de la Molette et le barrage de Sauviat (retenue du Miodet comprise), les prélèvements effectués sur le Miodet montrent globalement une augmentation des teneurs en plomb par rapport à l'amont des dépôts de la Molette. A l'aval des dépôts les teneurs enregistrées sur les échantillons filtrés vont de 5.8 µg/l à 49 µg/l. Pour les échantillons non filtrés, elles s'échelonnent entre 13 µg/l et 100 µg/l.

7.2.3.3 Manganèse

Sur les deux prélèvements effectués en aval immédiat des dépôts de la Molette, on constate une nette augmentation des teneurs en manganèse par rapport à l'amont. Cette augmentation est la fois constatée pour les échantillons filtrés et non filtrés.

7.2.4 Interprétation

Dans les échantillons filtrés, les résidus miniers de la zone de dépôt de la Molette peuvent être tenus pour responsables d'une augmentation des teneurs en plomb. Au niveau du Miodet, cette dernière aboutit à des concentrations qui deviennent localement supérieures à celles de l'environnement local témoin. Pour la majorité des échantillons, cette augmentation est également constatée sur les échantillons non filtrés et y est même globalement beaucoup plus marquée que pour les échantillons filtrés (plomb essentiellement porté par la fraction non dissoute car élément de faible solubilité dans les conditions naturelles). Ainsi, dès l'aval immédiat des dépôts de résidus de la Molette, les teneurs en plomb augmentent fortement dans les échantillons d'eaux superficielles. Elles diminuent ensuite du fait de la dilution au sein du cours d'eau pour à nouveau augmenter légèrement au niveau de la retenue du Miodet (figure 24).

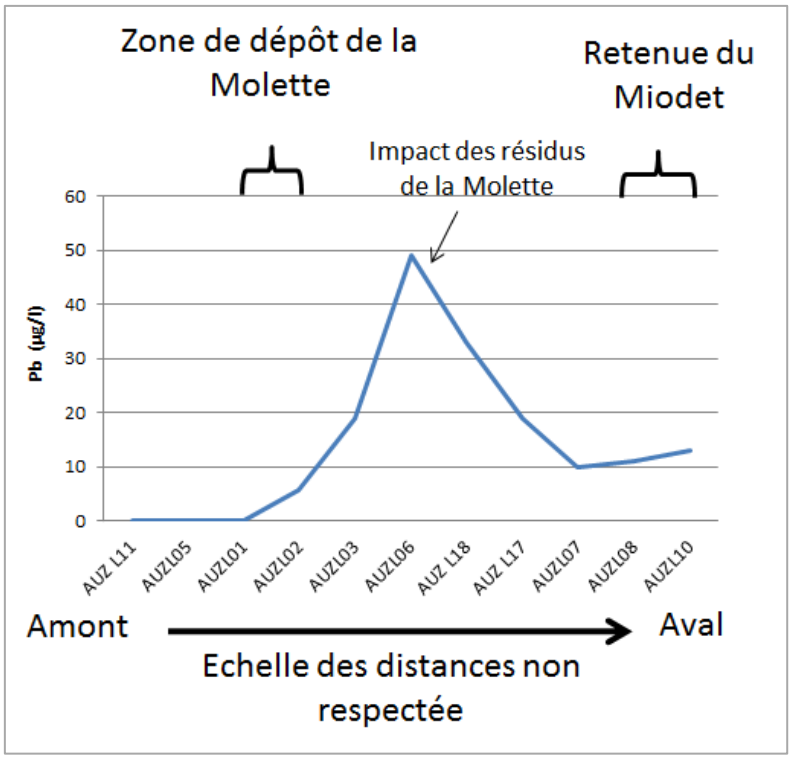
L'augmentation constatée sur les teneurs en plomb en aval de la zone de la Molette est attribuée à la fois à la source principale de pollution que constituent les dépôts de résidus miniers et à la présence de sédiments contaminés par ces résidus (source secondaire).

Une évolution similaire à celle du plomb est observée pour les teneurs en zinc que ce soit sur échantillons filtrés ou non filtrés (figure 25).

Pour l'arsenic, les résidus miniers de la zone de la Molette induisent une légère augmentation des teneurs de cet élément en aval des dépôts (figure 26). Cette augmentation reste toutefois beaucoup moins marquée que pour le plomb et le zinc. Par rapport à ces deux derniers éléments, l'évolution moins tranchée des teneurs en arsenic en aval des résidus miniers peut être expliquée par le fond géochimique élevé en arsenic relevé au niveau de la zone d'étude et qui interfère avec l'impact des résidus miniers sur les eaux superficielles.

L'enrichissement local en manganèse enregistré en aval immédiat des dépôts de la Molette (teneurs supérieures à l'environnement local témoin) est quant à lui attribuable à l'impact de la résurgence des travaux miniers sur le Miodet (niveau 3 de la mine). Nous rappelons que cette dernière présente des teneurs en manganèse nettement supérieures aux autres échantillons d'eaux souterraines analysés dans le secteur d'étude (manganèse : ici marqueur chimique des eaux issues des travaux miniers). Comme nous l'avons déjà signalé dans le cadre de la description des eaux souterraines, cet enrichissement en manganèse est également observé au niveau du prélèvement effectué sur l'affluent du Miodet qui draine une résurgence minière attribuable aux travaux miniers du secteur de la Fouille. Lors de la visite de terrain, le faible débit enregistré sur ce cours d'eau ne permet toutefois pas d'envisager qu'il puisse présenter un impact chimique notable sur le Miodet, du moins dans les conditions hydrologiques qui régnaient lors de la campagne de terrain. Il en va d'ailleurs de même pour la résurgence de la Molette où le débit évalué lors de la campagne de terrain (environ 5 m^3/h) s'est avéré faible par rapport à celui du Miodet. (> 100 m^3/h). Les teneurs en Mn enregistrées sur l'eau et les sédiments du Miodet en aval immédiat de la résurgence décroissent d'ailleurs rapidement vers l'aval.

a)



b)

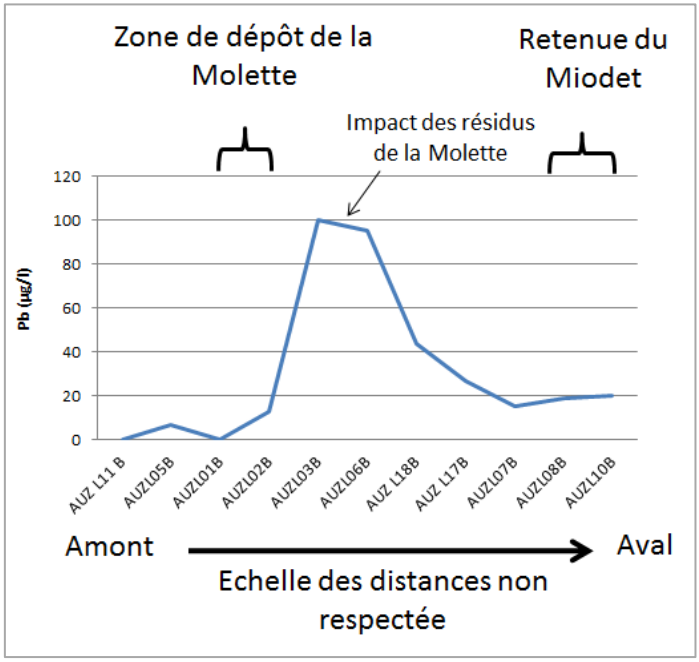
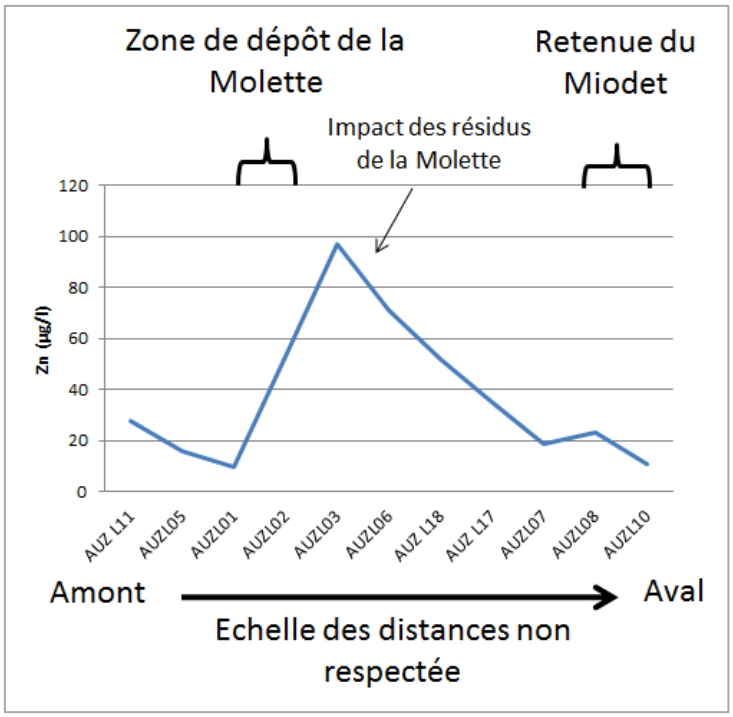
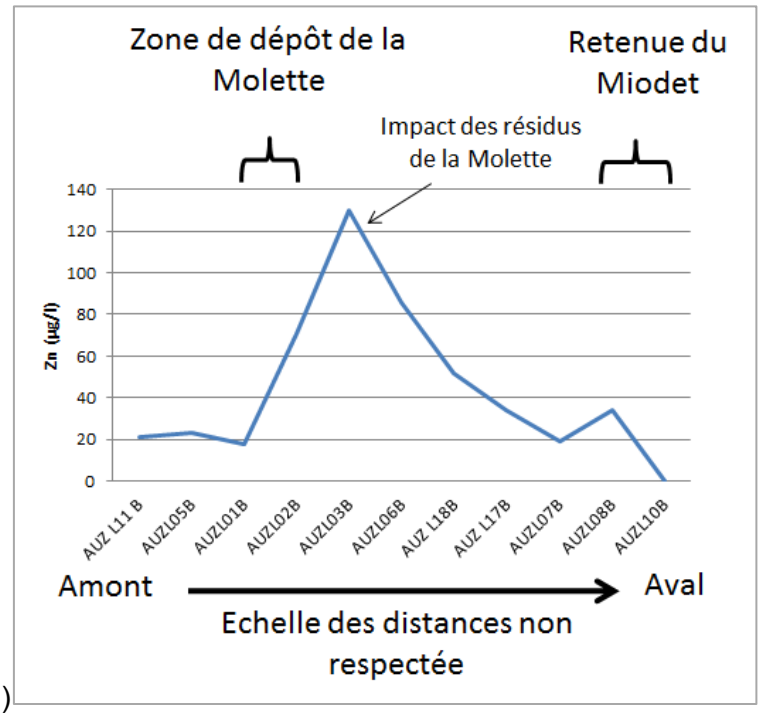


Figure 24 : Evolution amont/aval des teneurs en plomb dans les eaux du Miodet prélevées entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet ; (a) : échantillons filtrés ; b) échantillons non filtrés).

a)



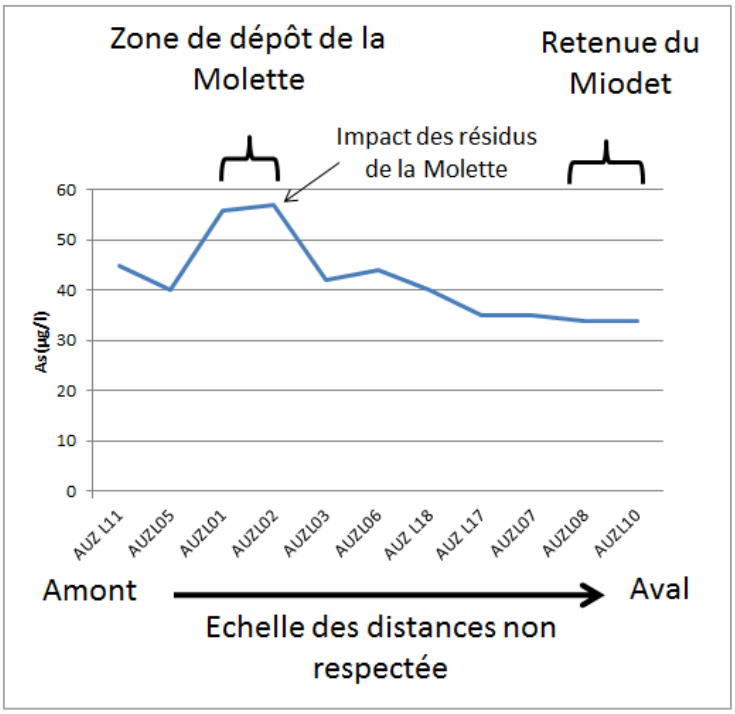
b)



b)

Figure 25 : Evolution amont/aval des teneurs en zinc dans les eaux du Miodet prélevées entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet ; (a) : échantillons filtrés ; b) échantillons non filtrés)

a)



b)

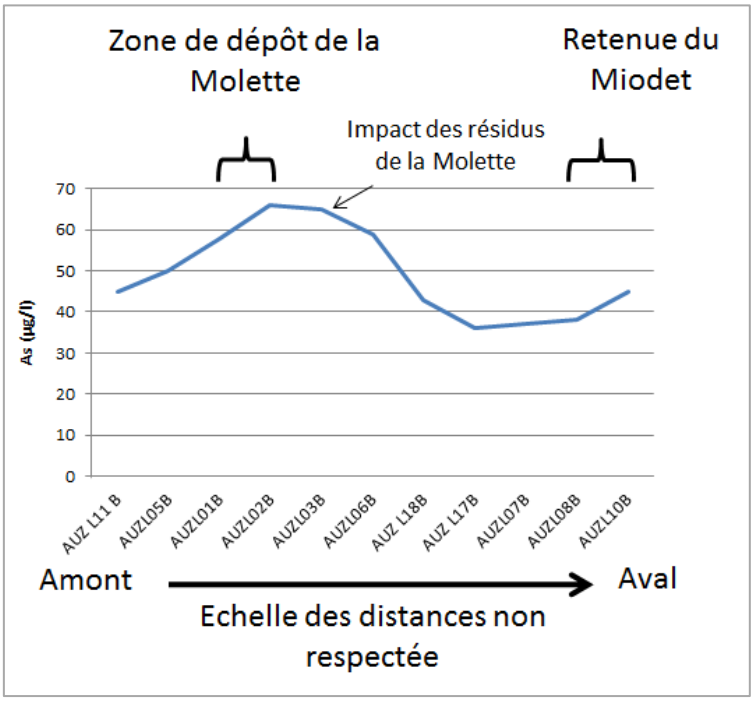


Figure 26 : Evolution amont/aval des teneurs en arsenic dans les eaux du Miodet prélevées entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet ; (a) : échantillons filtrés ; b) échantillons non filtrés)

7.3 Sédiments et sables de fond de cours d'eau

Nous rappelons que ces investigations ont portés à la fois sur des prélèvements de sédiments, constitués par les matériaux les plus fins, et sur des prélèvements de sables plus ou moins grossiers déposés en fond de cours d'eau et considérés comme principalement issus de l'altération des roches.

A l'image des prélèvements d'eau superficielle, les prélèvements de sédiments et de sable ont été répartis sur l'ensemble du secteur d'étude entre l'amont et l'aval de la zone de dépôt de la Molette.

Ils ont été effectués jusqu'à la retenue du Miodet avec des prélèvements de sédiments réalisés en parties sud et nord de cette dernière. Lors de la campagne de terrain, les sables n'ont pu être prélevés qu'en partie sud, ces derniers n'étant pas accessibles au niveau de la partie nord.

A noter que les parts respectives des sédiments et des matériaux sableux amenés par le Miodet au sein de la retenue n'ont pu être évaluées. En effet, les deux fractions sont souvent intimement mélangées, ce qui ne permet pas d'apprécier le volume réel de sédiments (matériaux les plus fins) notamment au niveau de la retenue.

Les sédiments et sables ont à la fois fait l'objet d'analyses de laboratoire et de mesures effectuées grâce à un appareil portable de fluorescence X de type NITON®.

7.3.1 Analyses de laboratoire

7.3.1.1 Sédiments

a) L'environnement local témoin

Plusieurs prélèvements de sédiments effectués en surface dans des zones supposées hors influence de l'ancienne activité minière ont été dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin. Les résultats d'analyse relatifs à ces échantillons sont présentés dans l'annexe 6 et dans le tableau 14.

L'analyse de ces prélèvements met en évidence des teneurs en arsenic hétérogènes d'un échantillon à l'autre, avec des valeurs qui peuvent être ponctuellement élevées. Elles sont comprises entre 42 mg/Kg MS et 610 mg/Kg MS. Pour le plomb, le zinc et le chrome, elles se répartissent respectivement entre 27 mg/Kg MS et 78 Mg/Kg MS, entre 110 mg/Kg MS et 570 mg/Kg MS et entre 19 mg/Kg MS et 57 mg/Kg MS. Les teneurs en fer sont quant à elles comprises entre 19000 mg/Kg MS et 40000 mg/Kg MS et les teneurs en manganèse entre 460 mg/Kg MS et 1600 mg/Kg MS.

Substance	Gamme de concentrations (µg/l)	
	minimum	maximum
Sédiment		
Fer	19000	40000
Manganèse	460	1600
Arsenic	42	610
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (5)	< LQ (5)
Cadmium	0,53	5,5
Cuivre	23	43
Chrome	19	57
Plomb	27	78
Zinc	110	570
« Sédiment grossier » - Sable		
Fer	8500	15000
Manganèse	190	330
Arsenic	23	150
Antimoine	< LQ (5)	< LQ (5)
Argent	< LQ (5)	< LQ (5)
Cadmium	< LQ (0,4)	1,7
Cuivre	4,6	15
Chrome	6,3	19
Plomb	7,4	53
Zinc	43	130

LQ : limite de quantification

Tableau 14 : ***Gammes de concentrations (minimum – maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les sédiments pour l'environnement local témoin***

b) Les sédiments prélevés à l'aplomb ou en aval de la zone de dépôt de la Molette

Une dizaine d'échantillons a été prélevée depuis l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette jusqu'à la retenue du Miodet :

- L'échantillon AUZ_SED02 a été prélevé dans le Miodet et à l'aplomb de la zone de dépôt de la Molette (dans sa partie ouest). Cet échantillon se caractérise par un dépassement des teneurs en antimoine, arsenic, plomb, cadmium, argent et zinc par rapport aux gammes de valeurs établies pour l'environnement local témoin. Les teneurs mesurées pour ces éléments sont respectivement de 25 mg/Kg MS, 790 mg/Kg MS, 7900 mg/Kg MS, 6.8 mg/Kg MS, 11 mg/Kg MS et 840 mg/Kg MS.

- Les deux échantillons AUZ_SED03 et AUZ_SED03J ont été prélevés en aval immédiat de la zone de dépôt de la Molette. Ils ont été échantillonnés dans le Miodet à environ 2 m l'un de l'autre. Le premier correspond à des sédiments de couleur grisâtre et le second à des sédiments de couleur jaunâtre. L'échantillon AUZ_SED03 montre surtout un dépassement des teneurs en antimoine, plomb, cadmium, argent et zinc par rapport aux gammes de valeurs définies pour ces éléments dans le cadre de l'environnement local témoin. Les teneurs enregistrées pour ces éléments sont respectivement de 31 mg/Kg MS, 12000 mg/Kg MS, 6.2 mg/Kg MS, 12 mg/Kg MS et 740 mg/Kg MS. A l'exception du cadmium qui présente une teneur voisine de la borne haute de la gamme de l'environnement local témoin (5.1 mg/Kg MS), l'échantillon AUZ_SED03J se caractérise également par un dépassement des teneurs en antimoine plomb, argent et zinc par rapport à l'environnement local témoin. Les concentrations de ces éléments sont respectivement égales à 32 mg/Kg MS, 8200 mg/Kg MS, 11 mg/Kg MS et 670 mg/Kg MS. On retiendra les teneurs très élevées en plomb de ces deux échantillons de sédiments. L'échantillon AUZ_SED03 se caractérise par ailleurs par une teneur en arsenic élevée (660 mg/Kg MS) qui s'avère légèrement supérieure à la borne haute de la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin.

- L'échantillon AUZ_SED18 a été prélevé dans le Miodet, au sud-est de St-Dier-d'Auvergne, à environ 10 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. On y enregistre un dépassement des teneurs en antimoine (7.8 mg/Kg MS) et en plomb (2000 mg/Kg MS) par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. Comme précédemment on notera la teneur très élevée en plomb.

- L'échantillon AUZ_SED17 a été prélevé dans le Miodet, au sud du lieu-dit « Pontlatout » à environ 13 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Il se caractérise par une teneur en plomb (520 mg/Kg MS) très supérieure à la gamme de valeur établie pour l'environnement local témoin.

- L'échantillon AUZ_SED07 a été prélevé au niveau du lieu-dit « Moulin neuf » à environ 16 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. La principale observation relative à cet échantillon concerne un net dépassement de la teneur en plomb (600 mg/Kg MS) par rapport à la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin.

- L'échantillon AUZ_SED08 a été prélevé à l'extrême sud de la retenue du Miodet, sur la rive droite de cette dernière. Le prélèvement a été réalisé au niveau de zones racinaires émergées qui ont servis de piège à sédiment. Les teneurs en antimoine et en plomb enregistrées sur cet échantillon (respectivement de 6.7 mg/Kg MS et de 2400 mg/Kg MS) s'avèrent supérieures aux gammes de valeurs établies dans le cadre de l'environnement local témoin. On notera, là encore, la teneur en plomb très élevée de cet échantillon de sédiment.

- L'échantillon AUZ_SED09 a été prélevé dans la partie sud de la retenue du Miodet, à environ 80 m au nord du précédent. Ce dernier a été effectué en rive droite au niveau d'une plate-forme située dans une courbe de la retenue. L'épaisseur de sédiments y apparaît importante (> 1 m). L'échantillon prélevé présente une couleur noirâtre, ce qui le distingue sur ce point des autres échantillons de sédiments prélevés sur le Miodet (échantillons grisâtre à jaunâtre). D'un point de vue chimique, il se caractérise par un dépassement des teneurs en antimoine, plomb et chrome par rapport aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. Ces teneurs sont respectivement égales à 8.9 mg/Kg MS, 2000 mg/Kg MS et 100 mg/Kg MS.

- Les deux échantillons AUZ_SED10 et AUZ_SED10-120 ont été prélevés dans la partie nord de la retenue du Miodet. Le premier échantillon a été collecté en surface de la berge, en rive droite de la retenue. Le second a été prélevé à l'aplomb du précédent à 1.20 m de profondeur à l'aide d'une tarière à main. Pour les éléments traces de type métaux et métalloïdes, l'échantillon de surface ne présente aucun dépassement par rapports aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. L'échantillon prélevé en profondeur montre quant à lui une teneur en plomb (110 mg/Kg MS) supérieure à l'environnement local témoin, les autres métaux et métalloïdes restant inclus dans les gammes de valeurs définies pour ce dernier.

c) Synthèse

Plomb

Les teneurs en plomb, élément potentiellement polluant et particulièrement abondant dans les résidus miniers de la Molette, se marquent par l'évolution amont/aval la plus contrastée par rapport à celles des autres métaux et métalloïdes.

Pour les prélèvements effectués sur le Miodet, en aval des dépôts de la Molette, les teneurs en plomb montrent une très forte augmentation à l'aval immédiat de ces dépôts (7900 mg/Kg MS et 12000 mg/Kg MS). Ces teneurs décroissent ensuite à des niveaux moins élevés mais qui restent nettement supérieurs à l'environnement local témoin. Elles remontent jusqu'à des valeurs d'environ 2000 mg/Kg MS au niveau de l'extrémité sud de la retenue du Miodet. Les deux échantillons de sédiments analysés dans la partie nord de cette retenue montrent quant à eux des teneurs en plomb beaucoup plus faibles de 74 mg/Kg MS et 110 mg/Kg MS.

Arsenic, zinc et cadmium

Les teneurs en arsenic sont hétérogènes et parfois élevées. Elles se caractérisent notamment (tout comme celles en zinc ou encore en cadmium) par une augmentation en aval immédiat des résidus miniers de la Molette. Cette variation reste toutefois beaucoup moins marquée que celle observée pour le plomb. A signaler aussi que les teneurs en zinc et en cadmium enregistrées dans la partie Sud de la retenue du Miodet sont supérieures aux teneurs mesurées dans la partie Nord.

Chrome

En aval de la zone de dépôt de la Molette, les teneurs en chrome sont comprises entre 24 mg/Kg MS et 100 mg/Kg MS. Cette dernière valeur a été mesurée au niveau d'une plateforme constituée de sédiments fins noirâtres et située sur la berge de la partie sud de la retenue du Miodet.

Composés organiques

Des HAP ont été détectés dans la partie nord de la retenue. Il s'agit de fluoranthène, de pyrène et de benzo(b)fluoranthène mesurés à des teneurs respectives de 0.38 mg/Kg MS, 0.3 mg/Kg MS et 0.3 mg/Kg MS. Aucune trace de HAP n'a été enregistrée au niveau de l'analyse effectuée sur les sédiments de la partie sud de la retenue.

Autres éléments traces

Pour les autres éléments traces analysés, les teneurs restent soit inférieures à la limite de quantification, soit à des niveaux peu élevés.

d) <u>Interprétation</u>

L'évolution des teneurs en plomb et en arsenic entre l'amont de la zone de la Molette et la retenue du Miodet reflète clairement la contribution des résidus miniers au niveau des sédiments. On notera que l'hétérogénéité des teneurs en arsenic enregistrées dans les sédiments est à la fois imputable au contexte d'anomalie géochimique lié à l'existence de zones naturellement minéralisées et à la présence des résidus miniers.

Ce marquage par les résidus miniers est ici illustré par la figure 27. Cette dernière montre que les résidus du site de la Molette se distinguent par un rapport As/Fe relativement constant illustré par la droite bleu du diagramme. Il est à noter cependant un rapport Fe/As plus élevé pour l'échantillon de résidus miniers AUZ-S07-5-10 qui se distingue des autres prélèvements de résidus par la présence de passées noirâtres.

Les croix qui se rapprochent le plus de la droite bleu (figure 27) correspondent aux trois prélèvements de sédiments effectués à l'aplomb ou en aval immédiat des résidus miniers et pour lesquels on observe des teneurs très élevées en plomb. Cette observation reflète la forte contribution des résidus miniers dans ces trois échantillons.

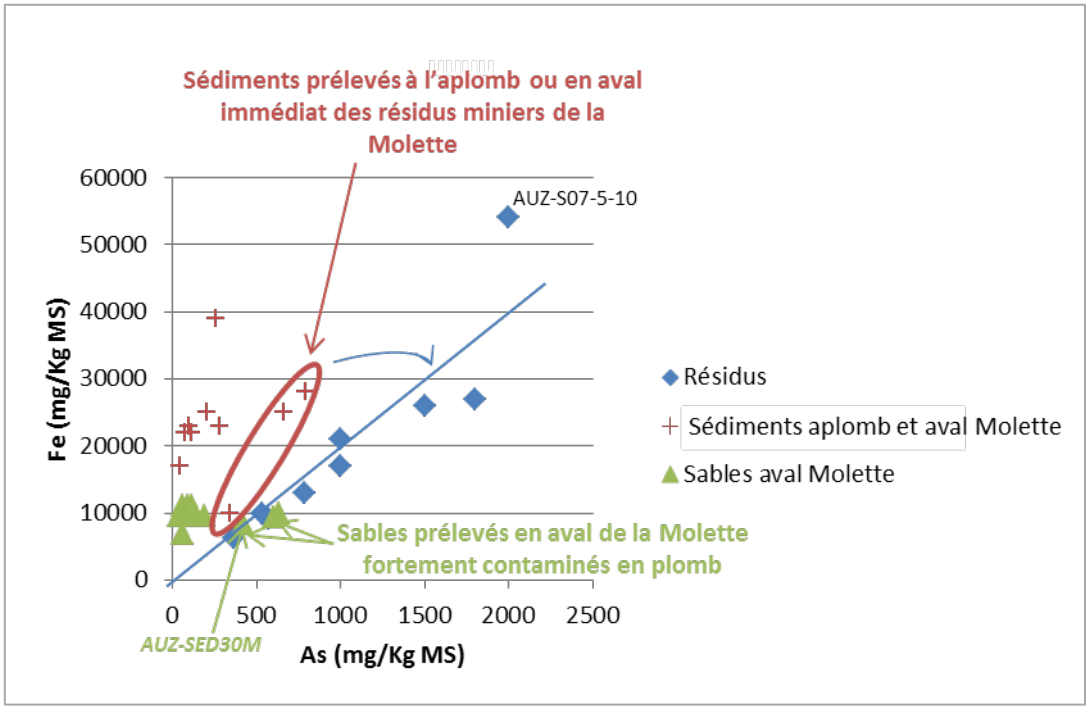


Figure 27 : Relation Fe/As sur les résidus miniers de la Molette et sur les sables et sédiments du Miodet

Le marquage des sédiments par les résidus de la Molette est donc très fort en aval immédiat des dépôts (très forte augmentation des teneurs en plomb ; figure 28). Plus en aval, les teneurs en plomb montrent une décroissance très nette mais restent malgré tout supérieures à la gamme de valeurs définie pour l'environnement local témoin. Cette décroissance peut ici être imputée à un phénomène de dilution des sédiments contaminés. La remontée des teneurs en plomb au niveau de l'extrémité sud de la retenue du Miodet peut quant à elle être attribuée à un phénomène d'accumulation des sédiments contaminés et amenés par le Miodet dans la retenue (photo 5).

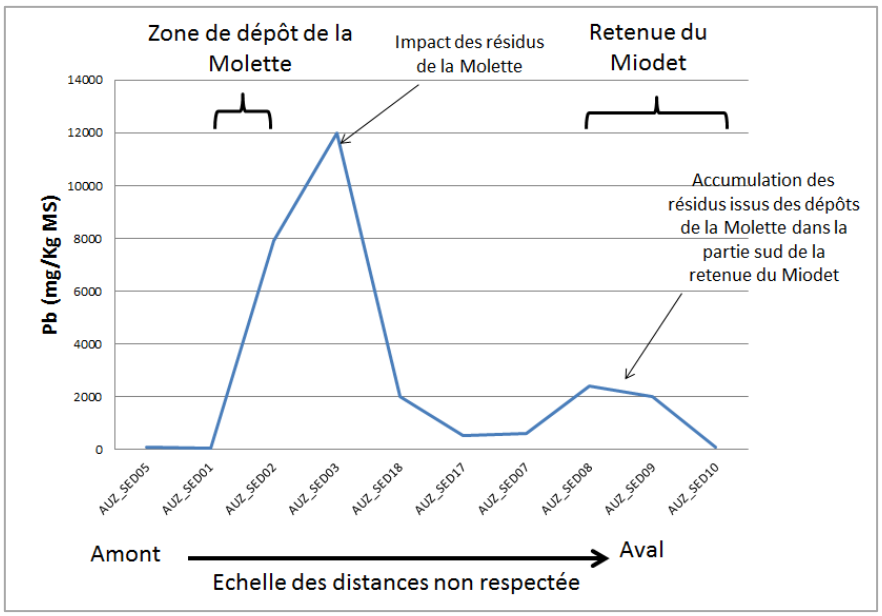


Figure 28 : Evolution amont/aval des teneurs en plomb dans les sédiments du Miodet prélevés entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet

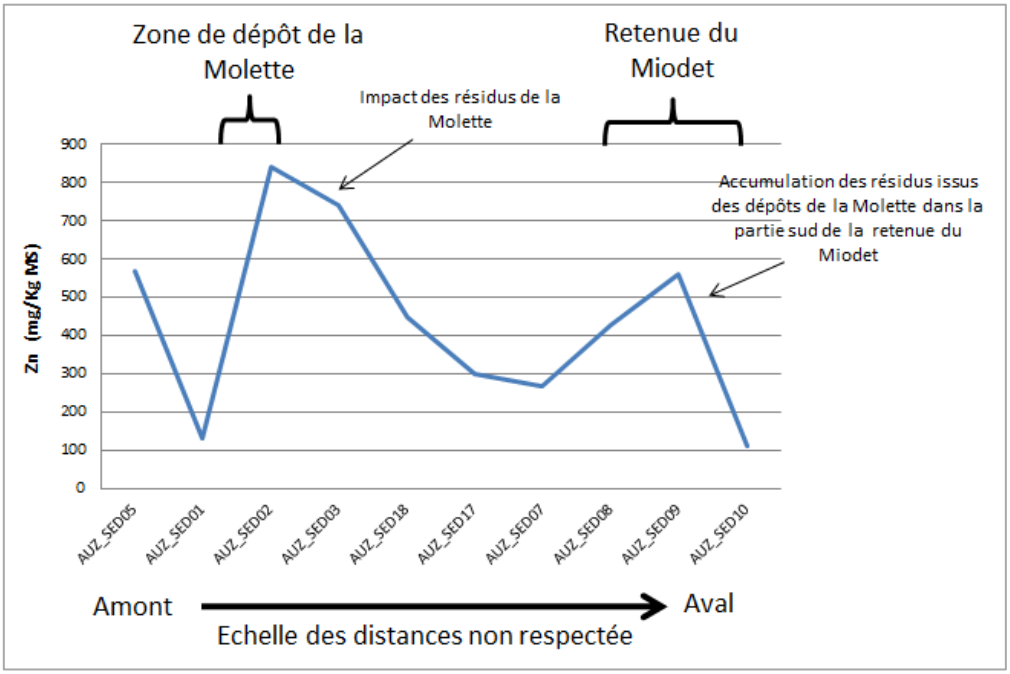


Figure 29 : Evolution amont/aval des teneurs en zinc dans les sédiments du Miodet prélevés entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet

Photo 5 : Accumulation de sédiments (matériaux noirâtres) sur les berges de la partie sud de la retenue du Miodet

L'évolution des teneurs en plomb présentée sur la figure 28 indique par ailleurs que les apports de résidus issus de la zone de la Molette et amenés par le Miodet dans la retenue du même nom sont encore actifs. Cette observation est en accord avec celle issues des analyses de sédiments de la retenue effectuées à la demande d'EDF en 1987 et 2007. Les faibles teneurs en plomb enregistrées en partie nord de la retenue indiquent, quant à elles, que l'apport en résidus miniers amené par la dérivation des Prades et potentiellement issus des tas de résidus du site minier de la concession de Sagne (concession de plomb) située au nord-est de la concession d'Auzelles, en bordure d'un affluent de la Dore, est actuellement non significatif.

Une évolution similaire à celle du plomb, mais moins marquée en terme de différences de teneurs amont/aval, est observée pour le zinc (figure 29).

A noter que l'augmentation des teneurs enregistrées dans les sédiments pour les principaux éléments potentiellement polluants en aval immédiat des résidus de la Molette peut aussi être en partie attribuée aux oxyhydroxydes de fer précipités dans la zone de rejet de la résurgence du niveau 3 de la mine. Ces matériaux de type flocs vont en effet s'associer à la fraction la plus fine des sédiments. Au niveau du ruisseau, la répartition aval relativement restreinte des dépôts d'oxyhydroxydes liés à cette résurgence minière laisse toutefois penser que la contribution de ces derniers en aval lointain de la zone de la Molette reste peu importante au niveau des sédiments par rapport à celle liée aux résidus miniers eux-mêmes.

A l'exception de l'échantillon AUZ_SED09, les teneurs en chrome s'inscrivent pour la majorité des échantillons dans la gamme de valeur de l'environnement local témoin. Au niveau de la retenue du Miodet, elles se caractérisent par des valeurs inférieures à celles mesurées dans le cadre de la campagne EDF réalisée en 1987. Ce résultat est en accord avec ceux de la campagne de 2007 qui, par rapport à celle de 1987, avaient déjà mis en évidence une chute importante des teneurs en chrome au niveau de la retenue. Il reflète donc et confirme un abaissement important de la contamination en chrome initialement amenée par la Dore. La même remarque peut être établie pour le mercure dont les teneurs ont également fortement chuté entre 1987 et la date de la présente étude.

L'origine des HAP détectés au niveau de la retenue du Miodet peut, quant à elle, vraisemblablement être rattachée à un apport lié à la Dore et non au Miodet. Cette hypothèse est confortée par la position du point de prélèvement sur lequel ont été mis en évidence les HAP (sédiments prélevés dans la partie nord de la retenue). Rappelons en effet que ces composés n'ont pas été détectés lors de l'analyse effectuée sur les sédiments prélevés dans la partie sud de la retenue.

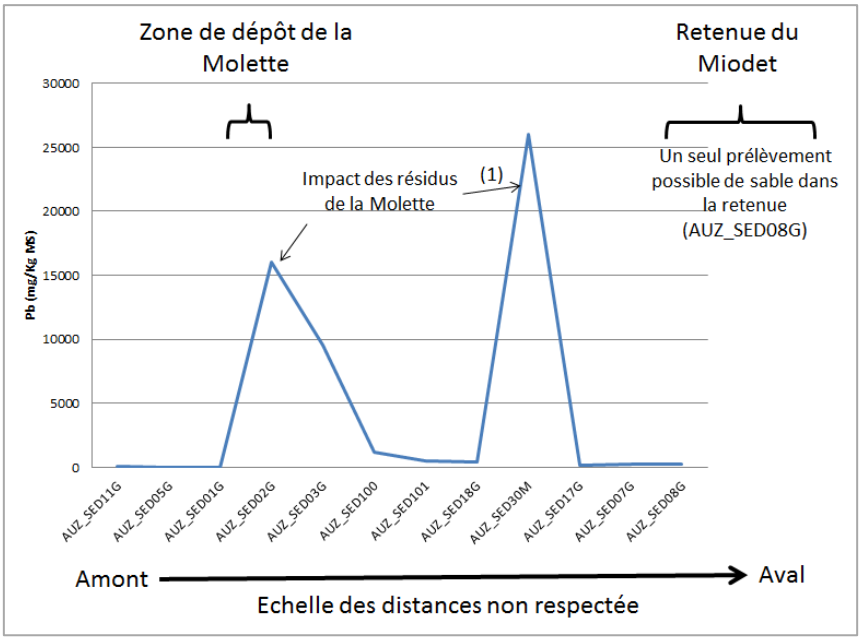
7.3.1.2 Sables de fonds de cours d'eau

Pour les sables (annexe 6 et tableau 14), les échantillons destinés à l'évaluation de l'environnement local témoin présentent des teneurs en arsenic comprises entre 23 mg/Kg MS et 150 mg/Kg MS et des teneurs en plomb comprises entre 7,4 mg/Kg MS et 53 mg/Kg MS. Pour le zinc et le chrome, elles se répartissent respectivement entre 43 mg/Kg MS et 130 mg/Kg MS, et entre 6.3 mg/Kg MS et 19 mg/Kg MS. Les teneurs en fer sont quant à elles comprises entre 8500 mg/Kg MS et 15000 mg/Kg MS et les teneurs en manganèse entre 190 mg/Kg et 330 mg/Kg MS.

A l'image des sédiments, les teneurs en métaux tels que plomb, arsenic, cadmium et zinc enregistrées dans les échantillons de sable présentent une augmentation en aval immédiat de la zone de la Molette (figures 30 et 31). Cette augmentation est beaucoup plus marquée pour le plomb qui se caractérise par des teneurs très élevées en aval proche des dépôts de la Molette (16000 mg/Kg MS et 9500 mg/Kg MS). A l'exception de l'échantillon AUZ_SED30M, prélevé au niveau de la zone de loisir située au sud-est de St-Dier-d'Auvergne et qui présente une forte contamination en plomb, arsenic, cadmium et zinc, les teneurs en métaux décroissent ensuite jusqu'à l'extrémité sud de la retenue du Miodet. Contrairement aux sédiments, aucune ré-augmentation des teneurs en plomb n'est constatée au niveau de l'extrémité sud de cette retenue. Nous rappelons que cette ré-augmentation est ici interprétée comme le témoin d'une accumulation de sédiments contaminés par les résidus miniers au niveau de la retenue. Pour les sables déposés au sein de cette dernière, il semble donc que la dilution par la fraction d'origine naturelle (sables issus de l'altération des roches) est suffisamment importante pour masquer la part de matériaux liés aux résidus miniers.

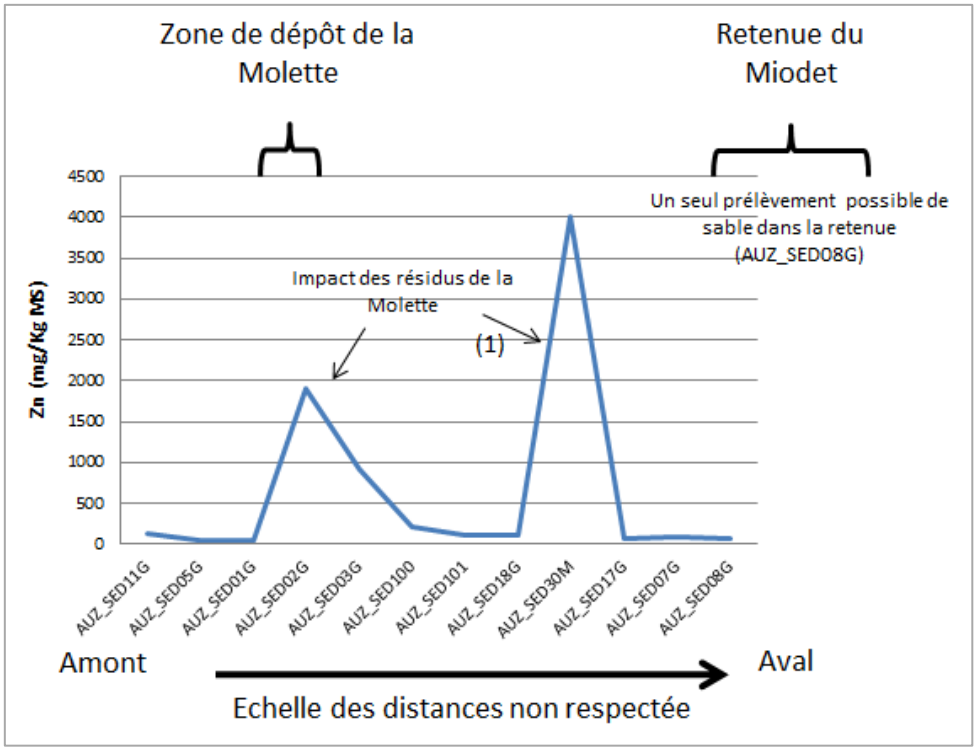
De la même manière, pour les échantillons prélevés en aval de la Molette, les teneurs en plomb enregistrées sur les sables restent globalement plus faibles que dans les échantillons de sédiments. Ceci s'explique par une dilution des particules les plus fines, généralement considérées comme les plus chargées en éléments potentiellement polluants (particules liées en grande partie aux résidus miniers). Cette dilution peut être attribuée à la fraction sableuse plus grossière et d'origine naturelle (fraction issue de l'altération des roches). Seul l'échantillon immédiatement prélevé en aval des dépôts fait exception à cette règle (très fort marquage lié aux résidus miniers que ce soit dans l'échantillon de sédiment ou de sable).

Le cas particulier de l'échantillon AUZ_SED30M prélevé au niveau de la zone de loisirs de St-Dier-d'Auvergne pourrait être expliqué par une contribution ponctuelle très marquée des résidus miniers, l'échantillon ayant pourtant été prélevé à environ 10 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Pour ce prélèvement, le rapport As/Fe est en effet identique à celui enregistré pour les résidus miniers (point situé sur la droite bleu du diagramme de la figure 27).



(1) : impact ponctuel supposé des résidus miniers de la Molette

Figure 30 : Evolution amont/aval des teneurs en plomb dans les sables du Miodet prélevés entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet



(1) : impact ponctuel supposé des résidus miniers de la Molette

Figure 31 : Evolution amont/aval des teneurs en zinc dans les sables du Miodet prélevés entre l'amont de la zone de dépôt de la Molette et la retenue du Miodet

7.3.2 Mesures NITON®

Les résultats de ces mesures sont présentés en annexe 5. La répartition géographique des teneurs en plomb et en arsenic enregistrée dans le cadre de ces investigations est présentée sur les cartes de l'annexe 5.

Nous ne développerons pas leur interprétation de manière aussi détaillée que les analyses de laboratoire. Ces mesures restent en effet des données semi quantitatives et ont, dans le cas présent, surtout été réalisées pour orienter le plan d'échantillonnage. Elles attirent toutefois quelques commentaires :

- Pour le plomb et l'arsenic les mesures effectuées sur les sédiments non impactés par l'activité minière indiquent des gammes de valeurs qui sont globalement du même ordre de grandeur que celles qui ont été obtenues à partir des analyses de laboratoire (annexe 5 ; tableau 15). Des gammes de valeurs de valeurs de l'ordre de 30 mg/kg à 100 mg/kg sont enregistrées pour le plomb et de 30 mg/kg à 500 mg/kg pour l'arsenic. Pour le zinc, la valeur haute de la gamme de valeurs NITON® obtenue pour l'environnement local témoin est par contre environ trois fois moins élevée que celle enregistrée avec les analyses de laboratoire (annexe 5 ; tableau 15).

- Pour les échantillons non impactés par l'activité minière, les teneurs en arsenic enregistrées lors des mesures NITON® s'avèrent hétérogènes et ponctuellement élevées, ce qui reflète le contexte d'anomalie géochimique déjà constaté au niveau de l'interprétation des analyses de laboratoire.

- Pour les sables et sédiments situés dans le Miodet, entre la zone de la Molette et la retenue du Miodet, ces mesures mettent en évidence des teneurs en plomb qui peuvent ponctuellement être très élevées, même à plusieurs kilomètres en aval de la zone de résidus de la Molette (de l'ordre de 6000 mg/Kg pour la mesure n°auz-12-sed-n33 effectuée au niveau du lieu-dit « Fleury » à environ 3 km en aval des dépôts de la Molette).

Substance	Gamme de concentrations (mg/kg)	
	NITON®	Analyse labo.
Arsenic	30-500	42-610
Plomb	30-100	27-78
zinc	< LOD-200	110-570

Tableau 15 : Comparaison des gammes de teneurs obtenues pour les environnements locaux témoins dans les sédiments avec les mesures NITON® et les analyses de laboratoire

7.4 Résidus miniers

Nous rappelons que ces résidus miniers (résidus de traitement) sont situés en contrebas de la D996 et qu'ils s'étalent jusqu'au Miodet. Leur volume total a été estimé dans une fourchette de 100 000 m^3 à 150 000 m^3.

D'un point de vue macroscopique, les résidus de traitement de la Molette présentent un aspect globalement homogène à l'exception de certaines passées particulières de texture argileuse et de couleur bleutée.

Les prélèvements ont été répartis sur l'ensemble de la zone de dépôts, jusqu'à une trentaine de centimètres de profondeur. 17 échantillons ont été prélevés pour analyse au laboratoire dont un au niveau d'une passée bleutée à faciès argileux (passée observée en début de ravine sur l'un des dépôts). Certains échantillons ont aussi été prélevés au niveau de la zone des anciens bassins de décantation figurant sur les plans miniers.

37 mesures NITON® ont par ailleurs été réparties sur l'ensemble de la zone de dépôt de résidus de la Molette.

7.4.1 Analyses de laboratoire

Pour l'ensemble des prélèvements, les teneurs en plomb sont très élevées et hétérogènes puisqu'elles varient entre 570 mg/Kg MS et 75 000 mg/Kg MS. Il en va de même pour l'arsenic et le zinc qui présentent des teneurs comprises respectivement entre 100 mg/Kg MS et 2 000 mg/Kg MS et entre 120 mg/Kg MS et 5000 mg/Kg MS. Les teneurs en manganèse varient pour leur part entre 14 mg/Kg MS et 630 mg/Kg MS. Enfin, il convient également de signaler l'antimoine et l'argent qui se caractérisent par des teneurs qui s'échelonnent entre la limite de quantification de la mesure et 280 mg/Kg MS pour l'antimoine et 170 mg/Kg MS pour l'argent.

La plupart des échantillons prélevés au niveau de la zone de bassin (AUZ_S08BIS-0-30, AUZ_S08-3-6, AUZ_S08-6-30, AUZ_S08TER-0-30) et qui présentent des proportions importantes de matériaux à faciès argileux (matériel de couleur bleutée ou de couleur verdâtre à grisâtre) se caractérisent par des teneurs en métaux et métalloïdes globalement plus élevées que le reste des résidus.

De fortes teneurs en métaux et métalloïdes sont également à signaler pour le prélèvement effectué sur une des passées bleutées à faciès argileux (AUZ_SOL04-bis) située au niveau d'une ravine affectant le dépôt de résidus. Cet échantillon se caractérise notamment par la teneur maximum enregistrée au niveau du cadmium (120 mg/Kg MS). Ces passées particulières sont ici interprétées comme des zones présentant de fortes proportions de sulfures.

En ce qui concerne les composés organiques, les informations extraites de la consultation des archives minières indiquent qu'aucune substance organique autre que du charbon n'a *a priori* été utilisée lors des activités d'extraction et de traitement. Cependant au regard de certains indices visuels et olfactifs, constatés lors du prélèvement d'un échantillon de sols (AUZ_S 08TER-0-30), en contrebas des résidus vers les zones de bassins, des analyses d'hydrocarbures aromatiques polycycliques ont néanmoins été réalisées. Elles n'ont au final pas mis en évidence la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, les 16 HAP analysés indiquant des concentrations inférieures à la limite de quantification de 0,03 mg/Kg MS (annexe 6).

7.4.2 Mesures NITON®

Comme pour les sédiments et les sables, il est important de rappeler ici que les mesures NITON® restent des données semi quantitatives contrairement aux résultats des analyses de laboratoire qui fournissent les teneurs exactes en métaux et métalloïdes contenues dans l'échantillon. Nous ne développerons donc pas leur interprétation de manière aussi détaillée que celle des analyses de laboratoire. Les mesures NITON® ont, dans le cas présent, surtout été réalisées pour orienter le plan d'échantillonnage.

Quoi qu'il en soit, les mesures effectuées sur les résidus miniers confirment la gamme de valeurs très élevées obtenues pour les teneurs en plomb lors des analyses de laboratoire. Elles corroborent également les mesures NITON® effectuées par GEODERIS en 2010 (tableau 1). Les teneurs les plus élevées enregistrées sont de l'ordre de 70 000 mg/Kg pour les mesures NITON® et de 75 000 mg/Kg pour les analyses de laboratoire (annexes 5 et 6). Les mesures NITON® confirment par ailleurs les fortes teneurs en métaux et métalloïdes observées au niveau des passées bleutées à verdâtres de texture argileuse et situées au sein du dépôt de résidus (exemple de la mesure n° auz-12-sol-n3).

Parmi les mesures effectuées au niveau des résidus, seules trois d'entre elles font exception de par leur teneur en plomb plus faible (< 2000 mg/Kg ; annexe 5). Deux de ces mesures (n° auz-sol-n27 et auz-sol-n36) ont été réalisées sur des échantillons prélevés par carottage au niveau d'anciens bassins (profondeurs respectives de prélèvement allant jusqu'à 1.40 m et 1.20 m). Les teneurs en plomb plus faibles obtenues sur ces points de mesure laissent à penser que le carottage a atteint le substratum de ces deux bassins. La troisième mesure (n°auz-sol-n24) a été effectuée sur la zone de la Molette mais en amont de la laverie ce qui peut expliquer sa teneur en plomb plus faible.

7.5 Sols

Différents horizons de sols ont été prélevés dans le cadre de cette étude. Il s'agit de sols de surface non remaniés et de sols remaniés (sols cultivés des potagers).

Certains prélèvements ont par ailleurs été dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin.

Au total, 38 prélèvements de sols ont été répartis sur l'ensemble du secteur d'étude en vue d'une analyse de laboratoire. 27 mesures NITON® ont été effectuées au niveau des sols.

7.5.1 Mesures de laboratoire

7.5.1.1 Sols de surface non remaniés

a) <u>Environnement local témoin</u>

Les résultats des échantillons qui ont permis d'évaluer l'environnement local témoin sont présentés en annexe 6 et tableau 15. Ils ont été prélevés au niveau de l'horizon superficiel du sol (entre 0 et 20 cm), sur des zones supposées être en dehors de toute influence minière. La répartition de ces prélèvements en fonction de la géologie est présentée sur la figure 32. Aucune relation claire n'est a priori apparue entre la nature géologique des terrains investigués et les teneurs en métaux et métalloïdes enregistrées pour l'environnement local témoin.

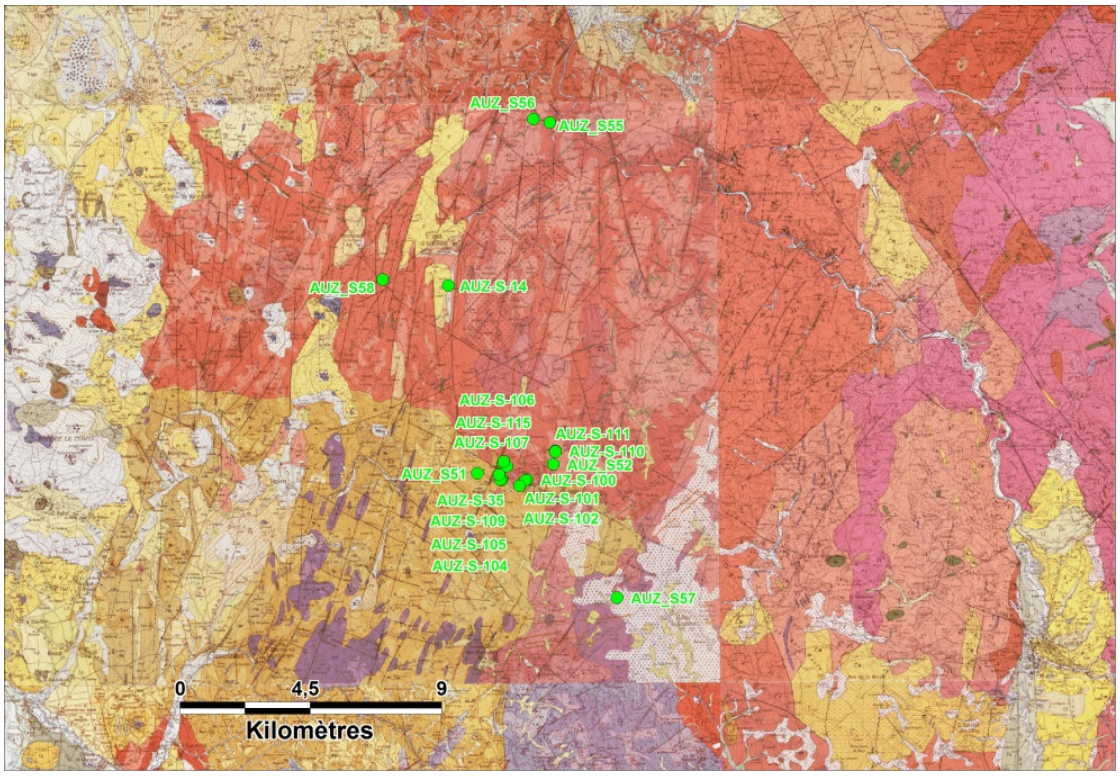


Figure 32 : Répartition, en fonction de la géologie, des points de prélèvements de sols dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin

L'environnement local témoin évalué pour les sols de surface non remaniés se caractérise par des teneurs hétérogènes en arsenic, en plomb et en zinc avec, pour l'arsenic, des concentrations qui peuvent être ponctuellement élevées. Les gammes de teneurs enregistrées pour l'arsenic, le plomb et le zinc sont respectivement comprises entre 16 mg/Kg MS et 510 mg/Kg MS, entre 21 mg/Kg MS et 100 mg/Kg MS et entre 44 mg/Kg MS et 400 mg/Kg MS. Cette hétérogénéité s'inscrit dans les spécificités d'un environnement minier qui implique un contexte d'anomalie géochimique. On notera que les prospections géochimiques effectuées par le BRGM dans les années 60 sur un secteur situé au nord d'Auzelles mettent en évidence plusieurs zones d'anomalies géochimiques en plomb. Les teneurs des autres métaux restent comprises dans des gammes de valeurs faibles (< LQ - 0.91 mg/Kg MS pour le cadmium, 10 mg/Kg MS - 77 mg/Kg MS pour le chrome, 5.8 mg/Kg MS - 43 mg/Kg MS pour le cuivre, 4.8 mg/Kg MS -36 mg/Kg MS pour le nickel, < LQ – 11 mg/Kg MS pour l'antimoine et < LQ pour l'argent).

Dans le cadre de l'évaluation de l'environnement local témoin, on notera plus particulièrement plusieurs échantillons qui se distinguent par des teneurs en arsenic plus élevées que les autres prélèvements et qui sont très vraisemblablement à mettre en relation avec la présence de zone naturellement minéralisées :

- deux échantillons (AUZ-S-110-0-3 ; AUZ-S-111-0-3) prélevés au niveau de la zone avoisinant le plan d'eau situé à 1.5 km au nord-est d'Auzelles et donc supposés hors influence des travaux miniers. Les prélèvements ont été réalisés dans la clairière en bordure de ce plan d'eau. Le jour de la visite, des traces de fréquentation y était clairement visibles (traces de feu de bois). Les teneurs en arsenic enregistrées sur ces deux échantillons sont respectivement de 380 mg/Kg MS et de 340 mg/Kg MS.

- trois échantillons prélevés à environ 150 m au sud-ouest du lieu-dit « la Molette » (AUZ-S-105-0-10, AUZ-S-104-0-10 et AUZ-S-109-3-10) et pour lesquels les teneurs en arsenic sont respectivement égales à 510 mg/Kg MS, 330 mg/Kg MS et 390 mg/Kg MS. Là encore ces échantillons ont été considérés hors influence minière car situés en amont des travaux miniers. Les mesures NITON® effectuées dans le même secteur montrent, au niveau des sols, des teneurs en plomb peu élevées, ce qui confirme l'absence d'impact liés aux résidus miniers. Pour ce secteur, ces mesures permettent notamment d'écarter une éventuelle contamination des terrains liée à des envols de poussières issues des dépôts de la Molette.

- un échantillon prélevé à environ 350 m à l'est du lieu-dit de Darnes (AUZ-S52) où la teneur en arsenic enregistrée est de 400 mg/Kg MS. De par sa position géographique (2 km à l'est des travaux miniers de la Molette) ce point de prélèvement est supposé, là encore, non impacté par l'activité minière.

- deux échantillons prélevés au niveau du talus en terre de la D996, en face de la zone de la Molette (AUZ-35-0-3 et AUZ-35-0-20). Les teneurs en arsenic enregistrées sur ces échantillons sont respectivement de 410 mg/Kg MS et 440 mg/Kg MS. Bien que situés dans un environnement proche de la zone de dépôt de la Molette, nous avons malgré tout considéré ces points comme non impactés par les résidus miniers, les mesures NITON® n'ayant pas mis en évidence, dans ce secteur, la présence d'un impact significatif lié à d'éventuelles retombées de poussières issues des dépôts miniers. Les faibles teneurs en plomb enregistrées sur les deux échantillons AUZ-S35, confirment cette hypothèse (64 mg/Kg MS et 57 mg/Kg MS).

Substance	Gamme de concentrations (mg/kg MS)	
	minimum	maximum
Sol de surface (sol non remanié)		
Arsenic	16	510
Antimoine	<LQ (5)	11
Argent	<LQ (5)	<LQ (5)
Cadmium	<LQ (0,4)	0,91
Cuivre	5.8	43
Plomb	21	100
Chrome	10	77
Nickel	4.8	36
Zinc	44	400
Sol de culture (sol remanié)		
Arsenic	39	940
Antimoine	<LQ (5)	<LQ (5)
Argent	<LQ (5)	<LQ (5)
Cadmium	<LQ (0,4)	0,99
Cuivre	11	62
Plomb	55	250
Chrome	24	38
Nickel	10	17
Zinc	79	190

LQ : limite de quantification

Tableau 16 : Gammes de concentrations (minimum – maximum) en métaux et métalloïdes évaluées dans les sols pour l'environnement local témoin

b) <u>Sols situés en aval ou à proximité immédiate des résidus de la Molette</u>

Les échantillons décrits ci-après ont été prélevés en aval ou à proximité immédiate de la zone de dépôts miniers de la Molette.

<u>Sols de prairies et autres sols potentiellement impactés par les résidus miniers</u>

Les teneurs en métaux obtenues sur ces sols apparaissent assez hétérogènes, notamment pour les teneurs en plomb qui peuvent s'avérer ponctuellement élevées.

Plusieurs échantillons de sols prélevés en bordure du Miodet au niveau des prairies situées en aval de la zone de la Molette, montrent des teneurs en plomb élevées, parfois très supérieures à la gamme de teneurs établie pour l'environnement local témoin. Ces prélèvements sont listés ci-après :

- AUZ-S-23-0-3 a été prélevé à environ 3 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Le prélèvement a été effectué à plus d'un mètre en bordure du Miodet sur une zone présentant un dénivelé d'environ 1 m par rapport à ce dernier. Les teneurs en arsenic et plomb y sont élevées (respectivement de 420 mg/Kg MS et 4700 mg/Kg MS). Nous verrons que les concentrations en plomb enregistrées dans les herbes de cette zone sont également élevées. Cet échantillon se caractérise aussi par un dépassement des teneurs en antimoine (15 mg/Kg MS), cadmium (3.1 mg/Kg MS), argent (6.8 mg/Kg MS) et zinc (450 mg/Kg MS) par rapports aux gammes de l'environnement local témoin.

- AUZ-S-39-0-10 prélevé à environ 6 km en aval de la zone de la Molette au niveau du lieu-dit du « Poyet ». Cet échantillon se caractérise par une teneur en plomb de 2000 mg/Kg MS. A noter que les teneurs en cadmium (1.5 mg/Kg MS) dépassent également les gammes de valeurs de l'environnement local témoin. En face de ce prélèvement, un autre échantillon de sol a aussi été collecté. Il s'agit de l'échantillon AUZ-S-114-0-10 (composite de 3 points). Pour les métaux considérés dans cette étude, ce dernier ne présente aucune anomalie par rapport aux gammes de l'environnement local témoin.

- AUZ-S-27-0-10 prélevé à environ 8 km en aval de la zone de la Molette au niveau d'une prairie située en bordure du Miodet (lieu-dit des « Gravières »). Cet échantillon montre une teneur en plomb de 710 mg/Kg MS. A noter que le jour de la visite, du bétail a pu être observé sur cette prairie. Le prélèvement est un composite de deux points situés à 3 à 4 m du bord de la prairie, en face d'une maison. La propriétaire mentionne que l'eau atteint parfois le bas de la prairie. Elle mentionne également qu'il y avait autrefois des truites au niveau du ruisseau qui ont maintenant disparus à cause de la présence de plus en plus importante de sédiments. L'existence de ces sédiments a été constatée lors de la visite de terrain et un prélèvement réalisé sur ces derniers indique une teneur élevée en plomb et en arsenic (respectivement 510 mg/kg et 110 mg/kg).

- AUZ-S-29-0-10 a été échantillonné dans une praire située en bordure du Miodet à environ 9 km de la zone de dépôt de la Molette, au niveau du lieu-dit « La Roche ». Là encore, la teneur en plomb enregistrée sur cet échantillon (210 mg/Kg MS) est supérieure à la gamme de valeurs de l'environnement local témoin.

- AUZ-S41-0-10 a été échantillonné en bordure du Miodet à environ 12 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. La teneur en plomb enregistrée sur cet échantillon (440 mg/Kg MS) est supérieure à la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin. Un autre échantillon (AUZ-S-33-0-10) prélevé dans la même prairie, mais plus loin du ruisseau (échantillonné coté route), montre quant à lui une teneur en plomb beaucoup plus faible (44 mg/Kg MS), inférieure à la borne haute évaluée pour l'environnement local témoin.

- AUZ_S54 a été échantillonné en bordure du Miodet à environ 16 km en aval de la zone de dépôt de la Molette. Le prélèvement a été réalisé à proximité du potager du « Moulin Neuf ». La teneur en plomb enregistrée sur cet échantillon (150 mg/Kg MS) est, là encore, supérieure à la gamme de valeurs de l'environnement local témoin.

On notera ici les teneurs en plomb particulièrement élevées de l'échantillon AUZ-S-23-0-3 pourtant situé à plusieurs kilomètres en aval de la zone de dépôts de la Molette.

Outre cet ensemble d'échantillons prélevés au niveau de prairies situées en bordure du Miodet et en aval des dépôts de la Molette, il faut aussi signaler l'existence d'autres échantillons de sols prélevés en bordure du Miodet mais non rattaché à des prairies. Il s'agit :

- de l'échantillon AUZ-S-37-0-20 qui a été prélevé en bordure du Miodet, à proximité immédiate de la partie est de la zone de dépôt de la Molette (en contre bas d'une balançoire observée au niveau de la propriété de « Chabanettes »). Cet échantillon montre, là encore, une teneur en plomb (310 mg/Kg MS) supérieure à la gamme définie pour l'environnement local témoin. Les autres métaux et métalloïdes restent à des niveaux de teneur inférieurs à la borne haute évaluée pour la gamme de l'environnement local témoin.

- de l'échantillon AUZ_S50 qui a été prélevé sur un sol situé en bordure du Miodet, en aval immédiat de la zone de dépôt de la Molette. Le prélèvement a été effectué au niveau d'une petite terrasse enherbée située à moins de 50 cm du niveau du ruisseau. Ses teneurs en antimoine (29 mg/Kg MS), arsenic (710 mg/Kg MS), plomb (5700 mg/Kg MS) et argent (13 mg/Kg MS) sont supérieures aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin. A noter, là encore, une très forte teneur en plomb pour cet échantillon situé en aval des résidus de la Molette.

- de l'échantillon AUZ-S-108-0-3 qui a été prélevé en bordure du Miodet, non loin de la zone de dépôt de la Molette. La teneur en plomb enregistrée sur cet échantillon (260 mg/Kg MS) est supérieure à la fourchette de valeur de l'environnement local témoin. Pour les autres métaux et métalloïdes analysés, les teneurs restent peu élevées, en deçà ou voisines de la borne haute des gammes définies pour l'environnement local témoin.

- des deux échantillons AUZ-S-30-0-3, AUZ-S30-bis-0-3 qui ont été prélevés à environ 11 km en aval des dépôts de la Molette. Ils ont été effectués au niveau de l'aire de repos et de pique-nique (présence de bancs et de tables) située à l'entrée sud de Saint-Dier-d'Auvergne et pour partie localisée le long du Miodet. Pour ces deux échantillons, les concentrations en plomb (730 mg/Kg MS pour AUZ-S-30-0-3 et 180 mg/Kg MS pour AUZ-S30bis-0-3) sont, là encore, supérieures à la gamme de teneurs retenues pour l'environnement local témoin. Rappelons qu'un échantillon de sable prélevé sur ce secteur (AUZ_SED-30M) présentait lui aussi une teneur en plomb particulièrement élevée (26 000 mg/Kg MS; cf. 6.3.2). Les teneurs des autres métaux et métalloïdes restent pour leur part peu élevées, (inférieures voire, dans certains cas, légèrement supérieures aux bornes hautes des gammes de valeurs définies pour les environnements locaux témoins).

- de l'échantillon AUZ-S-113-0-3 qui a été prélevé au niveau d'une pelouse située dans l'un des jardins du lieu-dit de « Chabannettes » . Il s'agit de l'ancien emplacement du parc à cochons. Cet échantillon ne présente pas d'anomalie de teneurs par rapport à l'environnement local témoin.

7.5.1.2 Sols de surface avec horizon remanié (potagers)

a) Environnement local témoin

Pour les sols avec horizons remanié, les prélèvements destinés à l'évaluation de l'environnement local témoin ont portés sur quatre potagers (annexe 6 et tableau 16). Trois sont situés au niveau du village d'Auzelles (AUZ-S-100-0-30, AUZ-S-101-0-30 et AUZ-S-102-0-30) et un à proximité du lieu-dit « Chabanettes » (AUZ-S-106-0-30).

Les teneurs enregistrées sur ces sols sont hétérogènes pour l'arsenic et le plomb, avec des valeurs qui peuvent parfois être élevées pour l'arsenic (gammes de teneurs respectivement enregistrées entre 39 mg/Kg MS et 940 mg/Kg MS pour l'arsenic et entre 55 mg/Kg MS et 250 mg/Kg MS pour le plomb). L'hétérogénéité des ces teneurs est là encore à mettre en relation avec le contexte d'anomalie géochimique du secteur lié à la présence de zones naturellement minéralisées. A noter ici que dans l'environnement proche du point de prélèvement AUZ-S-101, point qui présente une teneur élevée en arsenic, la BSS signale une zone minéralisée en mispickel, autunite, pyrite et accessoirement galène (indice situé entre la Croix de Pradier à l'est et le nord d'Auzelles à l'ouest ; n° BSS 07188X4001/GT).

Pour les autres éléments, les teneurs restent moins élevées. Les gammes de concentrations enregistrées sont de 79 mg/Kg MS -190 mg/Kg MS pour le zinc, < LQ - 0.99 mg/Kg MS pour le cadmium, 24 mg/Kg MS - 38 mg/Kg MS pour le chrome, 11 mg/Kg MS -62 mg/Kg MS pour le cuivre, 10 mg/Kg MS -17 mg/Kg MS pour le nickel et < LQ pour l'argent.

b) Potagers situés en aval ou à proximité de la zone de la Molette

Tous les sols de potagers analysés en aval ou à proximité de la zone de la Molette montrent des teneurs en métaux et métalloïdes qui s'inscrivent dans les gammes de valeurs retenues pour l'environnement local témoin. A noter que pour certains éléments, ces teneurs peuvent parfois être légèrement supérieures à la borne haute de ces gammes, mais restent malgré tout voisines de cette dernière.

Pour les potagers situés en aval ou à proximité de la zone de la Molette, les prélèvements suivants ont été réalisés au niveau :

- d'un potager situé au lieu-dit « Chabanettes » (proximité immédiate de la zone de dépôt de la Molette : AUZ-S-112-0-30) dans lequel aucun végétal n'a été prélevé, les concentrations en arsenic, plomb et zinc sont respectivement de 200 mg/Kg MS, 130 mg/Kg MS et 140 mg/Kg MS. Cet échantillon ne montre pas d'anomalie significative par rapport à l'environnement local témoin.

- d'un potager situé au lieu-dit « Fleury » (environ 3 km en aval de la zone de dépôt de la Molette : AUZ-S-10-0-30) où des végétaux ont été prélevés. Les concentrations en arsenic, plomb et zinc sont respectivement égales à 470 mg/Kg MS et 170mg/Kg MS. Comme le précédent, cet échantillon ne présente pas d'anomalie marquée par rapport à l'environnement local témoin.

- d'un potager localisé au lieu-dit « Moulin Neuf » (environ 16 km en aval de la zone de dépôt de la Molette : AUZ-S-34-0-30) où ont été prélevés des végétaux. Les concentrations en arsenic, en plomb et en zinc mesurées respectivement sur cet échantillon sont de 63 mg/Kg MS, 96 mg/Kg MS et 140 mg/Kg MS. Là encore, il ne présente pas d'anomalie marquée par rapport aux gammes de valeurs de l'environnement local témoin

7.5.1.3 Synthèse

a) Arsenic

Les teneurs en arsenic mesurées sur les sols non remaniés et sur les sols de potagers se caractérisent par une forte hétérogénéité et peuvent être ponctuellement élevées. Pour les sols situés en aval de la zone de la Molette et donc potentiellement impactés par les résidus miniers, il convient notamment de signaler la teneur élevée en arsenic enregistrée sur le sol du potager du lieu-dit « Fleury » (AUZ-S-10-0-30) avec 470 mg/Kg MS. Même si cette teneur reste comprise dans la gamme de l'environnement local témoin, il est important de rappeler que la borne haute de cette gamme est elle-même élevée du fait du contexte d'anomalie géochimique relatif au site minier. Compte tenu de la position géographique du prélèvement (bordure du Miodet et aval de la zone de dépôt de la Molette), il reste ici difficile de faire la part entre une contribution naturelle potentielle liée à une zone minéralisée et une contribution anthropique liée à l'héritage de l'ancienne activité minière (décharges de résidus issus des dépôts de la Molette lors des épisodes intenses de crue).

b) Plomb

Comme pour l'arsenic, les teneurs en plomb apparaissent hétérogènes. Des concentrations supérieures à la gamme de l'environnement local témoin sont enregistrées sur les deux aires de loisir identifiées sur la zone d'étude. De fortes teneurs en plomb (supérieures à la gamme de l'environnement local témoin) sont aussi enregistrées sur plusieurs sols de prairies ou sur de simples terrains situés en bordure du Miodet et en aval des dépôts de la Molette. A noter que ces teneurs peuvent être particulièrement élevées sur certains points (échantillons AUZ-S-23-0-3 et AUZ_S50).

c) Autres éléments

Pour l'ensemble des échantillons que ce soit pour les sols non remaniés ou les sols de potagers, les autres éléments traces métalliques ou métalloïdes analysés restent à des niveaux de teneurs peu élevés, souvent inférieurs à la limite de quantification. Pour deux des échantillons de sols prélevés en aval de la zone de résidus de la Molette (échantillons AUZ-S-23-0-3 et AUZ_S50), à noter quand même des teneurs en certains métaux et métalloïdes supérieures aux gammes de valeurs définies pour l'environnement local témoin (exemple de l'antimoine et de l'argent).

7.5.1.4 Interprétation

L'hétérogénéité des teneurs en plomb et en arsenic trouvées au niveau des sols peut être imputée à la fois au contexte d'anomalie géochimique du secteur ainsi qu'à la présence des résidus de la zone de la Molette. A noter par exemple le cas d'un sol de potager situé hors influence minière et qui présente une teneur élevée en arsenic (940 mg/kg MS pour l'échantillon AUZ-S-102-0-30) interprétée comme étant due à la présence d'une zone naturellement minéralisée.

Les teneurs en plomb et arsenic enregistrées sur les prélèvements de sols effectués en bordure du Miodet, en aval de la zone de dépôt de la Molette (entre les dépôts et la partie sud de la retenue du Miodet) peuvent être localement fortes à très fortes (de l'ordre de 5000 mg/Kg MS pour les deux plus élevées). Ces teneurs, supérieures à la gamme de valeur de l'environnement local témoin, peuvent être interprétées comme le reflet d'une contamination des terrains situés en bordure du Miodet par les résidus miniers issus de la zone de la Molette lors d'épisodes pluvieux intenses (résidus miniers déposés lors des périodes d'inondation des terrains situés en bordure du Miodet). Cette hypothèse est corroborée par les fortes teneurs en plomb observées au niveau des sédiments prélevés

dans le Miodet entre la zone de la Molette et la retenue du Miodet. **L'impact sur les terrains provoqué par ces dépôts de résidus miniers peut être fort et reste perceptible même à une distance de plusieurs kilomètres des dépôts.** Pour preuve, l'échantillon de sol AUZ-S-23-0-3, prélevé à environ 3 km en aval des résidus de la Molette, présente une teneur en plomb de 4700 mg/Kg MS.

7.5.2 Mesures NITON®

Les résultats de ces mesures sont donnés en annexe 5. La répartition géographique des teneurs en plomb et en arsenic enregistrée dans le cadre de ces investigations est présentée sur les cartes de l'annexe 5.

Pour les raisons évoquées dans le cadre des mesures effectuées sur les sédiments, les sables et les résidus miniers, nous ne développerons pas l'interprétation des mesures NITON®. Ces dernières amènent toutefois quelques commentaires :

- Pour l'arsenic les mesures effectuées sur les sols non impactés par l'activité minière indiquent une gamme de valeurs globalement du même ordre de grandeur que celle qui a été obtenue à partir des analyses de laboratoire (annexe 5 ; tableau 17). Cette gamme s'échelonne entre des teneurs de l'ordre de 40mg/kg à 550 mg/kg. Quelques différences avec les résultats des analyses de laboratoire sont par contre constatées pour le plomb et le zinc. Pour le plomb, la valeur haute de la gamme de valeurs NITON® obtenue pour l'environnement local témoin est en effet plus élevée que celle enregistrée avec les analyses de laboratoire (annexe 5 ; tableau 17). A l'inverse, pour le zinc, la valeur haute de la gamme de valeurs NITON® obtenue pour l'environnement local témoin est deux fois moins élevée que celle enregistrée avec les analyses de laboratoire (annexe 5 ; tableau 17).

- Comme pour les sédiments et les sables, les teneurs en arsenic enregistrées lors des mesures NITON® sur les échantillons non impactés par l'activité minière s'avèrent hétérogènes et ponctuellement élevées, ce qui reflète le contexte d'anomalie géochimique déjà constaté au niveau de l'interprétation des analyses de laboratoire.

- Les mesures NITON® effectuées sur les sols confirment les résultats d'analyse de laboratoire. Elles montrent des teneurs très hétérogènes en arsenic et en plomb et qui se répartissent respectivement entre des gammes de l'ordre de 40 mg/Kg à 500 mg/Kg et de 40 mg/Kg à 3500 mg/Kg.

- Pour les sols situés en bordure du Miodet, entre la zone de la Molette et la retenue du Miodet, ces mesures mettent en évidence des teneurs en plomb qui peuvent ponctuellement être élevées, même à plusieurs kilomètres en aval de la zone de dépôts de la Molette (de l'ordre de 700 mg/Kg).

A noter que l'ensemble des mesures NITON® commenté ci-dessus a également été complété par deux mesures effectuées au niveau de la zone de travaux du Chalus (échantillons n° auz-12-sol-n34 et auz-12-sol-n35). Ces dernières ont été réalisées sur les sols situés au voisinage de l'ancien puits du Fayet. Les données obtenues mettent en évidence un impact minier qui se traduit par des teneurs en plomb et surtout en arsenic élevées (respectivement de l'ordre de 550 mg/Kg et 1800 mg/Kg pour l'arsenic et de 289 mg/Kg et 121 mg/Kg pour le plomb). Toutefois, nous rappelons ici que l'objectif de la présente étude se concentre sur l'analyse de l'impact environnemental et sanitaire généré par le site de la Molette, principal site d'extraction et de traitement de la concession d'Auzelles. Les deux mesures effectuées sur le site du Chalus dans le cadre de cette étude ne sont que complémentaires et indicatives. Elles ne peuvent bien sûr pas permettre, à elles seules, d'évaluer l'impact de l'ancienne activité minière sur l'ensemble de ce site. L'activité minière sur ce dernier est *a priori* restée très limitée par rapport à celle de la mine d'Auzelles.

Substance	Gamme de concentrations (mg/kg)	
	NITON®	Analyse labo.
Arsenic	40-550	16-510
Plomb	40-350	21-100
Zinc	< LOD-200	44-400

Tableau 17 : Comparaison des gammes de teneurs obtenues pour les environnements locaux témoins dans les sols avec les mesures NITON® et les analyses de laboratoire

7.6 Végétaux

En préambule, il est rappelé que l'objectif des prélèvements d'espèces végétales issues des potagers est d'estimer une éventuelle contamination et exposition des populations :

- par dépôts particulaires sur les feuilles via des émissions de particules issues des sols et/ou des dépôts de résidus, et via l'eau d'arrosage ;
- par transfert racinaire via une contamination des sols et/ou de l'eau d'arrosage ;
- par transfert foliaire via une contamination de l'eau d'arrosage.

7.6.1 Végétaux potagers

Il est ici important de rappeler que la démarche de l'IEM est une approche itérative et progressive ne conduisant pas systématiquement à la caractérisation des végétaux potagers (celle-ci n'ayant lieu que lorsque la qualité des sols de surface l'impose, ou dans le cas de prédominance du vecteur de transfert par envol de particules). Cependant, dans le cadre de cette étude ont été réalisé d'emblée les prélèvements des différents milieux d'exposition potentielle dont les végétaux autoproduits.

Les résultats d'analyses des végétaux potagers sont présentés en annexe 6.

7.6.1.1 Environnement local témoin

Plusieurs potagers situés en amont de la zone de dépôt de la Molette ont été échantillonnés pour évaluer l'environnement local témoin.

Un jardin potager situé sur le lieu-dit « Chabanettes a ainsi fait l'objet d'un prélèvement de végétal. Ce dernier a été associé à un prélèvement de sol (AUZ-S106-0-30). Au regard des faibles quantités de matrices disponibles au moment de la visite de terrain, seules des blettes (feuilles et tiges : AUZ-VEG-106-BLE-F et AUZ-VEG-106-BLE-T) ont été prélevées. Aucune information n'est actuellement disponible en termes de pratiques d'arrosage pour ce potager, les propriétaires étant absents lors des prélèvements. Nous rappelons qu'un autre jardin de ce lieu-dit a également été le siège d'un prélèvement de sol (AUZ-S-112), aucun végétal n'ayant été prélevé au niveau de ce potager. Pour ce dernier, l'arrosage a en effet uniquement été effectué avec de l'eau de pluie pendant plusieurs années. A noter qu'avant cette pratique, l'eau de la fontaine située à proximité du potager était utilisée mais uniquement pour l'arrosage des parterres de fleurs.

Au niveau du village d'Auzelles, deux jardins arrosés avec de l'eau superficielle, ont fait l'objet de prélèvements de végétaux :

- Au nord, le jardin, AUZ-VEG-100 a été le siège de prélèvements de divers légumes : des légumes de type tubercule (deux variétés de pommes de terre : AUZ-VEG-100-PDT-B et AUZ-VEG-100-PDT-R), de type racine (carottes : AUZ-VEG-100-CAR), de types feuille (salades : AUZ-VEG-100-SAL, feuilles de poireaux : AUZ-VEG-100-POIR-F et choux : AUZ-VEG-100-CHOU). Les tiges/blancs de poireaux ont également été prélevés (AUZ-VEG-100-POIR-T). En rappel, le jardin est arrosé avec de l'eau superficielle recueillie dans un bassin (prélèvement AUZ_L_100) ; le prélèvement de sol associé est représenté par l'échantillon AUZ-S-100-0-30.

- A l'entrée est du village d'Auzelles, un autre jardin a été investigué. Des légumes de type feuille (salade : AUZ-VEG-102-SAL, feuilles de poireau : AUZ-VEG-102-POIR-F), de type tige (les tiges/blancs de poireaux : AUZ-VEG-102-POIR-T), de type racine (betteraves : AUZ-VEG-102-BE et carottes : AUZ-VEG-102-CAR), de type fleur (brocoli : AUZ-VEG-102-BRO), de type fruit (cornichons : AUZ-VEG-102-CORN) y ont été prélevés. Comme le précédent, ce jardin est également arrosé avec de l'eau superficielle (AUZ-L-102). Pour ce potager, un prélèvement de sol a été associé aux prélèvements de végétaux (AUZ-S-102-0-30).

Au niveau du centre du village d'Auzelles, nous citerons pour mémoire un autre potager qui a retenu l'attention lors de la campagne de prélèvements. Ce dernier n'a toutefois fait l'objet d'aucun prélèvement de végétal car n'étant plus arrosé que par de l'eau de pluie et ne pouvant, de plus, faire l'objet de prélèvements de végétaux en quantités suffisantes pour la réalisation des analyses. Un prélèvement de sol y a par contre été effectué (AUZ-S101-0-30), ainsi qu'un prélèvement de l'eau utilisée par le passé pour l'arrosage (AUZ-L-101).

A contrario des autres milieux caractérisés, pour les végétaux potagers il n'est pas présenté de tableau avec les gammes de concentrations dans les végétaux représentatives de l'environnement local témoin. En effet, les jardins arrosés avec des eaux souterraines, considérés comme représentatifs de l'environnement local témoin, présentent des concentrations dans les sols remaniés dans la gamme hautes des valeurs de concentrations de l'environnement local témoin, et ainsi supérieures à celles des jardins potentiellement impactés par les anciennes activités minières.

7.6.1.2 Potagers situés en bordure du Miodet, en aval de la zone de dépôt de la Molette

Deux potagers ont été investigués :

- Un premier situé au lieu-dit « Fleury » (environ 3 km en aval de la zone de dépôt de la Molette), en bordure du cours d'eau. Il a fait l'objet de prélèvement de végétaux de type feuille (salade : AUZ-VEG-02-SAL), de type fruit (courgettes : AUZ-VEG-02-COU, tomates : AUZ-VEG-02-TOM et citrouille : AUZ-VEG-02-CIT). En l'absence du propriétaire, aucune information concernant les pratiques culturales et d'arrosage n'est connue. Cependant, la voisine, présente sur les lieux au moment de la visite de terrain, a mentionné l'utilisation de l'eau du cours d'eau pour l'arrosage. Le prélèvement de sol associé est AUZ-S-10-0-30.

- Un deuxième situé au lieu-dit « Moulin Neuf » (environ 16 km en aval de la zone de dépôt de la Molette) a été le siège de prélèvements de végétaux de type feuille (feuilles de poireau : AUZ-VEG-12-POIR-F), de type tige (tige/blancs de poireaux : AUZ-VEG-12-POIR-T) et de type racine (carottes : AUZ-VEG-12-CAR). Aucune information concernant les pratiques culturales et d'arrosage n'est connue. Un prélèvement d'eau superficielle y a été réalisé (AUZ_L_103), ainsi qu'un prélèvement de sol (AUZ-S-34-0-30).

Les prélèvements réalisés dans les jardins avec les différents types de végétaux ainsi que les prélèvements de sols et d'eau d'arrosage associés sont synthétisés dans le Tableau 18.

7.6.2 Herbes de prairies

Les résultats d'analyses des herbes de prairie sont présentés en annexe 6.

Cinq prélèvements ont été réalisés. Le premier a été prélevé sur un secteur supposé en dehors de toute influence minière par rapport aux résidus miniers de la zone de la Molette (envols de poussières issus de ces dépôts considérés comme négligeables ; cf. 7.5.1). Ce prélèvement a été réalisé à proximité sud de la zone de dépôt de la Molette, près du lieu-dit « la Molette » (AUZ-VEG-105-H).

Les quatre autres échantillons ont été prélevés sur des secteurs potentiellement impactés par les résidus miniers de la Molette (terrains situés en bordure du Miodet et en aval de la zone de dépôt). Il s'agit des prélèvements :

- AUZ-VEG-01-H, effectué sur une prairie située au niveau du lieu-dit « Fleury » (environ 3 km en aval de la zone de dépôt de la Molette). Il est associé au prélèvement de sol AUZ-S-23-0-3 (cf. 7.5).

- AUZ-VEG-16-H, effectué dans une prairie localisée au niveau du lieu-dit « les Gravières » (environ 8 km en aval de la zone de dépôt de la Molette). Il a été réalisé à proximité de la maison et du ponton. Il est associé au prélèvement de sol AUZ-S-27-0-10 (cf. 7.5).

- AUZ-VEG-17-H, réalisé à quelques mètres du Miodet, dans une prairie située au sud du lieu-dit « Pontlatout » (environ 13 km en aval de la zone de dépôt de la Molette). Il est associé au prélèvement de sol AUZ-S-41-0-10 (cf. 7.5).

- AUZ-VEG-11-H, réalisé dans le même secteur que le précédent mais plus proche de la route. Il est associé au prélèvement de sol AUZ-S-33-0-10 (cf. 7.5).

		Jardins potagers situés en amont de la zone de dépôt de la Molette (environnement local témoin)			Jardins potagers situés en bordure du Miodet, en aval de la zone de dépôt de la Molette	
Type de végétaux	**Végétaux et fruits**	**Jardin « 102 » d'Auzelles (entrée sud)**	**Jardin « 100 » d'Auzelles (nord)**	**Jardin « 106 » du lieu-dit « Chabanettes »**	**Jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf »**	**Jardin « 02 » au lieu-dit « Fleury »**
		(Auz-VEG-102)	*(Auz-VEG-100)*	*(Auz-VEG-106)*	*(Auz-VEG-12)*	*(Auz-VEG-02)*
tubercule	pommes de terre		x			
légume feuille	salade	x	x			x
	feuilles de blettes			x[8]		
	feuilles de poireau	x	x		x	
	choux		x			
légume tige	tige/blanc de blettes			x		
	tige/blanc de poireau	x	x		x	
légume racine	betteraves	x				
	carottes	x	x		x	
légume fleur	brocoli	x				
légume fruit	cornichon	x				
	courgettes					x
	tomates					x
	citrouille					x
Echantillon de sol associé						
		AUZ-S-102-0-30	*AUZ-S-100-0-30*	*AUZ-S-106-0-30*	*AUZ-S-34-0-30*	*AUZ-S-10-0-30*
Informations en termes d'arrosage et échantillon d'eau associé						
		arrosage avec de l'eau souterraine (AUZ_L_102)	*arrosage par de l'eau souterraine (AUZ_L_100)*	*Aucune information n'est disponible en termes d'arrosage notamment avec les eaux de surface, ni concernant les pratiques culturales*	*Aucune information n'est disponible en termes d'arrosage notamment avec les eaux de surface, ni concernant les pratiques culturales, un prélèvement des eaux de surface a cependant été réalisé (AUZ_L_103)*	*en l'absence des propriétaires lors des prélèvements (le Maire accompagnant cependant les équipes), aucune information n'est disponible en termes d'arrosage notamment avec les eaux de surface, ni concernant les pratiques culturales. La voisine des propriétaires a mentionné l'utilisation de l'eau du cours d'eau pour l'arrosage*

Tableau 18 : Végétaux potagers prélevés dans les jardins

[8] Au regard des faibles quantités de matrices disponibles, uniquement des blettes (les feuilles et les tiges) ont été prélevées.

8 INTERPRETATION DE L'ETAT DES MILIEUX

8.1 Préambule

Les sections suivantes reprennent les éléments spécifiques nécessaires à l'interprétation des résultats de caractérisation de l'état de chaque milieu étudié, tenant compte d'un « état non perturbé » des milieux : l'environnement local témoin.

8.2 Rappels méthodologiques

Une IEM est conduite afin de statuer sur la compatibilité des milieux avec leurs usages constatés.

Elle permet de distinguer :

- les milieux ne nécessitant pas d'action particulière et permettant une libre jouissance des usages constatés sans risque ;
- les milieux pouvant faire l'objet d'actions simples pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages constatés ;
- les milieux nécessitant la mise en œuvre d'un plan de gestion.

Lorsque les milieux ne permettent pas la jouissance des usages constatés sans exposer les populations à des niveaux de risques excessifs, il est nécessaire :

- d'élaborer des propositions d'actions simples de gestion ;
- le cas échéant, d'identifier des premières mesures de protection sanitaires ;
- de recourir aux outils de conservation de la mémoire et de restriction d'usage.

Lorsqu'il est acquis que les milieux nécessitent un plan de gestion, l'identification des premières mesures de protection sanitaires et le recours aux outils de restriction d'usage doivent être conduits le plus rapidement possible en attendant la mise en œuvre du plan de gestion.

Comme le montre la figure 33, l'une des premières étapes de la démarche d'IEM conduit à comparer l'état des milieux à l'état des milieux naturels voisins de la zone d'investigation c'est-à-dire à l'environnement local témoin.

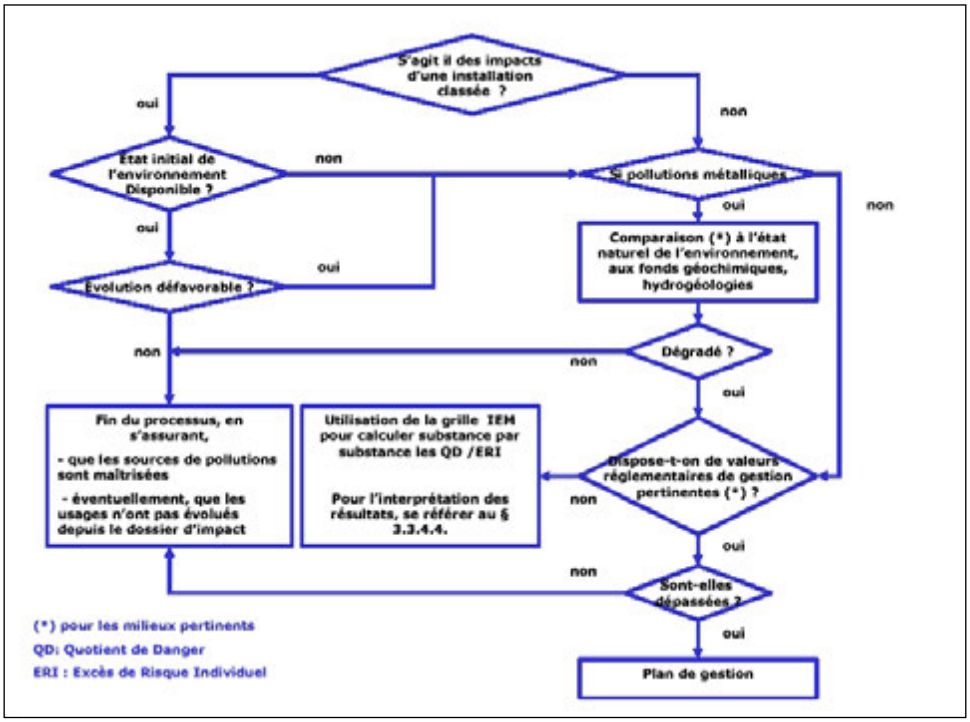


Figure 33 : Critères de gestion du risque de l'IEM (source : MEDD, 2007)

Suivant la démarche d'interprétation de l'état des milieux (MEDD, 2007), les concentrations mesurées dans les milieux d'exposition sont comparées notamment :

- aux concentrations de l'environnement local témoin ;
- aux valeurs réglementant en France la qualité des milieux environnementaux (valeurs de gestion réglementaires et objectifs de qualité des milieux en vigueur) ; et cela en cohérence pour les voies et les scénarios d'exposition pertinents identifiés dans le schéma conceptuel (usages effectivement constatés). Ces valeurs de gestion réglementaires mises en place par les pouvoirs publics correspondent au niveau du risque accepté pour l'ensemble de la population française. Au regard de la présente étude, les valeurs de gestion sont notamment les suivantes :
  - les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux conditionnées, reprises dans l'article R1321-2 du Code de la Santé Publique (CSP) modifié par l'article 1^{e} du décret n°2007-49, repris dans l'annexe I de l'arrêté du 11-01-2007 (tableau 19). Par défaut, elles seront utilisées pour tout usage des eaux : une eau potable est réputée saine pour la consommation humaine et pour tous les autres usages domestiques ou assimilés. La directive Cadre Eau (DCE) au regard du bon état des milieux aquatiques (cours d'eau, plans d'eau, etc.) sera également, en cas de besoin, à intégrer à la démarche. Dans ce cadre on utilisera les normes de qualité environnementale (NQE) définies par la directive n° 2008/105/CE du 16/12/08 (tableau 20).
  - le règlement européen (CE n° 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006, modifié pour l'année 2011 par le règlement CE n°835/2011 du 19 août 2011 et le règlement CE n°1259/2011 du 2 décembre 2011) relatif aux denrées alimentaires (tableau 21).

Paramètres chimiques [(1)]	Limites de qualité (µg/L)	Notes
Antimoine	5	
Arsenic	10	
Cuivre	2 000	
Cadmium	5	
Chrome	50	
Nickel	20	
Plomb	10	La limite de qualité est fixée à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2013. Les mesures appropriées pour réduire progressivement la concentration en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 10 µg/L sont précisées aux articles R1321-55 et R1321-49 (arrêté d'application). Lors de la mise en œuvre des mesures destinées à atteindre cette valeur, la priorité est donnée aux cas où les concentrations en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine sont les plus élevées.

Tableau 19 : Limites de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine pour les substances étudiées
(extrait de Annexe I de l'arrêté du 11-01-2007)

Nom de la Substance	NQE-MA (2) Eaux de surface intérieures (3)	NQE-MA (2) Autres eaux de surface	NQE CMA (4) Eaux de surface intérieures (3)	NQE CMA (4) Autres eaux de surface
	A	B	C	D
Alachlore	0,3	0,3	0,7	0,7
Anthracène	0,1	0,1	0,4	0,4
Atrazine	0,6	0,6	2,0	2,0
Benzène	10	8	50	50
Diphényléthers bromés (5)	0,0005	0,0002	Sans objet	Sans objet
Cadmium et ses composés (suivant les classes de dureté de l'eau) (6)	≤ 0,08 (classe 1) 0,08 (classe 2) 0,09 (classe 3) 0,15 (classe 4) 0,25 (classe 5)	0,2	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	
Tétrachlorure de carbone (7)	12	12	Sans objet	Sans objet
Chloroalcanes C10-13	0,4	0,4	1,4	1,4
Chlorfenvinphos	0,1	0,1	0,3	0,3
Chlorpyrifos (éthylchlororpyrifos)	0,03	0,03	0,1	0,1
Pesticides cyclodiènes : Aldrine (7) Dieldrine (7) Endrine (7) Isodrine (7)	∑ = 0,01	∑ = 0,005	Sans objet	Sans objet
DDT total (7)(8)	0,025	0,025	Sans objet	Sans objet
para-para-DDT(7)	0,01	0,01	Sans objet	Sans objet
1,2-Dichloroéthane	10	10	Sans objet	Sans objet
Dichloroéthane	20	20	Sans objet	Sans objet
Di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	1,3	1,3	Sans objet	Sans objet
Diuron	0,2	0,2	1,8	1,8
Endosulfan	0,005	0,0005	0,01	0,004
Fluoranthène	0,1	0,1	1	1
Hexachlorobenzène	0,01 (9)	0,01 (9)	0,05	0,05
Hexachlorobutadiène	0,1 (9)	0,1 (9)	0,6	0,6
Hexachlorocyclohexane	0,02	0,002	0,04	0,02
Isoproturon	0,3	0,3	1,0	1,0
Plomb et ses composés	7,2	7,2	Sans objet	Sans objet
Mercure et ses composés	0,05 (9)	0,05 (9)	0,07	0,07
Naphtalène	2,4	1,2	Sans objet	Sans objet
Nickel et ses composés	20	20	Sans objet	Sans objet
Nonyphénol (4-nonyphénol)	0,3	0,3	2,0	2,0
Octylphénol(4-(1,1',3,3'–tétraméthylbutyl) - phénol	0,1	0,01	Sans objet	Sans objet
Pentachlorobenzène	0,007	0,0007	Sans objet	Sans

Nom de la Substance	NQE-MA (2) Eaux de surface intérieures (3)	NQE-MA (2) Autres eaux de surface	NQE CMA (4) Eaux de surface intérieures (3)	NQE CMA (4) Autres eaux de surface
	A	B	C	D
				objet
Pentachlorophénol	0,4	0,4	1	1
HAP (10)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Benzo(a)pyrène	0,05	0,05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranthène	∑ = 0,03	∑ = 0,03	Sans objet	Sans objet
Benzo(k)fluoranthène				
Benzo(g,h,i)perylène	∑ = 0,002	∑ = 0,002	Sans objet	Sans objet
Indeno(1,2,3-cd)pyrène				
Simazine	1	1	4	4
Tétrachloroéthylène (7)	10	10	Sans objet	Sans objet
Trichloroéthylène (7)	10	10	Sans objet	Sans objet
Composés du tributylétain (tributyétain-cation)	0,0002	0,0002	0,0015	0,0015
Trichlorobenzènes	0,4	0,4	Sans objet	Sans objet
Trichlorométhane	2,5	2,5	Sans objet	Sans objet
Trifluraline	0,03	0,03	Sans objet	Sans objet

MA : Moyenne Annuelle, CMA : Concentration Maximale Admissible, Unité : [µg/L]

(1) CAS: Chemical Abstracts Service.

(2) Ce paramètre est la NQE exprimée en valeur moyenne annuelle (NQE-MA). Sauf indication contraire, il s'applique à la concentration totale de tous les isomères.

(3) Les eaux de surface intérieures comprennent les rivières et les lacs et les masses d'eau artificielles ou sérieusement modifiées qui y sont reliées.

(4) Ce paramètre est la norme de qualité environnementale exprimée en concentration maximale admissible (NQE-CMA). Lorsque les NQE-CMA sont indiquées comme étant «sans objet», les valeurs retenues pour les NQE-MA sont considérées comme assurant une protection contre les pics de pollution à court terme dans les rejets continus, dans la mesure où elles sont nettement inférieures à celles définies sur la base de la toxicité aiguë.

(5) Pour le groupe de substances prioritaires «diphényléthers bromés» (no 5) retenu dans la décision n° 2455/2001/CE, une NQE n'est établie que pour les numéros des congénères 28, 47, 99, 100, 153 et 154.

(6) Pour le cadmium et ses composés (no 6), les valeurs retenues pour les NQE varient en fonction de la dureté de l'eau telle que définie suivant les cinq classes suivantes: classe 1: < 40 mg $CaCO_3$/l, classe 2: 40 à < 50 mg $CaCO_3$/l, classe 3: 50 à < 100 mg CaCO3/l, classe 4: 100 à < 200 mg $CaCO_3$/l et classe 5: ≥ 200 mg CaCO3/l.

(7) Cette substance n'est pas une substance prioritaire mais un des autres polluants pour lesquels les NQE sont identiques à celles définies dans la législation qui s'appliquait avant le 13 janvier 2009.

(8) Le DDT total comprend la somme des isomères suivants: 1,1,1-trichloro-2,2 bis (p chlorophényl) éthane (numéro CAS 50-29-3; numéro UE 200-024-3); 1,1,1- trichloro-2 (o chlorophényl)-2-(p-chlorophényl) éthane (numéro CAS 789-02-6; numéro UE 212 332 5); 1,1 dichloro-2,2 bis (p-chlorophényl) éthylène (numéro CAS 72 55-9; numéro UE 200-784 6); et 1,1-dichloro-2,2 bis (p-chlorophényl) éthane (numéro CAS 72 54-8; numéro UE 200-783-0).

(9) Si les États membres n'appliquent pas les NQE pour le biote, ils instaurent des NQE plus strictes pour l'eau afin de garantir un niveau de protection identique à celui assuré par les NQE applicables au biote fixées à l'article 3, paragraphe 2 de la présente directive. Ils notifient à la Commission et aux autres États membres, par l'intermédiaire du comité visé à l'article 21 de la directive 2000/60/CE, les raisons motivant le recours à cette approche et les fondements de ce recours, les autres NQE établies pour l'eau, y compris les données et la méthode sur la base desquelles les autres NQE ont été définies, et les catégories d'eau de surface auxquelles elles s'appliqueraient.

(10) Pour le groupe de substances prioritaires «HAP» (no 28), chacune des différentes NQE est applicable, c'est-à-dire que la NQE pour le benzo(a)pyrène, la NQE pour la somme du benzo(b)fluoranthène et du benzo(k)fluoranthène et la NQE pour la somme du benzo(g,h,i)perylène et de l'indéno(1,2,3-cd)pyrène doivent être respectées.

Tableau 20 : NQE pour les substances prioritaires et certains autres polluants

Denrée alimentaire [1]	Teneurs maximales (mg/kg de poids à l'état frais)
3.1. PLOMB (Pb)	
3.1.9. Céréales, légumineuses et légumes à cosse	0,2
3.1.10. Légumes, à l'exclusion des brassicées, des légumes-feuilles, des fines herbes et de tous les champignons ([7]). Dans le cas des pommes de terre, la teneur maximale s'applique aux produits pelés.	0,1
3.1.11. Brassicées, légumes-feuilles et champignons suivants ([7]) : Agaricus bisporus (champignon de Paris), Pleurotus ostreatus (pleurote en forme d'huître), Lentinula edodes (Shiitake)	0,3
3.1.12. Fruits à l'exclusion des baies et des petits fruits ([7])	0,1
3.1.13. Baies et petits fruits ([7])	0,2
3.2 CADMIUM (Cd)	
3.2.12. Céréales, à l'exclusion du son, du germe, du blé et du riz	0,1
3.2.13. Son, germe, blé et riz	0,2
3.2.14. Graines de soja	0,2
3.2.15. Légumes et fruits, à l'exclusion des légumes-feuilles, des fines herbes, des champignons, des légumes-tiges, des légumes-racines et des pommes de terre ([7])	0,05
3.2.16. Légumes-tiges, légumes-racines et pommes de terre, à l'exclusion du céleri-rave ([7]). Dans le cas des pommes de terre, la teneur maximale s'applique aux produits pelés	0,1
3.2.17. Légumes-feuilles, fines herbes, céleri-rave et champignons suivants (7) : Agaricus bisporus (champignon de Paris), Pleurotus ostreatus (pleurote en forme d'huître), Lentinula edodes (Shiitake)	0,2
3.2.18. Champignons, à l'exclusion de ceux énumérés au point 3.2.17 ([7])	1,0

(7) La teneur maximale s'applique une fois le fruit ou les légumes lavés et la partie comestible séparée.

Tableau 21 : Concentrations maximales fixées réglementairement dans les denrées alimentaires pour les substances étudiées

Lorsque la comparaison à l'état des milieux naturels du site montre une dégradation des milieux et que des valeurs de gestion ne sont pas disponibles, une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) est réalisée en dernier recours. Elle est basée sur les scénarios et les voies d'exposition identifiés dans le schéma conceptuel, et apporte alors des éléments de jugement. Une grille de calculs des risques, à laquelle est associée des intervalles de gestion des risques, est adossée à la méthodologie d'IEM et permet la réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires pour chacune des substances et voies d'exposition étudiées prises indépendamment, en cohérence avec la démarche de gestion des pouvoirs publics.

Ainsi, plus particulièrement dans la présente étude, lorsque la comparaison à l'environnement local témoin montre une dégradation des milieux pour certaines substances et que des valeurs de gestion ne sont pas disponibles, ce qui est le cas pour les sols en France ou encore pour certaines substances dans les végétaux, il est alors nécessaire de vérifier si l'état de ces milieux est compatible avec l'usage qui en est fait par le biais d'une EQRS.

Les intervalles de gestion présentés dans la figure 34 ont été définis par le MEDD pour interpréter les résultats de l'EQRS menée pour chacune des substances et voies d'exposition étudiées prises indépendamment. Les intervalles de gestion sont précisés ci-après pour les risques associés aux effets à seuil (quotient de danger – QD) et aux effets sans seuil (Excès de risques individuel – ERI) :

- QD < 0,2 et ERI < 10^{-6} : l'état des milieux est compatible avec les usages constatés ;
- 0,2 < QD < 5 et/ou 10^{-6} < ERI < 10^{-4} : zone d'interprétation nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion ;
- QD > 5 et/ou ERI > 10^{-4} : l'état des milieux n'est pas compatible avec les usages, un plan de gestion est requis.

Intervalle de gestion des risques		L'interprétation des résultats	Les actions à engager Dans tous les cas, il convient de s'assurer que la source de pollution est maîtrisée	
Substances à Effet de Seuil	Substances Sans Effets de Seuil		Sur les milieux	Sur les usages
Inférieur à 0,2	Inférieur à 10^{-6}	L'état des milieux est compatible avec les usages constatés	❑ S'assurer que la source de pollution est maîtrisée	❑ La mémorisation des usages peut être nécessaire pour s'assurer de la pérennité des usages actuels qui sont compatibles avec l'état des milieux
Compris entre 0,2 et 5	Compris entre 10^{-4} et 10^{-6}	Zone d'incertitude nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion	❑ Le recours à une argumentation appropriée, au retour d'expérience ❑ La mise en œuvre de mesures de gestion simples et de bon sens ❑ La réalisation d'une évaluation quantitative des risques réfléchie ❑ La mise en œuvre de restriction d'usage accompagnée d'une surveillance des milieux ❑ La mémorisation des usages peut être nécessaire pour s'assurer de la pérennité des usages actuels	
Supérieur à 5	Supérieur à 10^{-4}	L'état des milieux n'est pas compatible avec les usages	❑ La définition et la mise en œuvre d'un plan de gestion pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages	

Figure 34 : Intervalles de gestion donnés par la grille de calculs de l'IEM
(source : MEDD, 2007)

Lorsque les résultats des calculs de risques pour les substances à effet de seuil et sans effet de seuil, sont compris respectivement entre 0,2 et 5 (0,2 < QD < 5) et/ou 10^{-6} et 10^{-4} (10^{-6} < ERI < 10^{-4}), parmi les actions à engager est mentionné la réalisation d'une EQRS réfléchie, avec dans ce cas :

- Les niveaux de risque de référence suivants :
  - Quotient de Danger : Pour les effets à seuil, le Quotient de Danger (QD) théorique doit être inférieur à 1 ; lorsqu'il est supérieur à 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue ;
  - Excès de Risque Individuel : Pour les effets sans seuil, l'Excès de Risques Individuel théorique (ERI) doit être inférieur à 10^{-5} (probabilité d'apparition d'un cas supplémentaire de cancer sur une population de 100 000 personnes exposées) ;

- Les règles d'additivité suivantes :
  - pour les effets à seuil, les calculs sont réalisés en première approche avec une démarche conservatoire, l'additivité des risques est prise en compte systématiquement via la sommation des QD de toues les substances étudiées. En effet, *a minima*, il est nécessaire de réaliser la sommation des QD liés à des substances avec les mêmes effets sur le même organe cible induit par un même mécanisme d'action ;
  - pour les effets sans seuil, les calculs ont été réalisés en sommant les ERI de toutes les substances étudiées.

8.3 Schéma conceptuel

En rappel, le schéma conceptuel est, selon les textes du MEDD (2007), une véritable représentation de l'état des lieux du site considéré. Le schéma conceptuel doit permettre de mettre en évidence les relations entre :

– les sources de pollutions identifiées,
– les milieux de transferts,
– les enjeux.

8.3.1 Sources de pollution

Les sources commentées ci-après concernent plus particulièrement les sols, les eaux de surface et souterraines ainsi que les sédiments au regard des scénarios étudiés en termes sanitaire.

8.3.1.1 Sols et résidus miniers

Les concentrations en certains métaux et métalloïdes (notamment plomb et arsenic) enregistrées sur les résidus miniers s'avèrent globalement très élevées.

Les sols non remaniés potentiellement impactés par l'ancienne activité minière présentent pour leur part des teneurs souvent supérieures aux gammes de valeurs définies dans le cadre de l'environnement local témoin.

En l'absence de valeur de gestion pour les sols, la démarche IEM se poursuit donc ici par la réalisation de calculs de risques sanitaires réalisés, dans un premier temps, pour chacune des substances et voies d'exposition tout en tenant compte des scénarios d'exposition retenus. Cette étape est traitée ultérieurement en section 8.4. en prenant en compte les concentrations maximales enregistrées. Ces dernières sont présentées dans le tableau 22.

Tous les sols de potagers (sols remaniés) analysés en aval ou à proximité de la zone de la Molette indiquent quant à eux des concentrations en métaux et métalloïdes qui s'inscrivent ou qui sont très voisines des gammes de valeurs retenues pour l'environnement local témoin établi pour ce type de sol. Aucun calcul de risque sanitaire ne sera donc réalisé pour les sols de potagers dans le cadre du scénario ingestion de sol. **Nous rappelons malgré tout que l'environnement local témoin évalué s'avère élevé au niveau de l'arsenic du fait de la présence supposée de zones minéralisées.**

Zones sélectionnées (lieux de prélèvement)	Substances principales	arsenic	antimoine	cadmium	cuivre	plomb	zinc
		Concentration (mg/kg MS)					
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le sommet du tas : **résidu minier** (AUZ-S-04-0-3)	As et Pb	780	86	13	62	26000	1600
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest : **résidu minier** (AUZ-S-42-0-3)	Pb		58			17000	210
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zone des bassins : **résidu minier** (AUZ-S08-TER-0-3)	As et Pb	900	200	120		75000	760
Environnement local témoin pour les sols non remaniés (concentration minimale et maximale)		*16 - 510*	*<LQ (5) - 11*	*<LQ (0,4)- 0,91*	*5,8 - 43*	*21 - 100*	*44 - 400*
Zone située le long du Miodet à proximité du lieu-dit « Chabanettes » : rive opposée aux dépôts de résidus miniers : **sol non remanié** (AUZ-S-108-0-3) *Sur cette zone : présence d'une balancelle indiquant une possible fréquentation du secteur par des enfants.*		n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	260	n.c.
Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier d'Auvergne : **sol non remanié** (AUZ-S-30-0-3)		n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	730	n.c.
Légende : *n.c. : substance non concernée, car la concentration se situe dans la gamme de l'environnement local témoin*							

Tableau 22 : Concentrations (mg/kg MS) retenues pour les calculs de risques sanitaires au niveau des zones sélectionnées dans le cadre du scénario ingestion de sol
(résidus miniers et sols de surface non remaniés)

8.3.1.2 Eaux souterraines

Pour les eaux souterraines, les points de prélèvement des eaux issues des travaux miniers AUZ-LS01 et AUZ-LS03 indiquent des teneurs en certains métaux (notamment fer, manganèse et zinc) qui sont supérieures à la borne haute définie pour les gammes de valeurs de l'environnement local témoin (cf. 7.1). A noter que même si la teneur en arsenic de ces deux échantillons reste comprise dans la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin, elle n'en reste pas moins supérieure à la limite de qualité pour les substances chimiques des eaux destinées à la consommation humaine (10 µg/l). Nous rappelons que les teneurs en arsenic enregistrées au niveau de l'environnement local témoin peuvent ici être élevées et sont attribuables à une origine naturelle.

8.3.1.3 Eaux de surface

Pour les eaux de surface, plusieurs points de prélèvements potentiellement impactés par l'ancienne activité minière indiquent des concentrations supérieures à celles de l'environnement local témoin pour certains métaux et métalloïdes (cf.7.2). La présence des résidus miniers induit notamment une augmentation des teneurs en plomb dans les eaux du Miodet, aboutissant ainsi à des concentrations pouvant ponctuellement être supérieures à la norme de qualité environnementale définie dans le cadre de la DCE (7.2 µg/l). Par ailleurs, ces concentrations dépassent souvent la limite de qualité définie pour les eaux destinées à la consommation humaine (10 µg/l). Comme pour les eaux souterraines, nous rappelons que les teneurs en arsenic enregistrées au niveau de l'environnement local témoin peuvent être élevées du fait du contexte d'anomalie géochimique (origine naturelle).

8.3.1.4 Sédiments

Les analyses effectuées dans le cadre de cette étude mettent clairement en évidence l'impact des résidus miniers de la Molette sur les sédiments du Miodet. Les prélèvements effectués en aval de ces résidus indiquent en effet des teneurs en plomb qui peuvent être très supérieures à la borne haute de la gamme de valeur définie pour l'environnement local témoin (cf.7.3).

Cependant, *a contrario* du cas des sols, la démarche IEM ne sera pas poursuivie par la réalisation de calculs de risques sanitaires pour les sédiments. En effet, dans le cadre de cette étude, aucune zone de baignade n'a clairement été identifiée au niveau du Miodet. Ceci a conduit à ne pas retenir l'exposition des populations au regard des sédiments. Toutefois, compte tenu de la fréquentation de certains lieux, comme l'aire de repos et de pique-nique située à l'entrée sud est de St-Dier-d'Auvergne, où nous rappelons qu'un échantillon de sable situé juste en bordure du Miodet (AUZ SED 30 M) présentait des concentrations élevées à très élevées en éléments métalliques, des recommandations seront malgré tout formulées sur la zone de berge de cette aire.

8.3.1.5 Végétaux

a) Végétaux potagers

Les concentrations mesurées dans les végétaux des potagers potentiellement impactés par l'ancienne activité minière ont été comparées aux concentrations maximales fixées pour les denrées alimentaires au sein du règlement européen.

Pour les deux jardins potagers potentiellement impactés par l'ancienne activité minière, on peut établir les observations suivantes :

- pour le potager du lieu-dit « Fleury » (potager «02 »), la concentration en cadmium (0,051 mg/kg PF) mesurée sur un légume de type fruit (la citrouille) est du même ordre de grandeur que le critère définit pour cet élément (0,05 mg/kg PF) dans le règlement européen (tableau 21). Les concentrations en arsenic, élément pour lequel aucune valeur critère n'est disponible, sont toutes inférieures à la limite de quantification de 0,1 Mg/kg PF. Nous rappelons que les concentrations enregistrées dans le sol de ce potager (AUZ-S-10-0-30) sont respectivement pour l'arsenic, le cadmium et le plomb, de 470 mg/kg MS, 0,91 mg/kg MS et 170 mg/kg MS.

- Pour le potager du lieu-dit « Moulin neuf » (potager «12 »), la concentration en cadmium (0,19 mg/kg PF) enregistrée pour le légume de type tige (tige/blanc de poireau) dépasse le critère du règlement européen fixé pour cet élément chimique (0,1 mg/kg PF ; tableau 21). Un légume de type racine (carottes) présente par ailleurs des teneurs en plomb (0,22 mg/kg PF) et en cadmium (0,12 mg/kg PF) qui dépassent également les critères du règlement européen définis pour ces éléments (pour le plomb : 0,1 mg/kg PF ; pour le cadmium : 0,1 mg/kg PF ; tableau 21). Les concentrations en arsenic, élément pour lequel nous rappelons qu'il n'existe aucune valeur critère dans le règlement CE, sont toutes inférieures à la limite de quantification de 0,1 Mg/kg PF. En rappel, les concentrations enregistrées dans le sol de ce potager (AUZ-S-34-0-30), sont respectivement pour l'arsenic, le cadmium et le plomb, de 63 mg/kg MS, 0,65 mg/kg MS et 96 mg/kg MS. Quant à l'eau d'arrosage (AUZ-L-103), les concentrations en arsenic et en plomb sont respectivement égales à 40 µg/l, et 17 µg/l. La teneur en cadmium de cette eau est pour sa part inférieure à la limite de quantification de 0,5 µg/l.

Au regard du dépassement des valeurs critères précitées pour le cadmium et le plomb, une démarche approfondie tenant compte de quantités ingérées de végétaux autoproduits est présentée dans la suite de ce rapport.

b) <u>Herbes de prairies</u>

D'un point de vue sanitaire, l'interprétation des concentrations observées sur les herbes de prairies suit une démarche identique à celles des autres milieux : une comparaison à l'environnement local témoin et également aux valeurs de gestion réglementaires disponibles.

Les concentrations des différents métaux et métalloïdes observées dans les échantillons d'herbes sont globalement inférieures aux limites de quantification à l'exception du plomb, et de l'arsenic.

Pour le plomb, les concentrations varient entre 0,14 mg/kg PF (AUZ-VEG-105-H) et 29 mg/kg PF (AUZ-VEG-01-H). Cette dernière concentration observée au niveau du lieu-dit « Fleury » n'apparaît pas aberrante au regard de la forte concentration en plomb dans le sol associé (AUZ-S-23-0-3) de 4700 mg/kg MS, en notant cependant qu'il avait été demandé au laboratoire de ne pas laver les herbes de prairies.

Pour l'arsenic, les concentrations mesurées varient entre 0,12 mg/kg PF (AUZ VEG 16 H) et 0,78 mg/kg PF (AUZ-VEG-01-H). En rappel, les concentrations en arsenic enregistrées sur les sols des prairies correspondantes sont de 110mg/Kg MS (AUZ-S-27-0-3) et de 420 mg/kg MS[9]. (AUZ S 23 0 10).

Pour les herbes de prairie et au regard de la présence constatée d'animaux domestiques, et donc de l'alimentation de ces derniers, les concentrations mesurées en éléments potentiellement polluants issus de l'activité minière pourraient être comparées aux teneurs maximales fixées pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux (arrêté du 21 février 2011 modifiant l'arrêté du 6 mars 2009 modifiant lui-même l'arrêté du 12 janvier 2001). Cependant, aucun élément concernant les fourrages, les luzernes, les trèfles n'y est repris pour les métaux.

En outre, il est à souligner l'absence de données bibliographiques nombreuses concernant le transfert de ces substances à partir des eaux et des sols vers ce type d'espèce végétale (herbe).

---

[9] *Il est à noter que cette zone a très probablement été inondée dans le passé. En effet, la propriétaire de la maison du ponton ayant mentionné lors des investigations de terrain que l'eau du cours d'eau a déjà atteint le ponton et les pâturages.*

8.3.2 Voies d'exposition pour les populations et enjeux

En terme environnemental les enjeux considérés sont les eaux (superficielles et souterraines) et le compartiment faune/flore.

En termes sanitaires, les enjeux considérés sont les populations (adultes et enfants) riveraines des sites ou les populations de passage, comme les vacanciers et les randonneurs.

Dans le cas des zones étudiées, les voies d'exposition retenues sont les suivantes :

– l'ingestion de solides au niveau des horizons de surface (sols et résidus miniers). Cette voie d'exposition concerne plus particulièrement les jeunes enfants qui sont les plus exposés du fait de leur comportement et des zones concernées comme les aires de jeux, les sites de promenade. Les adultes sont également considérés, notamment dans le cas des activités de jardinage mais uniquement dans le cadre de l'étape d'évaluation des incertitudes ;

– l'ingestion de végétaux potagers potentiellement contaminés (ce dernier choix a été retenu malgré la mention du document IEM qui précise que selon cette méthodologie, si un sol ne présente pas de risque par ingestion directe, il apparaît peu pertinent de caractériser l'état des végétaux qui y sont cultivés pour évaluer les risques liés à leur ingestion) ;

– l'ingestion d'eaux souterraines potentiellement contaminées (eaux de l'aquifère minier).

Les voies d'exposition non retenues sont les suivantes :

- l'exposition par inhalation de poussières tout comme d'ailleurs l'ingestion de poussières déposées à l'intérieur des habitations. Aucune caractérisation de la qualité de l'air (particulaire) n'a été conduite dans le cadre de cette étude. En première approche, compte tenu de la configuration du site, de la position des habitations par rapport aux dépôts et de la végétalisation importante des terrains situés à proximité de ces dépôts, cette hypothèse apparaît réaliste et proportionnée ;
- l'exposition par ingestion de poissons pêchés dans le Miodet (interdiction de consommer les poissons pêchés dans ce cours d'eau depuis sa source jusqu'au barrage de Sauviat) ;
- l'exposition liée à l'usage de loisirs des eaux de surface, comme la baignade (pas de zones de baignades clairement identifiée entre les dépôts de la zone de la Molette et le barrage de Sauviat) ;
- l'ingestion de viande de bétail, de lait (bovins) et de produits dérivés (fromage). Selon la démarche IEM, la prise en compte de cette voie d'exposition doit être basée sur la mesure des concentrations dans les milieux d'exposition (non envisagée et donc non réalisée dans le cadre de cette étude ; cf. 8.4.4.3). Une autre approche possible est d'évaluer le transfert dans la viande du ou des éléments potentiellement polluants en tenant compte des concentrations en substances étudiées dans les milieux d'exposition du bétail (sols, herbes de pâturages, eau principalement). Dans le cadre de la présente étude, aucune modélisation de ce transfert n'a toutefois été réalisée. En effet, pour se faire, il aurait été nécessaire d'utiliser des modèles entachés de nombreuses incertitudes ainsi que des facteurs de transfert (BAF)[10]. La littérature dont Laurent et *al.*, 2003, ne mentionne d'ailleurs aucun de ces facteurs pour

[10] *Le facteur de bioaccumulation (BAF) qui donne le rapport de la concentration en une substance dans l'animal (si possible dans le muscle puisqu'il s'agit de la partie la plus consommée) avec la concentration en cette même substance dans une matrice initiale (aliment, sol, …).*

l’arsenic, un des principaux polluants potentiels enregistrées sur la zone d’étude. Des valeurs sont par contre mentionnées pour d’autres métaux comme le cuivre, le zinc et le plomb.

8.3.3 Bilan du schéma conceptuel

Le tableau 23 récapitule le schéma conceptuel et résume les voies d'exposition ainsi que les populations considérées. Il a été établi pour les différentes zones étudiées au regard d’informations acquises lors de la campagne de terrain ou communiquées par la population.

Zones impactées par l'ancienne activité minière du site de la Molette	N° Scénario	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Populations concernées	Illustrations		
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le sommet du tas (1) **(AUZ-S-04-0-3)** **<u>Commune d'Auzelles</u>**	1	Horizon de surface de la zone (résidus miniers)	Ingestion	Enfant/adulte			
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest **(AUZ-S-42-0-3)** **<u>Commune d'Auzelles</u>**	2	Horizon de surface de la zone (résidus miniers)	Ingestion	Enfant/adulte			
Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zone des bassins **(AUZ-S-08-TER-0-3)** **<u>Commune d'Auzelles</u>**	3	Horizon de surface de la zone (résidus miniers)	Ingestion	Enfant/adulte			
Zone située le long du Miodet à proximité du lieu-dit « Chabanettes » : rive opposée aux dépôts de résidus miniers (AUZ-S-108-0-3) **Présence d'une balancelle indiquant une possible fréquentation du secteur par des enfants.** **<u>Commune d'Auzelles</u>**	4	Sols de surface de la zone	Ingestion	Enfant/adulte			
Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de St-Dier-d'Auvergne **(AUZ-S-30-0-3)** **<u>Commune de St-Dier-d'Auvergne</u>**	5	Sols de surface de la zone	Ingestion	Enfant/adulte			
Jardin « 12 » du Moulin Neuf (2,3) **(AUZ-VEG-12 et AUZ-S-34-0-30)** **<u>Commune de Domaize</u>**	6	Végétaux potagers	Ingestion	Enfant/adulte			
Jardin « 02 » de «Fleury (2,3) **(AUZ-VEG-02 et AUZ-S-10-0-30)** **<u>Commune d'Auzelles</u>**	7	Végétaux potagers	Ingestion	Enfant/adulte			

Zones impactées par l'ancienne activité minière du site de la Molette	N° Scénario	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Populations concernées	Illustrations		
Résurgence minière de la Molette et puits du Fayet(4)	8	Eaux issues de l'aquifère minier (eaux souterraines)	Ingestion	Enfant/adulte			

Légende :

(1) : ce scénario a été retenu dans le cadre d'une approche précautionneuse. En effet, une clôture a été installée le long de la route en 2012, limitant l'accès à la zone de dépôt. Les autres zones en contre bas du dépôt sont par contre accessibles par l'autre berge du Miodet.

(2) : en rappel, ces zones sont potentiellement contaminées suite à l'usage de l'eau de surface pour l'arrosage des végétaux potagers.

(3) : l'exposition par ingestion de sol pour le jardinier n'est pas illustrée, mais elle a été traitée dans le cadre de l'étape d'évaluation des incertitudes (INERIS, 2013))

(4) : l'ingestion d'eau au niveau de certaines sources naturelles et fontaines situées hors influence minière mais présentant des teneurs élevées en arsenic n'est pas intégrée à ce tableau. L'existence de ces points d'eau à forte teneur en arsenic a été signalée aux autorités compétentes par une note spécifique éditée parallèlement à cette synthèse (GEODERIS, .2014)

Tableau 23 : Récapitulatif du schéma conceptuel d'exposition en fonction des zones étudiées

8.4 Calculs des risques sanitaires

Volontairement, seuls sont traités et commentés dans ce document les risques sanitaires par rapport à l'impact potentiel de l'ancienne activité minière sur les sols. **L'interprétation en termes de risques sanitaires des teneurs significatives en métaux et métalloïdes mesurées sur certains sols de potagers supposés non impactés par la mine et imputables au contexte naturel d'anomalie géochimique du secteur est par contre exposée dans le rapport INERIS (INERIS, 2013).**

8.4.1 Evaluation de la toxicité et valers toxicologiques de référence

8.4.1.1 Généralités

Les généralités relatives à l'évaluation de la toxicité et au choix des valeurs toxicologiques de référence sont présentées en annexe 7.

8.4.1.2 Démarche générale d'analyse et de sélection de VTR

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été sélectionnées conformément aux instructions du ministère en charge de la santé (cf. circulaire DGS/SD n°2006-234 de mai 2006[11]), relative aux modalités de sélection des VTR, comme repris dans la lettre de la Ministre aux Préfets du 8 février 2007 et ses annexes (MEDD, 2007).

Les VTR retenues sont issues d'un choix parmi celles proposées par les organismes et agences reconnues, et classiquement consultées, que sont :

– ANSES - Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

– ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. htpp://www.atsdr.cdc.gov/ toxpro2.html

– OEHHA - Office of Environmental Health Hazard Assessment, Agency Oakland California. http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB/index.asp

– RIVM - Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu (national institute of public health and environment) (2001) - Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, report 711701 025, March 2001 - http:/www.rivm.nl

– Santé Canada - VTR Substances. http://www.hc-sc.gc.ca/francais/

– US EPA : IRIS - Integrated Risk Information System - U.S. Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/

Dans le cadre de la présente étude, ont également été consultés les organismes suivants :

– NSF - NSF (the Public Health And Safety Company) - http://www.nsf.org/,

– FoBiG - Forschungs und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (Institut de Recherche allemand sur les dangers des substances chimiques),

– TPHCWG (1997) - Total Petroleum Hydrocarbons Citeria Working Group. Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Amherst Scientific Publishers. 1997. http://www.aehs.com/publications/catalog/tph.htm. (march 2003).

11 *La démarche de choix des VTR indiquée n'empêche pas une démarche approfondie conduite par des toxicologues*.

La position de l'INERIS est de proposer la meilleure approche au vu des connaissances disponibles. Le niveau d'approfondissement vers cette dernière, comme tout aspect des études, sera proportionné aux enjeux.

Ainsi, lorsqu'ils étaient disponibles pour les substances étudiées, ont été pris en compte les avis d'experts toxicologiques, notamment ceux de l'INERIS.

La méthodologie de réalisation du choix approfondi de VTR est basée sur celle décrite par Doornaert (2006) et INERIS (2005).

Un choix parmi les différentes valeurs disponibles est réalisé pour chacune des voies d'exposition pour des durées d'exposition chroniques et ce, pour les effets avec et sans seuil. La justification scientifique des valeurs retenues est basée sur les VTR disponibles. Selon les substances, le niveau de détail apporté dans la justification dépend du volume des données disponibles et de leur qualité.

8.4.1.3 VTR retenues pour une exposition chronique et pour la voie orale

En termes de choix des VTR pour une exposition chronique et pour la voie orale, l'INERIS a retenu les VTR synthétisées dans le Tableau . Ce choix a été effectué en tenant compte de la démarche approfondie présentée ci-dessus. Dans les autres cas, la VTR la plus conservatoire a été retenue.

Substance	VTR à seuil mg/kg.j	Organisme élaborateur	VTR sans seuil $(mg/kg.j)^{-1}$	Organisme élaborateur
Antimoine	0,0004	US EPA (1991)	n.c.	
Arsenic	0,00045	Fobig (2009)	1,5	US EPA (1998), OEHHA (2009)
Cadmium	0,00036	EFSA (2011)	n.c.	
Cuivre	0,14	RIVM (2001)	n.c.	
Plomb	0,00063	ANSES (2013)	0,0085	OEHHA (2009)
Zinc	0,3	US EPA (2005)	n.c.	
Légende : n.c. : non concerné				

Tableau 24 : Synthèse des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sélectionnées

8.4.2 Evaluation des expositions

8.4.2.1 Généralités et rappels méthodologiques

Les généralités relatives à l'évaluation des expositions sont présentées en annexe 7.

8.4.2.2 Paramètres d'exposition relatifs aux enfants et aux adultes

Les choix des valeurs des paramètres d'exposition ont été réalisés de façon raisonnablement conservatoire au regard de certaines incertitudes notamment en termes de fréquentation des lieux, d'absence de connaissance précise, ou de données de la littérature pour une situation similaire.

Les valeurs des paramètres d'exposition pourront être affinées si besoin au regard des résultats des calculs de risques réalisés pour chacune des substances et voies d'exposition. Ceci plus particulièrement lorsque les résultats seront dans la gamme 0,2 - 5 et 10^{-6} - 10^{-4}, indiquant qu'ils se situent dans la zone d'interprétation et nécessitent une réflexion plus approfondie.

Poids corporel

La base de données CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) a été consultée.

Enfant

En fonction des scénarios et des tranches d'âge considérées, les valeurs de poids corporels retenues sont les suivantes :

– 20 kg pour la période enfant de 3 à 6 ans. Elle correspond à un choix conservatoire, dans la gamme de valeurs usuellement considérées (ADEME, IRSN, 2004 ; US EPA, 2011) ;
– 15 kg pour la période de la naissance à 6 ans.

Adulte

Pour la tranche d'âge 17 ans et plus, au regard des valeurs moyennes pour les hommes et les femmes (respectivement de 67,3 kg et 57,8 kg), une valeur moyenne 62,5 kg a été retenue.

Quantité ingérée de sol et de poussières issues du sol

Enfant

La quantité ingérée de matériau (sol et poussières) issues du sol par un enfant est un élément largement débattu en matière d'évaluation des risques liés aux sites et sols pollués. De nombreuses études de mesure d'ingestion de particules de sol ont été menées (Hawley, 1997; Binder et *al.* 1986 ; Clausing et *al.* 1987 ; Thompson et *al.* 1991, Calabrese et *al.* 1998, 1989, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998 ; Stanek et *al.* 2000, 2001, 2006 ; etc.), ainsi que quelques études de synthèse durant ces dernières années en Europe (Glorennec 2005, 2006 ; Van Holderbeke et *al.* 2008 ; Dor et *al.* 2009 ; etc.). Plus particulièrement pour la cible enfant, deux synthèses ont été élaborées en France (Dor et *al.* 2009, InVS et INERIS, 2012) et en Belgique (région flamande ; Van Holderbeke et *al.* 2008) sur la base des démarches citées précédemment.

Dans la présente étude, la valeur du paramètre d'exposition « quantité de sol ingérée pour la période enfant » (de 3 ans jusqu'à l'âge de 6 ans) est de 91 mg/j. Il s'agit du 95ème percentile présenté dans le document InVS et INERIS (2012) pour l'enfant de moins de 6 ans, et non la valeur jusqu'alors retenue de 150 mg/j.

Pour information, la valeur retenue est conservatoire, notamment au regard de l'étude de l'OVAM (2007) qui indique une valeur moyenne comprise entre 40 et 80 mg/j. Quant à l'US EPA (2011), elle indique une valeur moyenne de 100 mg/j.

Le cas d'un enfant présentant un comportement particulier de type Pica n'est pas étudié, avec dans ce cas une quantité ingérée de sol plus importante (1 000 mg/j).

Dans le cas des scénarios traités (fréquentation de l'aire de jeu, lieux de promenades, etc.), la valeur de 91 mg/j est retenue.

Adulte

La voie ingestion de sol est ici principalement considérée pour un scénario avec un adulte effectuant des travaux de jardinage. Dans le cas de la présente étude, ce scénario a été traité dans le cadre de l'évaluation des incertitudes. Pour les autres activités, comme les loisirs, la promenade, les enfants sont prioritairement pris en compte au regard du porté main-bouche. Toutefois, des calculs de risque associés aux adultes sont aussi présentés à titre informatif.

La quantité de sols et poussières ingérée par les adultes est également mal connue. Chez ces derniers, une seule étude a été menée (Calabrese et al. 1990). Les mesures indiquaient une ingestion d'environ 50 mg/j. Mais cette étude, portant sur un effectif restreint, ne distingue pas les individus selon leur type d'activité et le temps passé à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment.

A partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sol et de poussières de :

– 0,5 mg/j dans sa pièce de séjour ;
– 110 mg/j, s'il fréquente une zone empoussiérée comme un grenier ou un sous-sol ;
– 480 mg/j lors de travaux de jardinage.

Dans son guide pour l'évaluation des risques, l'US EPA propose comme valeur par défaut 50 mg/j de sol ingéré par un adulte dans un scénario résidentiel et dans un scénario industriel (US EPA, 2011).

Au regard de ces données et en l'absence de données spécifiques aux scénarios étudiés dans la présente étude, les choix réalisés de manière conservatoire sont repris ci-après.

Dans le cas des scénarios concernant les activités de jardinage, traité plus particulièrement dans l'étape d'évaluation des incertitudes :

– une valeur de 480 mg/j est retenue 2 jours par an lors des activités de bêchage ;
– une valeur de 50 mg/j est retenue lors des activités de plantation des légumes, d'entretien du jardin et de récolte des légumes, cela 10 jours par an[12] et 5 jours par an pour l'entretien des parterres ornementaux.

Pour les autres scénarios, la valeur de 50 mg/j est retenue.

Quantité ingérée de fruits et légumes autoproduits

La base de données CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) a été consultée pour l'Auvergne, reprise dans la division administrative du territoire ZEAT Centre Est (source INCA). Le Tableau reprend les quantités ingérées de végétaux disponibles selon les tranches d'âges étudiées.

Les poireaux, salades, choux sont définis comme des « légumes feuilles » ; les carottes, navets, radis comme des « légumes racines »; les tomates, haricots verts, courgettes comme des « légumes fruits » et les petits pois comme des « légumes graines ».

[12] *Pour information, la base de données CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) indique pour le temps passé pour des activités de jardinage en Auvergne, pour la tranche d'âges 17-63 ans, une valeur de 78 mn/j (soit de l'ordre de 1h 20 min/j) et pour la tranche d'âge supérieur à 63 ans, une valeur de 134 mn/j (soit de l'ordre de 2 h/j), dans le cadre d'une démarche raisonnablement conservatoire, la quantité ingérée de sol de 480 mg/j et de 50 mg/j n'était pas à attribuer à chaque fréquentation dans le jardin.*

ZEAT Centre Est	Enfants									Adolescents			Adultes					
	1 à 2 ans			2 à 7 ans			7 à 12 ans			12 à 17 ans			17 à 60 ans			61 ans et plus		
type de légumes	quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation		quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation		quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation		quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation		quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation		quantité ingérée (g/j)	effectif et taux de consommation	
légume feuille	-	-	-	**25,47**	52	73,1%	**35,76**	68	77,9%	**30,35**	54	81,5%	**57,01**	116	85,3%	**59,61**	34	82,3%
légume racine	-	-	-	**14**	52	75,0%	**20,63**	68	55,9%	**28,4**	54	57,4%	**29,04**	116	63,8%	**42,54**	34	61,8%
légume fruit	-	-	-	**95,1**	52	100,0%	**132,03**	68	98,5%	**143,99**	54	90,7%	**198,19**	116	99,1%	**265,1**	34	100%
pomme de terre	-	-	-	**30,41**	52	94,2%	**47,44**	68	92,6%	**65,01**	54	94,4%	**49,02**	116	94,0%	**39,54**	34	82,3%

Tableau 25 : Quantités ingérées de végétaux autoproduits issues de la base de données CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004)

Pour les végétaux tels que carotte, salades, poireaux, betteraves, et citrouille[13], le tableau 26 présente les calculs de taux d'autoconsommation établis sur la base des données de Bertrand (1993) pour une population non agricole et en commune rurale (enfants et adultes).

Type de végétaux	Consommation annuelle par personne, pour les populations non agricoles et en communes rurales (kg/an)		Taux d'autoconsommation
	Consommation totale	Consommation hors autoconsommation	
carotte	9,41	5,84	37 %
poireaux	4,13	1,24	69 %
laitue	3,76	1,69	55 %
autres salades	4,60	1,97	57 %

Tableau 26 : Calcul de taux d'autoconsommation sur la base des données de Bertrand (1993)

Nombre de jours et d'années d'exposition

Il s'agit du nombre de jours par an où l'enfant et/ou l'adulte sont présents sur la zone considérée.

En l'absence de connaissance précise de la fréquentation du site, ou de données de la littérature pour des situations similaires à celles étudiées, les choix ont été conduits avec une approche raisonnablement conservatoire. Les paramètres liés à la fréquentation ont été basés notamment sur les observations réalisées sur le terrain.

Les tableaux 27 et 28 reprennent en détails les valeurs retenues pour les enfants et les adultes.

[13] *Il est à signaler dans cette référence l'absence de donnée d'autoconsommation pour ces deux derniers végétaux, au regard des autres végétaux aucune association n'a pu être réalisée, ce point sera intégré dans le cadre de l'évaluation des incertitudes.*

Paramètres d'exposition de l'enfant	Valeurs
Poids corporel [kg]	20 kg pour la tranche d'âges 3 à 6 ans ; 15 kg pour la tranche d'âge de la naissance à 6 ans (ADEME, IRSN, 2004)
Quantité ingérée de sol [mg/j]	91 mg/j pour les enfants jusqu'à l'âge de 6 ans (InVS, INERIS, 2012)
Quantité ingérée de fruits et légumes autoproduits [g/j]	
Légumes « feuilles »	12,5 g/j en tenant compte des valeurs de CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) pour les quantités consommées et du calcul de taux d'autoconsommation sur la base de Bertrand (1993)
Feuilles de poireaux	3,3 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
Feuilles de « salade »	3,3 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
Légumes « racines »	8,5 g/j en tenant compte des valeurs de CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) pour les quantités consommées et du calcul de taux d'autoconsommation sur la base de Bertrand (1993)
Carottes	7,2 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
T : durée d'exposition [années]	3 ans (période de 3 à 6 ans, en tenant compte de l'apprentissage de la marche pour l'enfant au regard des zones fréquentées, tant pour les zones de promenade que l'aire de jeu) pour la voie ingestion de sol ; 6 ans (période de la naissance à 6 ans) pour la voie ingestion de végétaux autoproduits
F : fréquence d'exposition : nombre annuel de jours d'exposition ramené au nombre total annuel de jours [sans unité]	
Scénarios « aire de jeux » ou promenade	30 jours par an (voie ingestion de sol) pour les enfants habitant les zones d'étude ou le cas d'un enfant avec une fréquentation uniquement pendant une période estivale de vacances, soit F = (30/365) = 0,08
Scénarios « Jardin »	3 mois, 91 jours par an (voie ingestion de végétaux autoproduits) pour les enfants habitant les zones d'études, soit F = (91/365) = 0,4
Tm : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée [années]	3 ans (période de 3 à 6 ans, en tenant compte de l'apprentissage de la marche pour l'enfant au regard des zones fréquentées, tant pour les zones de promenade que l'aire de jeu) pour la voie ingestion de sol) ; 6 ans (période de la naissance à 6 ans) voie ingestion de végétaux autoproduits : effet à seuil : égale à la durée d'exposition, et 70 ans effet sans seuil[14]

Tableau 27 : Valeurs des paramètres d'exposition pour l'enfant

[14] *pour une substance à effet à seuil T = Tm et pour une substance à effet sans seuil, Tm est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)*

Paramètres d'exposition de l'adulte	Valeurs
Poids corporel [kg]	62,5 kg (ADEME, IRSN, 2004)
Quantité ingérée de sol [mg/j]	480 mg/j pour les scénarios avec activités de jardinage avec bêchage (Hawley, 1985) ; valeur ajustée à 50 mg/j pour les activités de plantation des légumes, d'entretien du jardin et de récolte des légumes et d'entretien des parterres ornementaux ; 50 mg/j pour les scénarios avec les activités de loisirs ou promenade (US E¨EPA, 2011)
Quantité ingérée de fruits et légumes autoproduits [g/j] valeur pondérée en fonction des tranches d'âge indiquée dans le tableau issu de CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004)	
Légumes « feuilles »	28,2 g/j en tenant compte des valeurs de CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) pour les quantités consommées et du calcul de taux d'autoconsommation sur la base de Bertrand (1993)
Feuilles de poireaux	7,6 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
Feuilles de « salade »	7,6 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
Légumes « racines »	10,6 g/j en tenant compte des valeurs de CIBLEX (ADEME, IRSN, 2004) pour les quantités consommées et du calcul de taux d'autoconsommation sur la base de Bertrand (1993)
Carottes	9,1 g/j en tenant compte de la part de ces légumes au regard de la consommation moyenne des Français (INSEE)
T : durée d'exposition [années]	53 ans, tenant compte que cette activité de jardinage débute à l'âge de l'adolescence (17 ans) pour les scénarios avec des activités de jardinage) ; 64 ans, pour les activités de loisirs
F : fréquence d'exposition : nombre annuel de jours d'exposition ramené au nombre total annuel de jours [sans unité]	
Scénario « Zone de promenade »	30 jours par an (voie ingestion de sol), tenant compte que l'adulte accompagne son enfant, soit F = (30/365) = 0,08
Scénarios « Jardin »	12 jours par an pour le scénario ingestion de sol lors des activités de jardinage, tenant compte d'une fréquentation de 2 jours pour les activités de bêchage et de 10 jours pour les activités de plantation des légumes, entretien du jardin et de récolte des légumes, soit F = (12/365) = 0,03 ; 3 mois, 91 jours par an (voie ingestion de végétaux autoproduits), soit F = (91/365) = 0,4
Tm : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée [années]	53 ans (scénario ingestion de sol lors des activités de jardinage) ; 64 ans (voie ingestion de végétaux autoproduits) : effet à seuil : égale à la durée d'exposition, et 70 ans (effet sans seuil)[15]

Tableau 28 : Valeurs des paramètres d'exposition pour l'adulte

15 *pour une substance à effet à seuil T = Tm et pour une substance à effet sans seuil, Tm est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)*

8.4.2.3 Paramètres environnementaux

Concentrations dans le sol

Les concentrations dans les sols retenues pour les différents scénarios sont reprises dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Elles correspondent aux concentrations maximales enregistrées. Ce choix est retenu en première approche dans le cadre d'une démarche conservatoire pour chacune des zones étudiées.

Concentrations dans les végétaux potagers

Les concentrations en métaux et métalloïdes dans les végétaux retenues pour les jardins potentiellement impactés par les résidus miniers issus de la Molette (jardins »02 » et « 12 ») sont reprises dans le tableau 29.

Zone	Désignation d'échantillon	N° d'échantillon	"type" de végétaux	végétaux	Masse sèche	Eau	Argent (Ag)	Antimoine (Sb)	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Cobalt (Co)	Fer (Fe)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Tungstène (W)	Zinc (Zn)
				Unités	g/100 g MB	g/100 g MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB
				limite de quantification (*)			*0,2*	*0,2*	*0,1*	*0,01*	*0,2*	*-*	*0,2*	*-*	*0,005*	*0,2*	*0,02*	*0,2*	*1*
				incertitude (**)			*15%*	*20%*	*15%*	*15%*	*15%*	*15%*	*15%*	*20%*	*20%*	*15%*	*15%*	*20%*	*20%*
Jardin "12" du Moulin Neuf	**AUZ-VEG-12-POIR-F**	12-117602-02	légume feuilles	feuilles de poireau	9,1	91	<5	<0,2	<0,1	0,1	<0,2	0,91	<0,2	22	<0,005	<0,2	0,16	<0,2	7,1
	AUZ-VEG-12-POIR-T	12-117602-01	légume tige	tiges/blancs de poireau	13	87	<5	<0,2	<0,1	0,19	<0,2	0,91	<0,2	13	<0,005	<0,2	0,088	<0,2	12
	AUZ-VEG-12-CAR	12-117602-03	légume racine	carottes	8,3	92	<5	<0,2	<0,1	0,12	<0,2	0,36	<0,2	6,4	<0,005	<0,2	0,22	<0,2	7,2
Jardin "02" de Fleury	**AUZ-VEG-02-SAL**	12-116727-01	légume feuilles	salade	4,3	96	<0,2	<0,2	<0,1	0,068	<0,2	0,47	<0,2	8,4	<0,005	0,28	0,039	<0,2	2,3
	AUZ-VEG-02-COU	12-116727-03	légume fruit	courgettes	24	76	<0,2	<0,2	<0,1	<0,01	<0,2	0,28	<0,2	2,5	<0,005	<0,2	<0,02	<0,2	1,7
	AUZ-VEG-02-TOM	12-116727-04	légume fruit	tomates	3,7	96	<0,2	<0,2	<0,1	0,02	<0,2	0,4	<0,2	2,3	<0,005	<0,2	<0,02	<0,2	<1
	AUZ-VEG-02-CIT	12-116727-02	légume fruit	citrouille	6,5	94	<0,2	<0,2	<0,1	0,051	<0,2	0,99	<0,2	5	<0,005	0,28	<0,02	<0,2	5,6

Légende	
MB	matière brute
(**)	valeur d'incertitude calculée avec la méthode GUN, valeur identique aux incertitudes level2, level3, level4, level5
< X	concentration inférieure à la limite de quantification de X
	concentration supérieure à la valeur du règlement CE précité pour les substances étudiées et retenues dans le cadre de la démarche d'approfondissement tenant compte de quantité ingérée autoproduite

Tableau 29 : Concentrations (mg/kg MS) retenues dans les végétaux au niveau des zones sélectionnées dans le cadre du scénario ingestion de végétaux autoproduits (potagers situés en aval de la zone de la Molette et en bordure du Miodet)

8.4.3 Caractérisation des risques

8.4.3.1 Généralités et rappels méthodologiques

Les généralités sur la caractérisation des risques sont présentées en annexe 7.

8.4.3.2 Résultats des calculs de risques

Les calculs d'exposition et de risques ont été effectués par substance et voie d'exposition selon la démarche de la grille de calcul proposée dans la démarche IEM.. En cohérence avec les expositions envisagées sur les zones étudiées, les parties de cette grille de calcul relative à l'ingestion de sols et l'ingestion de végétaux autoproduits ont été considérées.

Les tableaux 30 et 31 présentent les résultats des calculs de risques réalisés pour les zones potentiellement impactées par l'ancienne activité minière et pour les scénarios de base considérés. Les concentrations retenues y sont celles indiquées dans les tableaux 22 et 29. Les VTR choisies sont celles mentionnées dans le tableau 24 et les paramètres d'exposition ceux présentés dans le tableau 27 pour l'enfant et le tableau 28 pour l'adulte.

Scénarios	Quotient de danger (QD)					
Enfant	**arsenic**	**antimoine**	**cadmium**	**cuivre**	**plomb**	**zinc**
Ingestion de sol						
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le sommet du tas	$6{,}4.10^{-1}$	8.10^{-2}	$1{,}3.10^{-2}$	$1{,}6.10^{-4}$	15	$1{,}9.10^{-3}$
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest	*n.c.*	$5{,}4.10^{-2}$	*n.c.*	*n.c.*	10	$2{,}6.10^{-4}$
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zones des bassins	$7{,}4.10^{-1}$	$1{,}8.10^{-1}$	$1{,}2.10^{-1}$	*n.c*	44	$9{,}4.10^{-4}$
Zone située le long du Miodet à proximité du lieu-dit « Chabanettes » : rive opposée aux dépôts de résidus miniers. Présence d'une balancelle indiquant une possible fréquentation du secteur par des enfants.	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	$1{,}5.10^{-1}$	*n.c.*
Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier-d'Auvergne	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	$4{,}3.10^{-1}$	$2{,}7.10^{-4}$
Ingestion de végétaux autoproduits						
Jardin « 02 » au lieu-dit « Fleury »	*n.c.*	*n.c.*	$6{,}7.10^{-3}$	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*
Jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf »	*n.c.*	*n.c.*	$4{,}2.10^{-2}$	*n.c.*	$4{,}1.10^{-2}$	*n.c.*
Adulte						
Ingestion de végétaux autoproduits						
Jardin « 02 » au lieu-dit « Fleury »	*n.c.*	*n.c.*	$4{,}1.10^{-3}$	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*
Jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf »	*n.c.*	*n.c.*	$2{,}5.10^{-2}$	*n.c.*	$1{,}2.10^{-2}$	*n.c*

Légende :

n.c. : substance non concernée (cf. concentration inférieure à celle de l'environnement local témoin pour les sols, *inférieures aux valeurs du règlement CE pour les végétaux potagers…)*

	QD < 0,2 – l'état des milieux est compatible avec les usages
	0,2 < QD < 5 – zone d'interprétation nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion
	QD > 5 – l'état des milieux n'est pas compatible avec les usages

Tableau 30 : Synthèse des calculs de risques pour les substances aves des effets à seuil (Quotient de Danger - QD) pour les différents scénarios de base et zones étudiés

Scénarios	Excès de Risques Individuel (ERI)[16]	
Enfant	**arsenic**	**plomb**
Ingestion de sol		
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le sommet du tas	$1{,}8.10^{-5}$	$3{,}5.10^{-6}$
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest	*n.c*	$2{,}3.10^{-6}$
Zone de la halde de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zone des bassins	$2{,}1.10^{-5}$	$1{,}02.10^{-5}$
Zone située le long du Miodet à proximité du lieu-dit « Chabanettes » : rive opposée aux dépôts de résidus miniers. Présence d'une balancelle indiquant une possible fréquentation du secteur par des enfants.	*n.c*	$3{,}5.10^{-8}$
Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier d'Auvergne	*n.c*	$9{,}9.10^{-8}$
Enfant et adulte (vie entière)		
Ingestion de végétaux autoproduits		
Jardin « 02 » au lieu-dit « Fleury »	*n.c.*	*n.c.*
Jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf »	*n.c.*	$8{,}1.10^{-8}$ *(pour information : $1{,}9.10^{-8}$ pour l'enfant et $6{,}2.10^{-8}$ pour l'adulte)*

Légende :

n.c. : substance non concernée (cf. concentration inférieure à celle de l'environnement local témoin pour les sols, *inférieures aux valeurs du règlement CE pour les végétaux potagers…)*

	ERI < 10^{-6}– l'état des milieux est compatible avec les usages
	10^{-6} < ERI < 10^{-4} – zone d'interprétation nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion
	ERI > 1.10^{-4} – l'état des milieux n'est pas compatible avec les usages

Tableau 31 : Synthèse des calculs de risques pour les substances avec des effets sans seuil (Excès de Risques Individuel - ERI) pour les différents scénarios de base et zones étudiés

[16] Pour rappel, les ERI sont calculés pour la vie entière, soit la période enfant et adulte. Cela sera le cas pour l'ingestion de végétaux autoproduits avec, à titre informatif, celui associé à l'enfant et à l'adulte. Dans le cas présent, sont présentés des ERI uniquement pour l'enfant pour la voie ingestion de sols, notamment dans le cadre de la fréquentation de l'aire de jeux.

Les résultats sont commentés ci-dessous au regard des intervalles de gestion de la grille de calcul de l'IEM (figure 34).

Pour rappel :

- dans le cas où les QD et ERI sont respectivement inférieurs à 0,2 et 10^{-6}, l'état des milieux est compatible avec les usages constatés.
- dans le cas où les QD et ERI se situent dans la zone d'interprétation, c'est à dire respectivement compris dans les gammes 0,2 - 5 et 10^{-6} - 10^{-4}, Il est alors nécessaire d'établir une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion. Plusieurs approches peuvent être conduites, parmi les suivantes :
    - o le recours à une argumentation appropriée, au retour d'expérience,
    - o la mise en œuvre de mesures de gestion simples et de bon sens,
    - o la réalisation d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) réfléchie, etc. Cette dernière approche nécessite la réalisation d'un calcul de risque global prenant en compte l'ensemble des substances et des voies d'exposition avec comme critères d'acceptabilité ceux rappelés précédemment. Ces derniers sont respectivement pour les effets à seuil, la valeur de 1 et pour les effets sans seuil, celle de 10^{-5}. Pour les effets à seuil, les calculs sont réalisés en première approche selon une démarche conservatoire, l'additivité des risques a été prise en compte systématiquement via la sommation des QD de toutes les substances étudiées. En effet, a minima, il est nécessaire de réaliser la sommation des QD liés à des substances avec les mêmes effets sur le même organe cible, via un même mécanisme d'action. Pour les effets sans seuil, les calculs sont réalisés en sommant les ERI de toutes les substances étudiées.
- dans le cas où le QD est supérieur à 5 et/ou l'ERI est supérieur à 10^{-4}, l'état des milieux n'est pas compatible avec les usages. La définition et la mise en œuvre d'un plan de gestion est nécessaire pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages.

L'analyse des tableaux 30 et 31 indique plus particulièrement les conclusions suivantes pour les scénarios de base considérés:

- **<u>le scénario ingestion de sol pour les enfants :</u>**

- Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le sommet du tas :

Pour le plomb, le QD de 15 est supérieur à la borne haute des intervalles de gestion (borne de 5) et l'ERI de $3{,}5.10^{-6}$ se situe entre 10^{-6} et 10^{-4}.

L'état du milieu n'est donc pas compatible avec l'usage en lien avec l'exposition par ingestion de sol par les enfants.

Pour l'arsenic, le QD de $6{,}4.10^{-1}$ et l'ERI de$1{,}8.10^{-5}$, sont compris respectivement dans la gamme 0,2 - 5 et 10^{-6} - 10^{-4}, indiquant que les résultats des calculs de risques se situent dans la zone d'interprétation. Il est alors nécessaire d'effectuer une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion. Dans le cas présent, il n'a pas été utile de dérouler une EQRS tenant compte de l'ensemble des substances et des critères de risques (QD<1 et ERI< 10^{-5}), le QD du plomb dépassant largement le critère de 1 et le ERI associés à l'arsenic dépassant déjà le critère de 10^{-5}. Des réflexions sont toutefois à conduire en termes de gestion.

Les QD associés à l'antimoine, au cadmium, au cuivre et au zinc, sont par contre inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 0,2). Pour ces éléments, les valeurs de QD sont respectivement égales à 8.10^{-2}, $1,3.10^{-2}$, $1,6.10^{-4}$ et $1.9.10^{-3}$.

- Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest :

Pour le plomb, le QD de 10 est supérieur à la borne haute des intervalles de gestion (borne de 5) et l'ERI de $2,3.10^{-6}$ se situe entre 10^{-6} et 10^{-4}.

L'état du milieu n'est donc pas compatible avec l'usage en lien avec l'exposition par ingestion de sol par les enfants.

Les QD associés à l'antimoine et au zinc, respectivement de $5,4.10^{-2}$ et de $2,6.10^{-4}$ sont par contre inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 0,2).

- Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contre-bas au nord, zone des bassins :

Pour le plomb, le QD de 44 est supérieur à la borne haute des intervalles de gestion (borne de 5) et l'ERI de $1,02.10^{-5}$ se situe entre 10^{-6} et 10^{-4}.

L'état du milieu n'est donc pas compatible avec l'usage en lien avec l'exposition par ingestion de sol par les enfants.

Pour l'arsenic, le QD de $7,4.10^{-1}$ et l'ERI de $2,1.10^{-5}$, compris respectivement dans la gamme 0,2 - 5 et 10^{-6} - 10^{-4}, indiquent que les résultats des calculs de risques se situent dans la zone d'interprétation. Il est donc nécessaire d'effectuer une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion. Dans le cas présent, il n'a pas été utile de dérouler une EQRS tenant compte de l'ensemble des substances et des critères de risques (QD<1 et ERI< 10^{-5}) , le QD du plomb dépassant largement le critère de 1 et les ERI associés à l'arsenic et au plomb dépassant déjà le critère de 10^{-5}. Des réflexions sont toutefois à conduire en termes de gestion.

Les QD calculés pour l'antimoine, le cadmium et le zinc sont, pour leur part, inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion de 0,2 (respectivement de $1,8.10^{-1}$, $1,2.10^{-1}$ et $9,4.10^{-4}$).

- Zone située le long du Miodet à proximité du lieu-dit « Chabanettes » : rive opposée aux dépôts de résidus miniers (présence d'une balancelle indiquant une possible fréquentation du secteur par des enfants) :

Pour le plomb, le QD, de $1,5.10^{-1}$ et l'ERI de $3,5.10^{-8}$ sont inférieurs aux bornes basses des intervalles de gestion (borne de 0,2 pour QD et 10^{-6} pour ERI)

L'état du milieu est donc compatible avec l'usage de la zone étudiée.

- Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de St-Dier-d'Auvergne :

Pour le plomb, le QD de $4,3.10^{-1}$ se situe dans la gamme 0,2 - 5 et l'ERI de $9,9.10^{-8}$ est inférieur à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 10^{-6}).

La valeur de QD obtenue pour le plomb indique que les risques se situent dans la zone d'interprétation nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avec notamment la réalisation d'un calcul de risque tenant compte de l'ensemble des substances .Dans ce dernier cas, les résultats de ce calcul montrent un QD global inférieur à 1 et donc que **l'état des sols est compatible avec l'usage de la zone étudiée**.

Quant au zinc, le QD de 2,74E-04 est inférieur à la borne basse de l'intervalle de gestion de 0,2.

- **le scénario ingestion de végétaux autoproduits (vie entière, enfant et adulte) : cas des jardins sous influence potentielle des anciennes activités minières du site de la Molette**

- Jardin « 02 » de Fleury :

Pour le cadmium, les QD tant pour l'enfant ($6{,}7.10^{-3}$) que pour l'adulte ($4{,}1.10^{-3}$) sont inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion de 0,2.

L'état des végétaux est donc compatible avec l'usage de la zone étudiée.

- Jardin « 12 » du Moulin Neuf :

Pour le plomb et le cadmium, les QD sont inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion de 0,2, et cela tant pour les enfants ($4{,}1.10^{-2}$ pour le plomb et $4{,}2.10^{-2}$ pour le cadmium) que les adultes ($1{,}2.10^{-2}$ pour le plomb et $2{,}5.10^{-2}$ pour le cadmium). L'ERI du plomb de $8{,}1.10^{-8}$ est pour sa part inférieur à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 10^{-6}).

L'état des végétaux est donc compatible avec l'usage de la zone étudiée.

Le tableau 32 synthétise, pour les différents scénarios d'exposition de base, les résultats des calculs de risques au regard des intervalles de gestion de l'IEM.

Positionnement des résultats de dans les intervalles de gestion des risques (IEM)	**N° Scénario** **Commune**	**Scénario** *(nombre de jours d'exposition annuelle)*	**Population concernée**	**Substances principales**	**Démarche d'approfondissement : EQRS avec l'ensemble des substances et voies d'exposition ; critères de risques de 1 (QD) et 10^{-5} (ERI)**	
QD < 0,2 et ERI < 10^{-6}	7 Commune d'Auzelles	Consommation de végétaux potagers autoproduits issus du jardin «02 » au lieu-dit « Fleury » (91j/an)	Enfant et adulte « résident »	Cd	Non concerné	L'état des milieux est **COMPATIBLE** avec les usages constatés
	6 Commune de Domaize	Consommation de végétaux potagers autoproduits issus du jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf » (91 j/an)	Enfant et adulte « résident »	Cd - Pb		
	4 Commune d'Auzelles	Fréquentation de la zone située le long du Miodet (proximité du lieu-dit Chabanettes) et exposition par ingestion de sol (30 j/an)	Enfant « résident « et « vacancier »	Pb		
0,2 <QD < 5 et/ou 10^{-4} < ERI < 10^{-6}	5 Commune de St-Dier-d'Auvergne	Fréquentation de la zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier-d'Auvergne et exposition par ingestion de sol (30 j/an)	Enfant « résident » et « vacancier »	Pb	QD < 1 et ERI < 10^{-5}	L'état des milieux est **COMPATIBLE** avec les usages constatés
QD > 5 et/ou ERI > 10^{-4}	1 Commune d'Auzelles	Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette sur le sommet du tas et exposition par ingestion de sol (30 j/an)	Enfant « résident » et « vacancier »	As et Pb	Non concerné	L'état des milieux n'est **PAS COMPAPTIBLE** avec les usages constatés.
	2 Commune d'Auzelles	Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest et exposition par ingestion de sol (30 j/an)		Pb		
	3 Commune d'Auzelles	Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zones des bassins et exposition par ingestion de sol (30 j/an)		As et Pb		

Tableau 32 : Synthèse des résultats des calculs de risques sanitaires

8.4.4 Incertitudes

Les incertitudes sont inhérentes à une chaque étape de la démarche d'IEM. D'une manière générale, l'utilisation de données spécifiques au site réduit ces dernières mais certaines persistent. Dans le cadre de la présente étude, les incertitudes les plus importantes sont relatives à l'estimation prédictive des concentrations d'exposition des populations à très long terme. Cette étude a été réalisée en l'état actuel des connaissances.

L'analyse attentive des incertitudes constitue une étape incontournable de la démarche d'IEM, cette dernière permettant de fournir les éléments afin d'étayer les conclusions.

Cette analyse permet d'identifier les incertitudes les plus significatives pouvant interférer sur les résultats de l'étude et éventuellement de définir la nécessité de réaliser des études complémentaires (enquête, spéciation, investigations, etc.).

Les incertitudes identifiées et présentées ci-après regroupent donc les sources d'incertitudes majeures des étapes de l'étude.

8.4.4.1 Incertitudes sur le terme source

Incertitudes sur l'échantillonnage

Les incertitudes concernent ici les reconnaissances effectuées sur le site.

Ainsi, l'exposition par inhalation de poussières n'a pas été retenue, ni l'ingestion de poussières à l'intérieur des habitations. Aucune caractérisation n'a donc été conduite dans le cadre de la campagne de terrain pour ces milieux. En première approche, compte tenu de la configuration du site, de la position des habitations par rapport aux dépôts et de la végétalisation importante des terrains situés à proximité de ces dépôts, cette hypothèse apparaît réaliste et proportionnée ;

Pour les végétaux autoproduits, il est également rappelé que seuls les végétaux disponibles en quantité suffisante ont été prélevés, en soulignant cependant le prélèvement et l'analyse de végétaux représentatifs de chaque type (racine, feuille, etc.).

Enfin, en termes de caractérisation spatiale des sols, des échantillons composites ont été réalisés afin de couvrir des zones représentatives des expositions.

Incertitudes sur les analyses chimiques

Au regard des informations transmises par le laboratoire d'analyse, les incertitudes sur les résultats des analyses mentionnées dans les tableaux de l'annexe 6[17], indiquent notamment des valeurs pour :

- les sols : incertitude qui se situe dans la gamme de 10% à 26% pour les métaux et métalloïdes . Pour les HAP, l'incertitude se situe dans la gamme de 16% à 32% ;
- les eaux de surface et souterraines : incertitude qui se situe dans la gamme de 14% - 25% pour les métaux et métalloïdes.
- Les sédiments : incertitude qui se situe dans la gamme de 10%-26% pour les métaux et métalloïdes.
- les végétaux : incertitude qui se situe dans la gamme de 15%-20% pour les métaux et métalloïdes.

[17] *Le laboratoire d'analyse n'a pas transmis les incertitudes associées à chacun des résultats analytiques, mais des bornes basses et hautes d'incertitudes par substances et matrice calculées avec la méthode GUN, et pour les Level1, -2, -3, -4, -5. La valeur indiquée dans les tableaux de résultats correspond à la valeur maximale.*

Ces gammes d'incertitude ne modifient pas de manière significative les conclusions précédemment établies tant en termes d'interprétation des résultats des calculs de risques, que des concentrations dans les milieux d'exposition au regard des valeurs de gestion réglementaires.

Incertitudes sur la recherche et la sélection des substances d'intérêt

La sélection des substances chimiques retenues pour l'étude est une source d'incertitudes. Néanmoins, ces dernières ont été sélectionnées au regard de l'ensemble des activités exercées sur le site.

Les analyses ont ciblé les substances pertinentes considérant à la fois leur comportement physico-chimiques et biologiques ainsi que les scénarios étudiés (toxicité par ingestion directe).

Les substances retenues sont également celles présentes dans l'horizon de surface au regard de l'exposition des enfants et l'exposition des jardiniers (pour ce dernier cas uniquement traités dans la présente section d'évaluation des incertitudes).

8.4.4.2 Incertitudes sur l'évaluation de la toxicité

En plus du choix des VTR, de nombreuses sources d'incertitudes sont associées à l'élaboration de ces valeurs, en raison notamment de l'extrapolation :

- de la réponse dose-effet pour de faibles doses à partir de hautes doses,
- de réponse pour des expositions de courtes durées à de longues durées,
- des résultats d'expérimentations chez l'animal pour prédire des effets chez l'homme,
- de réponses à partir d'études provenant de populations animales homogènes pour prédire les effets sur une population composée d'individus avec un large spectre de sensibilité, etc.

La sélection des VTR peut avoir une incidence significative sur les résultats des calculs de risques. Les choix réalisés par l'INERIS sont conformes aux connaissances scientifiques actuelles et ne représentent que la connaissance disponible à un moment donné.

8.4.4.3 Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

a) Scénario et voie d'exposition

Plusieurs voies d'exposition ont été explorées dans le cadre de ce volet dédié aux incertitudes.

Ingestion de denrées alimentaires issues du bétail

L'exposition par ingestion de denrées alimentaires issues du bétail fréquentant certaines parcelles sur lesquelles ont été enregistrées des concentrations élevées en plomb liées très probablement à l'impact des résidus miniers de la zone de la Molette n'a pas été étudiée. En effet, avant de réaliser des calculs d'exposition du bétail conduisant à l'évaluation des concentrations dans la viande par le biais de modèle de transfert ou avant d'effectuer des mesures directement dans le bétail, il conviendrait de préciser si le bétail est destiné à être consommé. Dans l'affirmative, la prise en compte du contrôle sanitaire de la viande effectué dans le cadre des démarches garantissant la sécurité alimentaire permettraient d'affiner les données déjà acquises.

Ingestion de sol lors des activités de jardinage (adulte)

En termes de scénario, l'ingestion de sol par des adultes lors des activités de jardinage n'avait pas été prise en compte dans les scénarios de base. Dans le cadre de l'évaluation des incertitudes, le scénario d'un adulte réalisant des activités de jardinage avec comme voie d'exposition l'ingestion de sol a été étudié dans le cas des deux jardins potentiellement impactés par l'ancienne activité minière de la zone de la Molette. Il s'agit du potager situé au lieu-dit « Fleury », (cf. échantillon de sol associé : AUZ-S-10-0-30, et de végétaux : AUZ-VEG-02) et du potager situé au lieu-dit du « Moulin Neuf » (cf. échantillon de sol associé : AUZ-S-34-0-30 et de végétaux : AUZ-VEG-12).

La section 8.4.2.2 et le tableau 28 indiquent les valeurs des paramètres d'exposition retenus.

Le tableau 33 rappelle les concentrations retenues dans les sols (concentrations supérieures aux concentrations de l'environnement local témoin).

Substances **Zone**	**arsenic**	**antimoine**	**cadmium**	**cuivre**	**plomb**	**zinc**
Jardin « 2 » au lieu-dit « Fleury » *(AUZ-S-10-0-30)*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	47	170	170
Jardin « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf » *(AUZ-S-34-0-30)*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	*n.c.*	140
Légende : *n.c. : substance non concernée, la concentration étant inférieure à celle de l'environnement local témoin.*						

Tableau 33 : Concentrations (mg/kg MS) retenues pour les calculs de risques sanitaires au niveau des zones sélectionnées dans le cadre du scénario ingestion de sol par les jardiniers (potagers situés en aval de la zone de la Molette et en bordure du Miodet)

Le tableau 34 indique les QD et les ERI calculés pour les deux jardins étudiés.

	Jardin de "Fleury"		***Jardin du "Moulin Neuf"***	
Substance	**QD**	**ERI**	**QD**	**ERI**
cuivre	$2{,}1.10^{-5}$	n.c.		
plomb	$1{,}7.10^{-2}$	$6{,}9.10^{-8}$		
zinc	$3{,}6.10^{-5}$	n.c.	$2{,}9.10^{-5}$	n.c.

Légende :
n.c. : substance non concernée par les effets sans seuil et le calcul d'un ERI ;
Cellule en grisé : substance non concernée: concentration inférieure à celle de l'environnement local témoin

	QD < 0,2 – l'état des milieux est compatible avec les usages
	0,2 < QD < 5 – zone d'interprétation nécessitant une réflexion plus approfondie de la situation avant de s'engager dans un plan de gestion
	QD > 5 – l'état des milieux n'est pas compatible avec les usages

Tableau 34 : Synthèse des calculs de risques pour l'ingestion de sol pour les substances avec des effets à seuil (QD) et sans seuil (ERI) pour les jardiniers des jardins potagers « 2 » au lieu-dit « Fleury » et « 12 » au lieu-dit « Moulin Neuf »

Pour le jardin de « Fleury » et pour les trois substances concernées (cuivre, plomb et zinc), les QD (respectivement de $2{,}1.10^{-5}$, $1{,}7.10^{-2}$ et $3{,}6.10^{-5}$) sont inférieurs à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 0,2). L'ERI du plomb de $6{,}9.10^{-8}$ est également inférieur à la borne basse des intervalles de gestion (borne de 10^{-6}).

Pour le jardin du « Moulin Neuf » et pour la seule substance concernée (zinc), le QD ($2{,}9.10^{-5}$) est également inférieur à la borne basse des intervalles de gestion 0,2.

Pour ces deux scénarios, le milieu est donc compatible avec les usages constatés.

Cas de la fréquentation de la zone du prélèvement AUZ-S50

La zone du point de prélèvement AUZ-S50 est constituée d'une plate-forme localisée en bordure du Miodet et en aval immédiat des dépôts de la Molette. Cette zone, accessible par le chemin de la Croix de Verre, pourrait éventuellement constituer un lieu de pêche. Rappelons que cette dernière est ici autorisée en tant qu'activité de loisir mais la consommation des poissons pêchés reste interdite. Ainsi, la fréquentation de cette plateforme par un pêcheur éventuellement accompagné par un enfant n'a pas été prise en compte dans les scénarios de base car son existence reste malgré tout incertaine, notamment à cause de la faible profondeur du ruisseau dans la zone considérée et donc peu propice à la pêche. Ce scénario est cependant traité dans l'étape d'évaluation des incertitudes au regard des concentrations élevées en plomb et en arsenic dans le sol de surface, respectivement de 5 700 mg/kg MS et de 710 mg/kg MS.

Ainsi, un scénario basé sur une éventuelle fréquentation de cette zone par un enfant, et sur la voie ingestion de sol a ici été testé dans le cadre de l'évaluation des incertitudes. Une fréquence d'exposition de plus de 8 jours par an a été considérée avec les autres paramètres d'exposition identiques à ceux du tableau 27. La mise en œuvre nécessaire d'une démarche tenant compte de l'ensemble des substances et de la sommation des risques tant pour les effets à seuil que sans seuil aboutit à un QD de 1,05 (0,9 pour le plomb et 0,15 pour l'arsenic) qui dépasse légèrement la valeur repère de 1. L'ERI global ($4{,}5.10^{-6}$), reste pour sa part inférieur à la valeur repère de 10^{-5}. Compte tenu de sa faible probabilité d'occurrence, nous rappelons toutefois que nous avons choisi de restreindre ce scénario à l'évaluation des incertitudes et qu'il n'a volontairement pas été intégré dans les scénarios de base.

Inhalation de poussières

La voie d'exposition par inhalation de poussières n'a pas été retenue en cohérence avec les données disponibles actuellement.

b) Paramètres d'exposition

Parmi les paramètres d'exposition retenus pour calculer les risques sanitaires liés à l'ingestion de sols, les quantités de matière ingérées ont été choisies dans le cadre d'une démarche raisonnablement conservatoire.

Toutefois, par rapport aux scénarios de type ingestion de sol, des incertitudes persistent principalement sur le nombre de jours de fréquentation des enfants et des adultes au niveau des sites considérés. Dans le cas présent, il est malgré tout important de signaler que la prise en compte d'une fréquentation plus faible ou légèrement plus élevées que les 30 jours retenus ne conduira pas à une modification significative des niveaux de risques présentés dans les tableaux 30 et 31. Ainsi, le quotient de danger associé au plomb resterait soit inférieur ou supérieur à la borne basse ou haute des intervalles de gestion de l'IEM

(respectivement de 0,2 et 5), soit inférieur ou supérieur à la valeur de 1 lors de la mise en œuvre de l'EQRS approfondie (calcul de risque global prenant en compte l'ensemble des substances). Une comparaison avec les intervalles de gestion associés à l'ERI montre qu'il en est de même si l'on considère l'ERI associé à l'arsenic ou au plomb.

De même sont à rappeler les incertitudes en termes de quantités ingérées de végétaux autoproduits, et de sols par les adultes lors des activités de jardinage dans les parcelles de culture.

En ce qui concerne la voie ingestion de végétaux autoproduits, il est également important de rappeler qu'une exposition basée sur la totalité de la durée de vie a été retenue, hypothèse conservatoire pour le calcul des ERI.

c) Bioaccessibilité

La voie d'exposition liée à l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits est conditionnée par deux paramètres sensibles qui sont :

- la quantité de terre ingérée et de végétaux autoproduits ingérés
- la biodisponibilité pour l'homme du composé chimique présent dans la matrice sol et végétaux. Ce dernier paramètre, qui caractérise la fraction absorbée d'un polluant, peut être approché notamment par la bioaccessibilité (« fraction d'une substance libérée dans les sucs gastro-intestinaux et donc disponible pour absorption »). Les calculs de risques effectués dans la présente étude ont considéré, selon une approche majorante, que la biodisponibilité d'un élément est totale.

Ainsi, l'absence de prise en compte de la détermination des fractions bioaccessibles et/ou biodisponibles, permettant notamment de proposer une estimation plus appropriée de l'exposition des populations liée à l'ingestion de sols et de végétaux, constitue une incertitude dans le calcul de risque.

Dans le cadre de la présente étude, quelques prélèvements de solides effectués au niveau de l'horizon de surface et quelques prélèvements de végétaux complémentaires ont été réalisés au droit de certaines zones afin de déterminer, dans les laboratoires de l'INERIS, la concentration totale et la bioaccessibilité selon le protocole *in-vitro* « UBM (Unified Barge Method) procedure for the measurement of inorganic contaminant bioaccessibility from solid matrices ».

Le mode opératoire est repris dans le tableau 35.

Traitement / analyse	Référentiel : mode opératoire, norme / version
Lavage et épluchage (selon consignes) pour les végétaux	-
Séchage à 40°C	-
Tamisage à 2 mm et quartage pour les sols	-
Broyage et tamisage 200 µm	-
Minéralisation µonde fermé	NF EN 13346
Analyse (total) ICP-OES	MO-672
Analyse (total) ICP-MS	-

Tableau 35 : Mode opératoire des analyses en concentration totale et bioaccessibilité relative

Le tableau 36 reprend les résultats de mesure de la bioacessibilité relative. Les incertitudes associées sont de 25 %.

Dans le cas du scénario « Zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le sommet du tas (AUZ-S-04-0-3) » et au regard de la valeur de bioaccessibilité stomacale relative mesurée pour l'arsenic (26 %), l'exposition associée à l'ingestion de sol est réduite d'un facteur 5 [18]. Les risques associés en sont donc d'autant réduits. La prise en compte de la bioaccessibilité, conduit à un ERI inférieur à 10^{-5}. Pour le plomb, les fortes teneurs, le QD élevé (de l'ordre de 10) et les valeurs de bioaccessibilité stomacale relative de l'ordre 71% (AUZ-S-04-0-3) ou 14 % (AUZ-SOL04-Bis) font que les conclusions en termes de risque et de compatibilité du milieu sol avec les usages restent inchangées. Toutefois, compte tenu du choix de la VTR de l'ANSES dans la présente étude et qui ne permet pas d'utiliser la formulation de l'annexe 7 pour un ajustement de la dose d'exposition et donc du risque associé, un nouveau calcul de risque n'a pu être réalisé.

[18] Cf. le tableau 36 des mesures de bioaccessibilité et tenant compte dans le cadre d'une approche conservatoire, du choix du taux le plus élevé entre la bioaccessibilité stomacale et intestinale.

Substance		Sol				Végétaux		
	Référence GEODERIS	**AUZ-S-04-03**	**AUS-S-102-0-30**	**AUZ-S-04-BIS**	**AUZ-S-48-0-3**	**AUZ-VEG-102-CAR**	**AUZ-VEG-102-BE**	**AUZ-VEG-102-POIR-F**
	Référence INERIS	**12AW671**	**12AW672**	**12AW673**	**12AW674**	**12AL178**	**12AL180**	**121L182**
		Concentration (mg/kg, sur sec)						
As	Conc. totale	937	1019	665	476	0,9	2,0	3,7
	Conc. stomac. **Bioacces. stomac. (%)**	248 **26%**	245 **24%**	87 **13%**	18 **4%**	0,6 **67%**	1,6 **80%**	0,3 **8%**
	Conc. intest. **Bioacces. intest. (%)**	141 **15%**	215 **21%**	64 **10%**	18 **4%**	0,3 **33%**	0,8 **40%**	0,2 **5%**
Cd	Conc. totale	8,3	0,8	253	0,3	1,0	2,4	1,3
	Conc. stomac. **Bioacces. stomac. (%)**	14 **169%***	0,9 **113%***	169 **67%**	0,1 **33%**	< 0,1 **<10%**	1,2 **50%**	< 0,1 **<10%**
	Conc. intest. **Bioacces. intest. (%)**	2,4 **29%**	0,2 **25%**	14 **6%**	0,1 **33%**	**<10%**	1,0 **42%**	< 0,1 **<10%**
Pb	Conc. totale	31 941	298	67 824	15 977	1,0	12,5	0,8
	Conc. stomac. **Bioacces. stomac. (%)**	22702 **71%**	191 **64%**	9704 **14%**	6211 **39%**	1,8 * **>100%**	1,4 **11%**	0,6 **75%**
	Conc. intest. **Bioacces. intest. (%)**	3269 **10%**	18 **6%**	356 **< 1%**	787 **5%**	1,5 * **>100%**	0,9 **7%**	0,3 **38%**
Zn	Conc. totale	1 855	315	6 088	268	34,9	225	59,6
	Conc. stomac. **Bioacces. stomac. (%)**	1 549 **84%**	35 **11%**	1 888 **31%**	19 **7%**	32,9 **94%**	45,7 **20%**	46,0 **77%**
	Conc. intest. **Bioacces. intest. (%)**	461 **25%**	5,1 **2%**	524 **9%**	6,7 **3%**	38,6 * **111%**	165 **73%**	46,1 **77%**
Sb	Conc. totale	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Conc. stomac. **Bioacces. stomac. (%)**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Conc. intest. **Bioacces. intest. (%)**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Légende
Conc. : concentration
Bioacces. : bioaccessibilité
Stomac = phase stomacale ; Intest = phase intestinale
ND = bioaccessibilité non déterminée lorsque le résultat est compris entre 1 x LQ et 10 x LQ
(*) résultat > 100 % lié aux incertitudes d'analyses des différentes extractions

Tableau 36 : Résultats des mesures de bioaccessibilité

d) Incertitudes sur la caractérisation du risque

Les incertitudes inhérentes à la caractérisation du risque sont directement fonction des incertitudes précisées dans les sections précédentes.

Les sections présentées ci-dessus soulignent le fait qu'un certain nombre d'incertitudes entoure l'IEM et l'évaluation des risques. Bien que les résultats soient exprimés par des expressions numériques exactes, la quantification de ces dernières n'est pas toujours réalisable.

Aussi, il convient de rappeler que, pour les paramètres relatifs aux différents scénarios étudiés, de nombreux choix de valeurs conservatoires ont été pris en l'absence d'informations plus précises, constituant ainsi une approche conservatoire du risque.

9 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

9.1 Conclusions sur l'Interprétation de l'Etat des Milieux – IEM

9.1.1 Aspect environnemental

D'un point de vue environnemental, les caractérisations effectuées au niveau des différents compartiments du milieu naturel montrent clairement que l'ancienne activité minière du site de la Molette génère un impact sur les eaux, les sols, ainsi que les sédiments situés en aval du site minier.

Sur les eaux superficielles, cet impact se traduit notamment par une augmentation des teneurs en plomb et en zinc en aval des résidus miniers de la Molette. Cette augmentation entraîne une dégradation de la qualité chimique du cours d'eau par rapport à celle de l'environnement local témoin avec des teneurs en plomb et en zinc qui dépassent ponctuellement la norme de qualité environnementale définie dans le cadre de la Directive Cadre Eau (DCE ; tableau 20). En aval des dépôts de la Molette l'état du Miodet est donc incompatible avec les normes de qualité des cours d'eau.

Pour les sols et les sédiments, l'impact des résidus miniers de la Molette se traduit principalement par une nette augmentation des teneurs en plomb (et dans une moindre mesure en zinc) en aval ou à l'aplomb de la zone de dépôt. Les concentrations en plomb peuvent alors atteindre des valeurs très supérieures à la borne haute de la gamme de teneurs définie pour l'environnement local témoin. L'impact des résidus miniers de la Molette se fait clairement ressentir à plusieurs kilomètres du dépôt de résidus, jusqu'à la retenue du Miodet.

Par ailleurs, la zone de dépôt de la Molette constitue un site sensible, ce dernier ayant été identifié comme site d'intérêt européen. Les résidus miniers, de par leurs fortes teneurs en métaux lourds et métalloïdes, constituent en effet une source potentielle de pollution importante vis-à-vis de la végétation et des eaux.

9.1.2 Aspect sanitaire

Il est important de rappeler à ce niveau que les conclusions exposées dans ce paragraphe portent uniquement sur l'impact lié à l'ancienne activité minière.

Nota : l'interprétation en termes de risques sanitaires des fortes teneurs en métaux et métalloïdes enregistrées sur certaines eaux et sur certains sols de potagers supposés non impactés par la mine et imputables au contexte naturel d'anomalie géochimique du secteur ne sont pas traités ni commentés dans ce document. Pour les eaux, cette interprétation fait l'objet d'une note spécifique éditée parallèlement à ce rapport et qui a été transmise aux autorités compétentes (GEODERIS, 2014). Pour les potagers concernés (jardins « 100 » et « 102 »), elle est traitée dans le rapport INERIS relatif à cette étude (INERIS, 2013).

D'un point de vue sanitaire, les résultats de qualité des eaux et des végétaux potagers ont été comparés à des valeurs réglementaires de gestion, notamment les critères de qualité pour les substances chimiques dans les eaux destinées à la consommation humaine pour les substances étudiées (extrait de Annexe I de l'arrêté du 11-01-2007), ainsi que le règlement portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires (CE 1881/2006).

Cette comparaison montre principalement que l'impact des résidus miniers de la Molette sur le cours d'eau du Miodet se traduit notamment par un dépassement des teneurs en plomb par rapport à la limite de qualité définie pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Les résultats de caractérisation des milieux, et plus particulièrement ceux relatifs aux horizons de surface indiquant des concentrations supérieures à celles de l'environnement local témoin, ont servis de base pour la réalisation de calculs de risques sanitaires afin de statuer sur la compatibilité des milieux avec les usages. La même approche a également été suivie au niveau de certains végétaux potagers cultivés sur des jardins potentiellement impactés par l'ancienne activité minière du site de la Molette. Des calculs d'évaluations quantitatives des risques sanitaires relatifs à l'ingestion de terre ainsi que l'ingestion de végétaux autoproduits ont ainsi été réalisés. Ces calculs ont été menés en cohérence avec les expositions sur les zones étudiées.

Les choix des valeurs des paramètres d'exposition ont été réalisés de façon raisonnablement conservatoire au regard de certaines incertitudes notamment en termes de fréquentation des lieux, de quantités ingérées et d'absence de connaissance précise ou de données de la littérature pour une situation similaire.

La comparaison des résultats de ces calculs avec les intervalles de gestion montre que l'état des milieux est soit compatible avec les usages constatés (tableau 32 : scénarios n° 4, 6, 7), soit non compatible (tableau 32 : scénarios n° 1 à 3), ou encore que les résultats sont compris dans la zone d'interprétation (tableau 32 : scénario 5). Nous rappelons que dans ce dernier cas, une réflexion plus approfondie de la situation est nécessaire avant de statuer sur la non compatibilité de l'état des milieux par rapport aux usages. Dans le cadre de cette réflexion approfondie, un calcul de risque global pour l'ensemble des substances a été réalisé pour certains scénarios, avec comme critères d'acceptabilité ceux rappelés précédemment, qui sont respectivement pour les effets à seuil, la valeur de 1 et pour les effets sans seuil, celle de 10^{-5}. Pour les effets à seuil, les calculs ont été réalisés avec une démarche conservatoire. L'additivité des risques est prise en compte systématiquement via la sommation des QD de toutes les substances étudiées. Pour les effets sans seuil, les calculs ont été réalisés en sommant les ERI de toutes les substances étudiées.

Pour les différents scénarios d'exposition retenus, les résultats des calculs de risques sont synthétisés dans le tableau 32.

9.2 Recommandations

9.2.1 Maîtrise de la source principale de pollution

La problématique majeure reste ici axée sur la nécessité de maîtriser la principale source de pollution constituée par la zone de dépôt de résidus miniers de la Molette. **Il s'agit notamment de limiter les départs de ces résidus vers le ruisseau du Miodet et de limiter au maximum les ravinements des dépôts par les eaux météoriques ainsi que l'infiltration de ces dernières au sein des résidus.** La mise en œuvre d'un plan de gestion destiné à maîtriser cette source de pollution doit permettre, à terme, d'améliorer progressivement la qualité des eaux de surface et des sédiments du Miodet notamment par une décroissance des teneurs en plomb en aval de la zone de dépôt de la Molette. Elle doit également permettre d'éliminer les apports de résidus miniers au niveau de la retenue du Miodet, même si elle ne résoudra en rien les apports naturels de sables, issus de l'altération naturelle des roches. A noter que la mise en œuvre de ce plan de gestion en ce sens devra être effectuée en cohérence avec la finalité de gestion du document d'objectifs du site NATURA 2000 « Auzelles » (DOCOB).

Dans le cadre de ce plan de gestion nous proposons, en premier lieu :

- d'attendre une période de très forte pluviométrie et de vérifier, à l'issue de cet événement qu'aucun exécutoire minier autre que celui du niveau 3 de la mine d'Auzelles n'apparaît au niveau de la zone de dépôt, du fait de la remontée des eaux dans les travaux miniers souterrains (par exemple exutoire possible au niveau 2 de la mine cf. figure 11). Ce type d'investigation n'a en effet pu être réalisé dans le cadre de la présente étude. L'apparition de nouvelles résurgences minières en périodes de forte pluviométrie pourrait constituer un facteur déterminant pour la conception d'un réaménagement de la zone de dépôt de la Molette et notamment du point de vue de la stabilité du nouveau dépôt et du drainage des eaux.
- de mener des investigations complémentaires sur la zone de la Molette pour affiner la caractérisation de l'extension verticale et horizontale de la pollution des sols déjà mise en évidence au droit de certains secteurs.
- de vérifier, sur un cycle hydrologique complet que l'impact potentiel de la résurgence minière de la Molette et de l'affluent du Miodet qui draine un écoulement d'eau attribuable aux travaux miniers de la Fouille reste faible au niveau des eaux du Miodet tout au long de ce cycle. Pour ce faire nous proposons une surveillance s'étalant a minima sur une période d'une année. Outre les principaux métaux lourds et métalloïdes, on suivra plus particulièrement le manganèse qui s'est avéré comme un bon traceur de l'eau issue des travaux miniers (cf. 7.1.4). Afin de pouvoir évaluer des flux, le débit du Miodet sera systématiquement évalué à chaque campagne de prélèvements ainsi que celui de la résurgence et de l'affluent. Si un impact fort venait à être décelé durant ce suivi, il conviendrait d'évaluer la possibilité d'un traitement des eaux (par exemple traitement passif) au niveau du plan de gestion de la zone de la Molette.

Dans un deuxième temps et eu égard aux résultats des investigations précédentes, des solutions de réaménagement de la zone de la Molette peuvent être proposées dans le cadre du plan de gestion du site.

Deux solutions pourraient être envisagées en première approche.

La première consiste à canaliser en souterrain le Miodet à l'aplomb de la zone de dépôt.

La seconde consiste à effectuer un réaménagement complet de la zone de dépôt de la Molette de manière à éliminer toute décharge de résidus miniers au sein du Miodet. Il s'agit notamment d'assurer la stabilité du tas de résidus ainsi que le drainage des eaux superficielles et de limiter au maximum les phénomènes d'infiltration des eaux de pluies au sein du dépôt.

La première solution présente l'inconvénient majeur de perturber la continuité écologique du cours d'eau sur toute la longueur canalisée (dans le cas présent, 300 à 400 m). Elle présente aussi l'inconvénient d'être associée obligatoirement à une surveillance et à un entretien régulier de manière à prévenir tout phénomène de colmatage de la conduite, même partiel, qui pourrait s'avérer catastrophique lors des périodes de crue.

Nous préconisons donc plutôt la seconde solution qui repose sur un réaménagement complet de la zone de dépôt de la Molette. Comme nous l'avons déjà signalé, il faudra que la mise en œuvre de ce dernier puisse être effectuée en cohérence avec les objectifs environnementaux exprimés dans le cadre du DOCOB.

Ce réaménagement consisterait d'abord à regrouper au maximum l'ensemble des dépôts répartis sur la zone de la Molette. Il est important de signaler à ce niveau que la capacité de stockage de cette dernière reste relativement peu importante compte tenu de sa faible superficie, de son contexte géographique encaissé et du volume de résidus miniers qui y est déjà stocké. Elle nous paraît donc, a priori, inadaptée pour accueillir un volume supplémentaire de sédiments et/ou de résidus tel que par exemple celui issu d'un éventuel curage de la retenue du Miodet. Sachant par ailleurs que ce type de matériaux peut s'avérer fortement chargé en éléments potentiellement polluants et qui plus est, non présents en fortes teneurs au niveau des résidus miniers actuellement stockés sur la zone de la Molette (exemple du chrome).

Pour assurer la stabilité du nouveau dépôt issu du regroupement des résidus existants, pour gérer le drainage des eaux superficielles et pour limiter l'infiltration des eaux de pluie au sein du dépôt, nous préconisons la construction de banquettes à pente inverse avec enrochement. Des enrochements latéraux permettraient par ailleurs de contenir l'étalement des résidus de chaque côté du dépôt. La création de drains au niveau de ces enrochements permettrait aussi de gérer l'écoulement des eaux superficielles avec notamment la récupération des eaux drainées par les banquettes et le rejet au niveau du Miodet. Un drain réalisé au sommet de la zone de dépôt, parallèlement à la route et connecté aux deux drains latéraux permettrait par ailleurs un drainage amont des eaux superficielles par rapport à l'ensemble du dépôt. Pour la connexion avec le Miodet du drain latéral situé le plus à l'ouest de la zone de dépôt, nous proposons de réutiliser le tracé déjà existant d'une zone d'écoulement préférentiel des eaux superficielles, reliant la base des dépôts actuels au ruisseau du Miodet. La construction d'un bassin de décantation entre la base du dépôt et le Miodet permettrait d'assurer le piégeage des matériaux fins éventuellement arrachés au dépôt lors de l'écoulement des eaux superficielles, évitant ainsi leurs rejets dans le Miodet. L'élaboration d'un tel bassin présente toutefois la contrainte d'une surveillance et d'un entretien régulier.

Une végétalisation du dépôt pourrait aussi être envisagée afin de diminuer l'impact paysager du tas de résidus miniers et de limiter le ravinement ainsi que les infiltrations au sein du dépôt. La nécessité et la pertinence d'une revégétalisation du dépôt devra être discutée au regard des contraintes environnementales en vigueur.

Enfin, nous préconisons la construction d'un mur de soutènement situé en base du dépôt, le long du Miodet. Ce mur permettrait de contenir les résidus et empêcher leur décharge dans le cours d'eau. Dans la mesure du possible, un espace de quelques mètres sera conservé entre ce mur et le Miodet, de manière à garder la possibilité d'un passage le long du cours d'eau. Dans le cas où aucun traitement n'est à envisager au niveau de la résurgence minière de la Molette, on prendra soin ici de bien canaliser cette dernière au travers du mur par l'installation d'une buse. Cette canalisation devra être régulièrement curée de manière à éviter tout colmatage lié à la précipitation des oxyhydroydes de fer en sortie de la résurgence.

Il est important de préciser ici qu'il ne s'agit que de préconisations préliminaires à un véritable plan de gestion. Dans le cadre de ce dernier, différentes solutions pourront être examinées, dimensionnées et chiffrées. Au cas où un impact fort de la résurgence minière de la Molette serait constaté lors du suivi préliminaire au réaménagement, il conviendra notamment de mener une réflexion approfondie au niveau des possibilités de traitement sur le site des eaux issues de cette résurgence.

9.2.2 Mesures simples de gestion

D'un point de vue sanitaire **où, nous le rappelons, les risques ont été ici uniquement évalués par rapport à l'impact potentiel de l'ancienne activité minière**, les résultats n'appellent pas de mesure d'urgence mais laisse entrevoir, en première approche, quelques recommandations à mettre en place dont certaines à court terme.

9.2.2.1 Mesures concernant les sols

Afin de limiter l'exposition des populations principalement aux concentrations en arsenic et en plomb dans la zone de dépôt de résidus de la Molette, il est préconisé de limiter l'accès à cette zone (mise en place d'une signalisation, extension de la clôture située en bord de route à l'ensemble du pourtour de la zone de dépôt). La signalisation devra par ailleurs rappeler les règles d'hygiène simples, comme par exemple le lavage des mains des enfants après un contact avec le sol.

Dans son rapport, l'INERIS (INERIS, 2013) préconisait de mettre en place une signalisation au niveau de l'aire de repos de St-Dier-d'Auvergne et de vérifier si cette aire ne faisait pas l'objet d'une fréquentation plus importante que celle considérée dans le scénario de base (fréquentation de 30j/an). Après prise d'informations par GEODERIS auprès de la mairie de St-Dier-d'Auvergne, il apparaît que ce temps de fréquentation de 30 jours est déjà sécuritaire puisque que cette aire de repos est seulement utilisée pour le stationnement occasionnel de camping-cars et le déroulement de manifestations qui ont lieu une fois par semaine uniquement durant les mois d'été. Par rapport à l'évaluation du risque sanitaire, aucun approfondissement ni mesures complémentaire n'est donc ici préconisé, dans la mesure où le scénario de base considéré pour cette aire de repos aboutit à une compatibilité du milieu avec les usages constatés (cf. tableau 32).

9.2.2.2 Mesures concernant les eaux des résurgences minières

Afin de limiter l'exposition des populations nous préconisons de mettre en place un panneau signifiant de ne pas utiliser ni boire l'eau issue des travaux miniers au niveau de la résurgence de la Molette. Cette eau contient en effet une part importante d'oxyhydroxydes de fer en suspension, ces derniers présentant des teneurs élevées en arsenic, plomb, zinc et manganèse. Nous proposons la même mesure pour le puits du Fayet (site du Chalus) dont l'eau a également été prélevée dans le cadre de cette étude.

9.2.2.3 Mesures concernant les eaux de surface

Pour les eaux superficielles, nous préconisons principalement de mettre en place une information auprès des communes et propriétaires possédant des terrains situés en bordure du Miodet et en aval des dépôts de la Molette, sur la présence de secteurs ponctuellement contaminés en métaux (notamment en plomb) au niveau des zones de berges (zones ayant pu être impactées par des décharges de résidus miniers issus du site de la Molette lors des épisodes de crues). La présente étude montre en effet que l'impact sur les terrains de berge du Miodet provoqué par les dépôts de résidus miniers issus de la Molette peut être fort et reste perceptible même à une distance de plusieurs kilomètres en aval des dépôts.

Cette information devra préciser que certains usages sont déconseillés sur ces zones telles :

- une fréquentation régulière par des enfants, surtout en tant qu'aire de jeux et/ou de baignade (usage notamment déconseillé au niveau de la zone de berge de l'aire de repos de St-Dier-d'Auvergne).
- une utilisation de ces zones en tant qu'aires de cultures et notamment de potagers.

Pour les propriétaires de prairie/pâturage, nous préconisons une information leur conseillant d'éviter la présence du bétail au niveau de ces zones de berge. A défaut de données précises notamment sur l'éventuelle consommation de viande, la présente étude n'a toutefois pas permis de conclure quant à l'éventuelle compatibilité des sols situés en bordure de Miodet et des eaux vis-à-vis des fonctions de prairie/pâturage et d'abreuvage. La prise en compte de la consommation avérée de la viande complétée du contrôle de la qualité de cette viande par rapport aux teneurs en plomb et en arsenic permettraient d'affiner les données déjà acquises dans le cadre de cette étude. Il est par contre nécessaire de bien cerner le limites de ce type de mesures du fait des problèmes de représentativité (cheptel susceptible de fréquenter de nombreuses zones de pâtures; destination de la viande en terme de consommation).

Le tableau 37 reprend une synthèse des recommandations détaillées dans les paragraphes suivants.

Zone et commune	Recommandations à mettre en place de manière rapide	Recommandations à statuer en fonction de certains approfondissements ou études complémentaires
Milieu SOL		
Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette sur le sommet du tas et exposition par ingestion de sol Commune d'Auzelles	Mise en place de mesures destinées à limiter l'accès à la zone de la Molette (mise en place d'une signalisation, extension de la clôture située en bord de route à l'ensemble du pourtour de la zone de dépôt). La signalisation devra rappeler les règles d'hygiène simples, comme par exemple le lavage des mains des enfants après un contact prolongé avec le sol.	**Nécessité de mettre en œuvre un plan de gestion au niveau du dépôt de la Molette :** Réflexions approfondies permettant le dimensionnement de ce plan de gestion dont l'objectif premier est de stopper les départs de résidus miniers au sein du ruisseau du Miodet et de limiter au maximum les ravinements du dépôt par les eaux météoriques ainsi que l'infiltration de ces dernières au sein des résidus (remodelage du dépôt actuel avec gestion des eaux de ruissellement). La mise en œuvre de ces réflexions devra être précédée de quelques vérifications ou compléments d'investigations (vérification de l'absence d'exécutoires miniers autres que celui du niveau 3 en période de hautes eaux, investigations complémentaires sur la zone de la Molette destinée à affiner la caractérisation de l'extension verticale et horizontale de la pollution des sols, suivi sur un cycle hydrologique complet de l'impact potentiel généré sur les eaux du Miodet par la résurgence minière de la Molette et l'affluent du Miodet qui draine un écoulement d'eau attribuable aux travaux miniers de la Fouille)
Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas, zone ouest et exposition par ingestion de sol Commune d'Auzelles		
Fréquentation de la zone de dépôt de résidus de la Molette, sur le replat en contrebas au nord, zones des bassins et exposition par ingestion de sol Commune d'Auzelles		
Fréquentation de l'aire de repos et pique- nique à l'entrée sud est de Saint-Dier d'Auvergne Commune de St-Dier-d'Auvergne	Voir recommandations : milieu EAUX DE SURFACE ; ZONES DE BERGES DU MIODET	Aucun approfondissement ni étude complémentaire n'est ici préconisé dans la mesure où le scénario de base considéré pour cette aire de repos aboutit à une compatibilité du milieu avec les usages constatés (cf. tableau 5)**
Milieu EAUX SOUTERRAINES[19] : EAUX ISSUES DES TRAVAUX MINIERS		
Résurgence minière de la Molette et puits du Fayet Commune d'Auzelles	Mise en place d'un panneau interdisant l'utilisation et la consommation de l'eau issue de la résurgence minière de la Molette et du puits du Fayet (site du Chalus)	Si impact de la résurgence minière de la Molette constatée sur le Miodet lors du suivi analytique préalable au réaménagement de la zone de dépôt, alors mise en œuvre de réflexions approfondies permettant d'envisager des solutions techniques de traitement de l'eau issue de cette résurgence (par exemple traitement passif). Réflexions à intégrer au plan de gestion relatif à la zone de dépôt de la Molette
Milieu EAUX DE SURFACE ; ZONES DE BERGES DU MIODET		
Eaux de surface, zones de berges du Miodet,situées en aval de la zone de dépôt de la Molette, jusqu'à la retenue du Miodet Communes d'Auzelles, de Brousse, de St-Jean-des-Ollières, d'Estandeuil, de St-Dier-d'Auvergne, de St-Flour et de Domaize	Information auprès des communes et propriétaires possédant des terrains situés en bordure du Miodet et en aval des dépôts de la Molette, sur la présence de secteurs ponctuellement contaminés en métaux (notamment en plomb) au niveau des zones de berges (zones ayant pu être impactées par des décharges de résidus miniers issus du site de la Molette lors des épisodes de crues). Cette information devra préciser que certains usages sont déconseillés sur ces zones telles : • qu'une fréquentation régulière par des enfants surtout en tant qu'aire de jeux et/ou de baignade (usage notamment déconseillé au niveau de la zone de berge de l'aire de repos de St-Dier-d'Auvergne). • qu'une utilisation de ces zones en tant qu'aires de cultures et notamment de potagers.	Pour la problématique des prairies/pâturages/abreuvage , la vérification de la quantité de viande réellement consommée, complétée du contrôle de la qualité de cette viande par rapport aux teneurs en plomb et en arsenic permettraient d'affiner les données déjà acquises. Il est par contre nécessaire de bien cerner le limites de ce type de mesures du fait des problèmes de représentativité (cheptel susceptible de fréquenter de nombreuses zones de pâtures; destination de la viande en terme de consommation).

[19] *l'ingestion d'eau au niveau de certaines sources naturelles et fontaines situées hors influence minière mais présentant des teneurs élevées en arsenic n'est pas intégrée à ce tableau. L'existence de ces points d'eau à forte teneur en arsenic a été signalée aux autorités compétentes par une note spécifique éditée parallèlement à cette synthèse (GEODERIS, 2014)*

	• qu'une utilisation des eaux du Miodet pour l'arrosage des potagers Pour les propriétaires de prairie/pâturage, information leur conseillant d'éviter la présence du bétail au niveau de ces zones de berge.	

** *: dans son rapport, l'INERIS (INERIS, 2013) préconisait de mettre en place une signalisation au niveau de l'aire de repos de St-Dier-d'Auvergne et de vérifier si cette aire ne faisait pas l'objet d'une fréquentation plus importante que celle considérée dans le scénario de base (fréquentation de 30j/an). Après prise d'informations par GEODERIS auprès de la mairie de St-Dier-d'Auvergne, il apparaît que ce temps de fréquentation de 30 jours est déjà sécuritaire puisque cette aire de repos est seulement utilisée pour le stationnement occasionnel de camping-cars et le déroulement de manifestations qui ont lieu une fois par semaine uniquement durant les mois d'été.*

Tableau 37 : Synthèse des recommandations

10 REFERENCES

- **ADEME, IRSN (2004)** - CIBLEX : Base de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué. CD-Rom coédité ADEME / IRSN, référence 4773.
- **ADEME et al. (2007-a)** - Guide d'échantillonnage de plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux.
- **ADEME-INERIS-IRSN, en collaboration avec la Cellule interrégionale d'épidémiologie d'Ile de France (2008)** – Guide pour l'implication des populations dans l'évaluation et la gestion d'un site et sol pollué.
- **AFSSA (2003)** - Avis de l'AFSSA relatif à une demande d'avis sur l'évaluation des risques présentés par le benzo[a]pyrène et par d'autres hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), présents dans diverses denrées ou dans certaines huiles végétales, ainsi que sur les niveaux de concentration en HAP dans les denrées au-delà desquels des problèmes de santé risquent de se poser. Saisine n°2000-SA-0005, avis du 29 juillet 2003, 59 pages avec annexes.
- **Ahsan H., Chen Y., Parvez F., Zablotska L., Argos M., Hussain I., Momotaj H., Levy D., Cheng Z., Slavkovich V., van Geen A., Howe G.R. and Graziano J.H. (2006)** - Arsenic exposure from drinking water and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh: baseline results from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study. Am J Epidemiol, 163, 12, 1138-1148.
- « Analyse de la chair des poissons du Miodet à l'aval des terrils. Résultat des prélèvements réalisés le 19 octobre 2009 ». Direction départementale de l'agriculture et de la forêt du Puy-de-Dôme. Mission Inter Service de l'eau. 2 décembre 2009 ;
- **ANSES (2013)** - Expositions au plomb : effets sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100 µg/L. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Janvier 2013
- **ATSDR** - http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp
- « Auzelles. Site Natura 2000 FR 8301044. Documents d'objectifs ». Document validé par le COPIL le 23 novembre 2011. Parc naturel régional Livradois-Forez, 2011 ;
- **Bertin C., Barbier J. et Rouzaire D. (2006)** - Cartographie de l'aléa arsenic dans les eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable de la région Auvergne. Rapport BRGM/RP-53427-FR.
- **Bertrand M. (1993)** - Consommation et lieux d'achat des produits alimentaires en 1991. Collection INSEE Résultats, Paris 1993
- **Binder, S., Sokal, D., Maughan, D. (1986)** - Estimating soil ingestion: the use of tracer elements in estimating the amount of soil ingested by young children. Arch. Environ. Health, 41, 341-345.
- **BRGM** - Recommandations à suivre en cas de vidange de la retenue du Miodet
- **BRGM (2012)** - Campagne d'analyses de sol à l'aide du spectromètre de fluorescence X portable NITON® XLt 999 KWY sur l'ancienne concession minière d'Auzelles située dans le département du Puy de Dôme. 005-2013-PA-LAB/EXP.
- **Calabrese EJ, Barnes RM, Stanek EJ, Pastides H, Gilbert CE, Veneman P, Wang X, Lasztity A, Kostecki PT. (1989)** - How much soil do children ingest: an epidemiologic study. Regul Toxicol Pharmacol. 10 123-37.

- **Calabrese EJ, Stanek EJ, Gilbert CE, Barnes RM. (1990)** - Preliminary adult soil ingestion estimates : results of a pilot study. Regul Toxicol Pharmacol. 12 88-95.
- **Calabrese EJ, Stanek EJ. (1991)** - A guide to interpreting soil ingestion studies. II. Qualitative and quantitative evidence of soil ingestion. Regul Toxicol Pharmacol. 13 278-92.
- **Calabrese E., Stanek K. (1995)** - Resolving intertracer inconsistencies in soil ingestion estimates, Environmental health perspectives, Vol. 103, n°5
- **Calabrese, E.J., Stanek, E.J., III, Pekow, P., Barnes, R.M. (1997)** - Soil ingestion estimates for children residing on a superfund site. Ecotoxicol. Environ Saf, 36, 258-268.
- **Calabrese, E.J. and Stanek, E.J. (1998)** - Soil ingestion estimation in children and adults: a dominant influence in site-specific risk assessment. ELR, New & Analysis, 28, 10660-10667.
- **Calabrese EJ, Barnes RM, Stanek EJ, Pastides H, Gilbert CE, Veneman P, Wang X, Lasztity A, Kostecki PT. (1989)** - How much soil do children ingest: an epidemiologic study. *Regul. Toxicol. Pharmacol.,* 10, 123-37.
- **Calabrese E.J., Stanek E.J., Gilbert C.E., Barnes R.M. (1990)** - Preliminary adult soil ingestion estimates: results of a pilot study. Regul Toxicol Pharmacol, 12, 88-95.
- **Calabrese EJ, Stanek EJ. (1991)** - A guide to interpreting soil ingestion studies. II. Qualitative and quantitative evidence of soil ingestion. *Regul Toxicol Pharmacol,* 13, 278-92.
- **Clausing P., Brunekreef B., Van Wijnen J.H. (1987)** - A method for estimating soil ingestion by children. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 59, 73-82.
- **Carroue J.P. (1959)** - Anciens travaux de recherches et d'exploitation sur l'axe plombifère La Brugère-Auzelles-Montnebout (Puy de Dome). Rapport BRGM R4021.
- **DGS (2006)** - Circulaire du Ministère de la Santé et des Solidarités relative à « Modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact », référencée DGS/SD7B/2006/234 et datée du 30 mai 2006.
- **Doornaert B. et Pichard A. (2006)** - Valeurs toxicologiques de référence : comment choisir ? Environnement Risque et Santé, 5, n°3 mai-juin.
- **Dor F., Denys S., Daniau C., Bellenfant G., Zeghnoun K., Dabin C., Nedellec V., Mosqueron L., Floch-Barneaud A., Mathieu A. (2009)** - Exposition des enfants par ingestion de sol et de poussières contaminés : quels choix pour les évaluations de risque ? Deuxième rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués du 20 et 21 octobre 2009, Paris.
- **EDF** : étude des sédiments du barrage du Miodet ».
- **GEODERIS (2010)** - Inventaire des Résidus Miniers à impact sanitaire potentiel. Application à la région Auvergne. GEODERIS S 2010/47DE - 10AUV2120.
- **GEODERIS (2012)** – Compte rendu de la réunion de lancement de l'étude IEM sur l'ancien site minier d'Auzelles. GEODERIS S2012/71DE-12AUV2410.
- **GEODERIS (2013)** - Inventaire des dépôts issus des exploitations minières selon l'article 20 de la Directive 2006/21/CE. Monographie sur la région Auvergne. Volet « métallique ». RAPPORT N2012/043DE – 12NAT2121.

- **GEODERIS (2014)** - Note sur l'existence d'eaux souterraines non potables dans les secteurs d'Auzelles (concessions d'Auzelles) et de Massiac (concession de la Licoulne et Bessade) et potentiellement utilisées pour la consommation humaine. GEODERIS S 2014/0001DE 13AUV2410.
- **Glorennec P. (2005)** - Explicitation et réduction de l'incertitude liée à l'ingestion de sol en évaluation des expositions environnementales. Environnement, Risques & Santé, Vol. 4, n°4, juillet-août 2005
- **Glorennec P. (2006)** - Aide à la décision d'un dépistage systématique du saturnisme infantile autour des sites industriels en France, Mémoire de thèse, Université de Rennes, Faculté de médecine, 2006
- **Granier C. (1960)** - résultats de prospection stratégique du plomb et du zinc dans le secteur d'Auzelles et proposition de travaux d'échantillonnages complémentaires. Rapport BRGM A1683
- **Granier C. et Lafoy G. (1961)** - Résultats des premières vérifications des anomalies retenues au cours de la prospection stratégique Auzelles (Puy de Dôme). Rapport BRGM A1812
- **Hawley JK. (1997)** - Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. Risk Analysis. 5(4) 289-302.
- **HSDB** (Hazardous substances Data Banck)
- **INERIS (2013)** -Evaluation de l'impact environnemental et sanitaire lié aux dépôts miniers de la zone de la Molette (ancien site minier d'Auzelles, Auvergne) – Volet sanitaire basé sur l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM). DRC-12-132180-13822B.
- **INERIS** - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. http://ineris.fr
- **INERIS** - http://www.ineris.fr/substances/fr/
- **INERIS (2005)** - Pratique INERIS de choix des valeurs toxicologiques de référence dans les évaluations de risques sanitaires. Le 21 mars 2006. Référence : INERIS-DRC-05-41113-ETSC/R01. (www.ineris.fr).
- **InVS et INERIS (2012)** - Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. Etat des connaissances et propositions. Guide pratique 2012.
- **Laurent et al. (2004)** - Etat de l'art sur les transferts de polluants organiques et métalliques du sol vers l'animal. Rapport INPL Nacy, ENSAIA, INRA et Université Henri Pointcarré de Nancy.
- **Massie H.R. and Aiello V.R. (1984)** - Excessive intake of copper: influence on longevity and cadmium accumulation in mice. Mech Ageing Dev, 26, 2-3, 195-203.
- **MEDD (2007)** - Sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 08 février 2007. Lettre de la ministre aux préfets et 3 annexes.
- **Norme EN ISO 17402 (2011)** - Qualité du sol. Lignes directrices pour la sélection et l'application des méthodes d'évaluation de la biodisponibilité des contaminants dans le sol et les matériaux du sol. ICS 13.080.01

- **Norme XP ISO/TS 17924 (2008)** - Qualité du sol. Evaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux du sol. Lignes directrices pour l'application et la sélection de méthodes d'extraction fondées sur le point de vue physiologique pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'être humain de métaux dans le sol. ICS 13.080.30
- **OEHHA** - http://www.oehha.ca.gov/
- **OMS** - http://www.inchem.org/
- **OMS (2000)** - Air Quality Guidelines for Europe.World Health Organization. Copenhagen. 2nd Ed.
- **OMS (2008)** - Guidelines for drinking-water quality. Third edition incorporating the first and second addenda. . Geneva. 3rd, vol Volume 1 - recommendations.
- **OMS JEFCA (2010)** - Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Seventy-second meeting, Rome, 16-25 february 2010
- **RIVM** - http://www.rivm.nl/
- **RIVM (2001)** - Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. Report 711701025.
- **RIVM (2009)** - Re-evaluation of some human-toxicological maximum permissible risk levels earlier evaluated in the period 1991-2001. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. Report 711701092/2009.
- **SAGE de la Dore** ; Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Evaluation environnementale (2011).
- **Sanjuan B., Crouzet C. et Brach M. (2001)** - Caractérisation d'une contamination des eaux par l'arsenic. Exemples d'Auzon et d'Auzelles (Auvergne). Rapport BRGM/RP-50737-FR.
- **Santé Canada** - http://www.hc-sc.gc.ca/index-fra.php
- **Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Dore**, Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Rapport de diagnostic, (2010)
- **Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Dore**, Parc Naturel Régional Livradois-Forez. Synthèse (2010)
- **Stanek E.J., Calabrese E.J., Zorn M. (2001)** - Biasing factors for simple soil ingestion estimates in mass balance studies of soil ingestion. Human and Ecological Risk Assessment, Vol. 7, n° 2, 329-355.
- **Stanek E., Calabrese E. (1995)** - Daliy estimates of soil ingestion in children, Environmental Health perspectives, Vol. 103, number 3
- **Stanek E., Calabrese E. (2000)** - Daily soil ingestion for children at Superfund site, Risk analysis, Vol. 20, n°5
- **Stanek, E.J., Calabrese, E.J., Zorn, M. (2001a)** - Biasing factors for simple soil ingestion estimates in mass balance studies of soil ingestion. Human and Ecological Risk Assessment, 7, 329-355.
- **Stanek, E.J., Calabrese, E.J., Zorn, M. (2001b)** - Soil ingestion distributions for monte carlo risk assessment in children. Human and Ecological Risk Assessment, 7, 357-368.
- **Stanek E.J. and Calabrese E.J. (2006)** - Response to the letter to the editor. Risk Anal 26

- **Stolojan N. et Viland J.C. (1991)** - Les gisements de plomb-zinc en France
- **Thompson K., Burmaster D. (1991)** - Parametric distributions for soil ingestion by children, Risk analysis, Vol. 11, n°2, 1991
- **TPHCWG (1997)** Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons, Volume 4. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series. Amherst: Amherst Scientific Publishers.
- **Tsai S.Y., Chou H.Y., The H.W., Chen C.M. and Chen C.J. (2003)** - The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the neurobehavioral development in adolescence. Neurotoxicology, 24, 4-5, 747-753.
- **Tseng W.P. (1977)** - Effects and dose-response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic. Environ Health Perspect, 19, 109-119.
- **Tseng W.P., Chu H.M., How S.W., Fong J.M., Lin C.S. and Yeh S. (1968)** - Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. J Nat l Cancer Inst, 40, 3, 453-463.
- **US EPA** - Integrated Risk Information System (IRIS) on line. http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/irisdat
- **US EPA - 2008** Chikd-Specific Exposure Factors Handbook. EPA/600/R-06/96F. September 2008.
- **US EPA (2011)** - Exposure factors handbook. EPA/600/R-090/052F. September 2011. http://www.epa.gov/ncea/efh/pdfs/efh-complete.pdf
- **Van Holderbeke M., Cornelis C., Bierkens J, & R. Torfs (2008)** - Review of the soil ingestion pathway in human exposure assessment. Study in support of the BeNeKempen project. Final report. VITO, Mol, Belgique, 195 p.
- **Wasserman G.A., Liu X., Parvez F., Ahsan H., Factor-Litvak P., van Geen A., Slavkovich V., Lolacono N.J., Cheng Z., Hussain I., Momotaj H. and Graziano J.H. (2004)** - Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihazar, Bangladesh. Environ Health Perspect, 112, 13, 1329-1333.
- **Yadrick M.K., Kenney M.A. and Winterfeldt E.A. (1989)** - Iron, copper, and zinc status: response to supplementation with zinc or zinc and iron in adult females. Am J Clin Nutr, 49, 1, 145-150.

ANNEXE 1

Résultats des analyses chimiques des prélèvements de sédiments de la retenue du Miodet effectués lors des campagnes de 1987 et 2007 (extrait de l'étude EDF)

a) Campagne de prélèvement de 1987

Point	Prof	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Hg
	cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
C1-1	0	73	425	172	283	67	2.1	68	2.15
C1-2	20	85	479	175	300	67	1.8	9	1.5
C1-3	40	86	583	141	286	63	1.9	11	1.2
C1-4	60	75	377	126	316	62	1.4	46	n.d.
C1-5	80	79	490	149	215	51	2.2	36	1.75
C1-6	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C1-7	120	112	723	241	345	61	2.7	24	1.65
C1-8	140	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C1-9	160	56	553	320	716	65	1.9	53	1.5
C1-10	180	75	751	409	330	57	2.2	47	1.15
C2-1	0	75	640	529	301	63	2.8	43	0.75
C1-2	70	78	697	412	410	69	2.9	45	3.05
C1-3	140	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C1-4	160	100	943	1402	268	69	2.9	32	1.5
C1-5	180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C1-6	200	146	907	2154	350	66	0.9	45	0.7
C1-7	220	87	582	1056	524	57	2.6	61	1.75
C1-8	240	134	949	3122	698	71	2.6	47	1.5
C3-1	0	79	621	144	652	88	2.4	39	1.15
C3-2	60	80	579	197	564	69	1.6	44	1.65
C3-3	120	74	726	589	624	71	0.6	40	1
C3-4	180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C3-5	200	53	739	359	2255	64	3.4	56	1.3
C3-6	220	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C3-7	240	104	820	1447	860	64	2.8	61	1.5
C3-8	260	94	776	1340	1356	60	3	64	1.4
C4-1	100	48	557	325	961	67	3	69	1.8
C4-2	180	128	838	1364	836	69	3.1	60	1.7
C4-3	220	100	793	1312	1175	66	3.3	72	2.65
C4-4	260	124	819	1506	1264	70	2.8	22	2.3

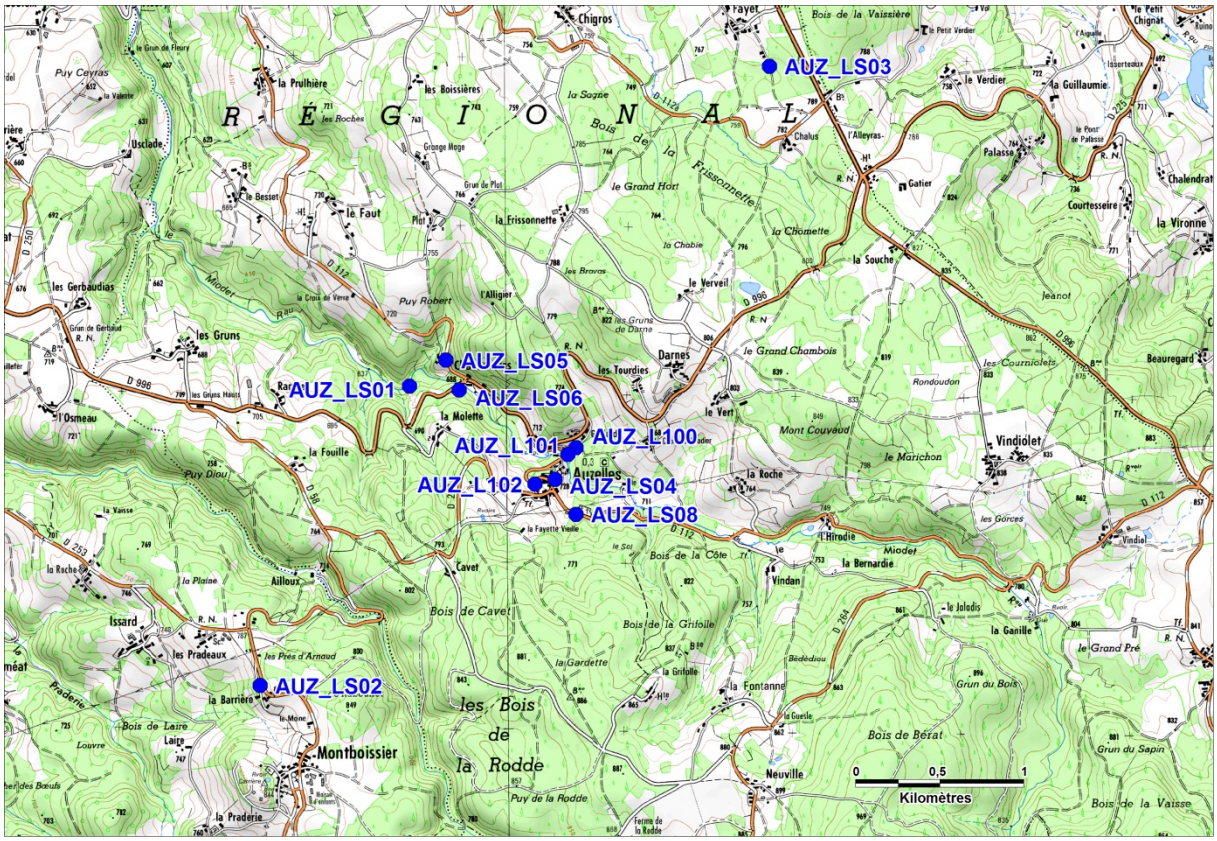
b) Campagne de prélèvement de 2007

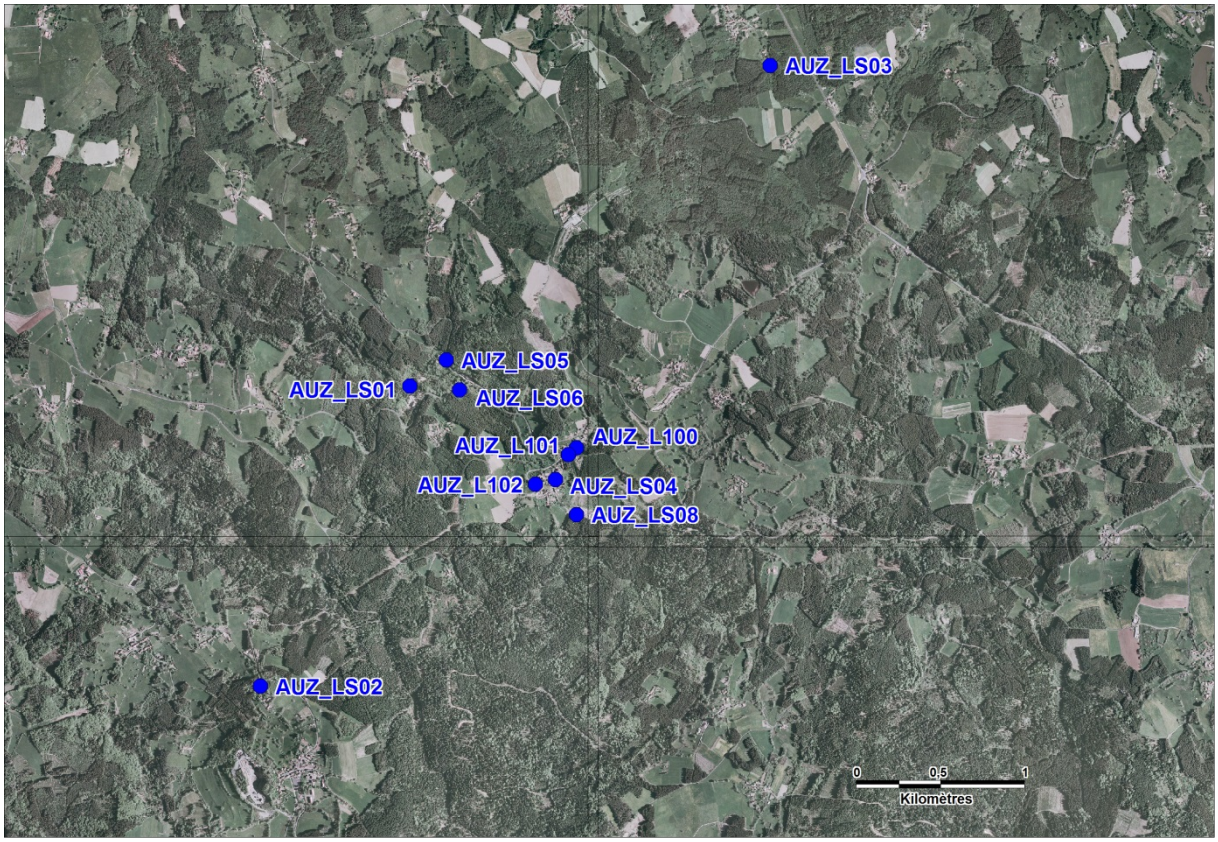
Point	Zn	Cr	Pb	Cd	As	Hg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	19	5.1	10.3	0.5	11.8	0.02
2	32	8.1	18.8	0.5	32	0.02
3	74.4	23.3	30.5	0.5	20.20	0.02
4	240.4	33.6	723.1	3.1	94	0.041
5	133.5	40.1	43.1	2.5	77.1	0.056

ANNEXE 2

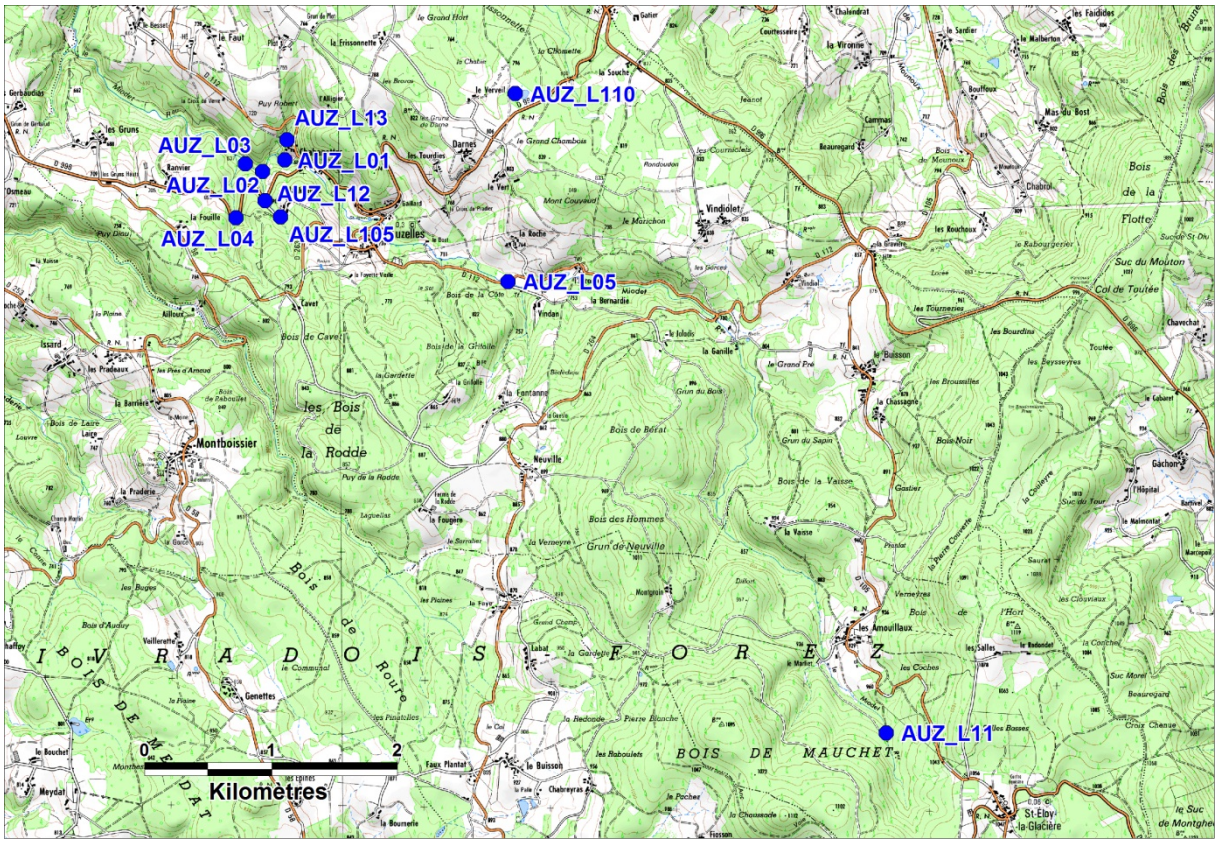
Cartes de positionnement des points de prélèvements et des mesures NITON®

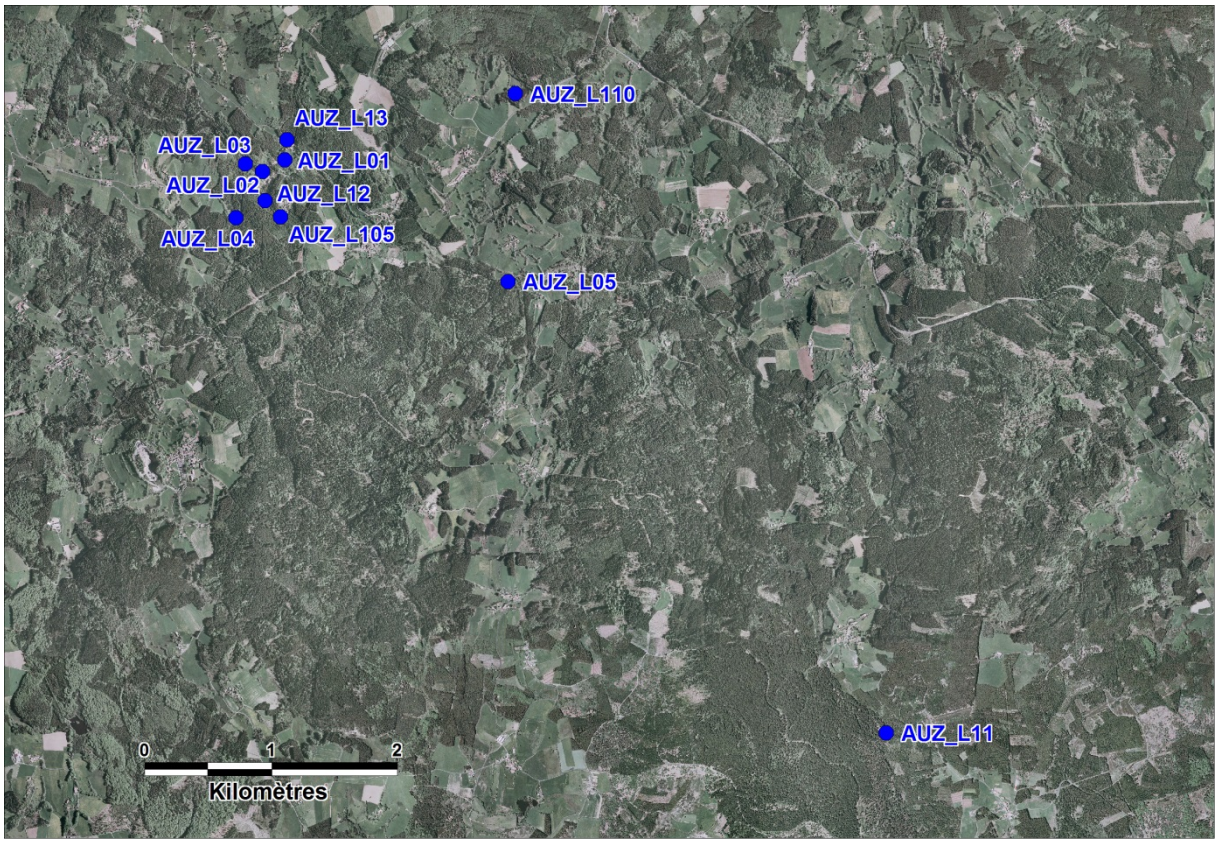
Eaux souterraines



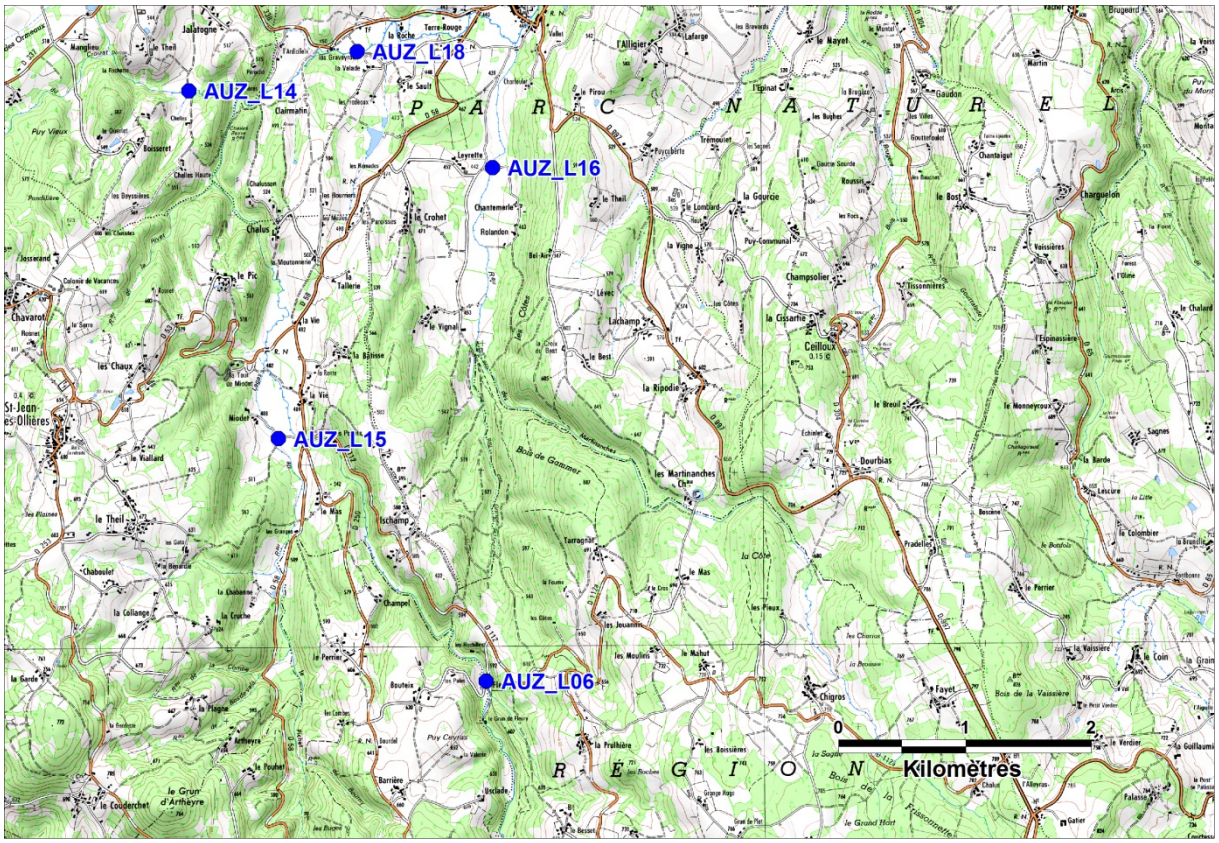


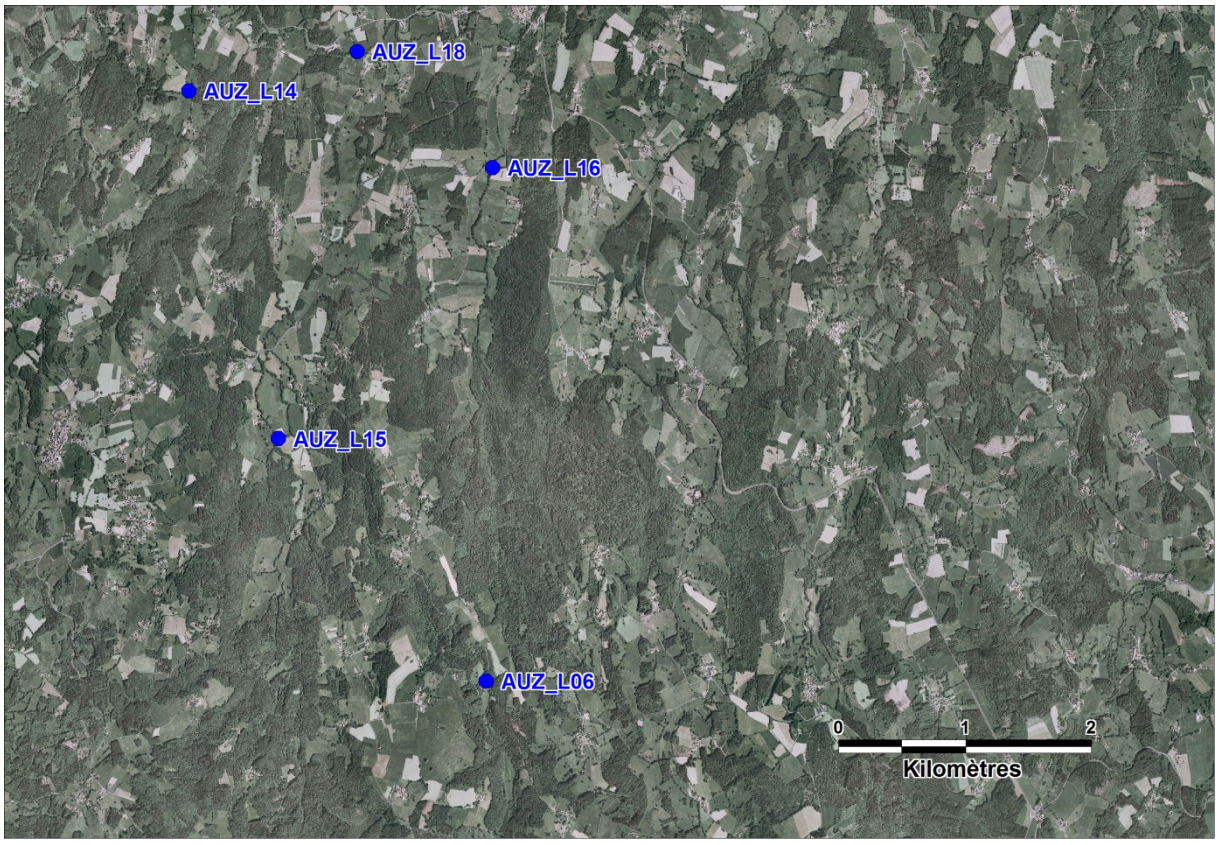
Eaux superficielles (partie sud)



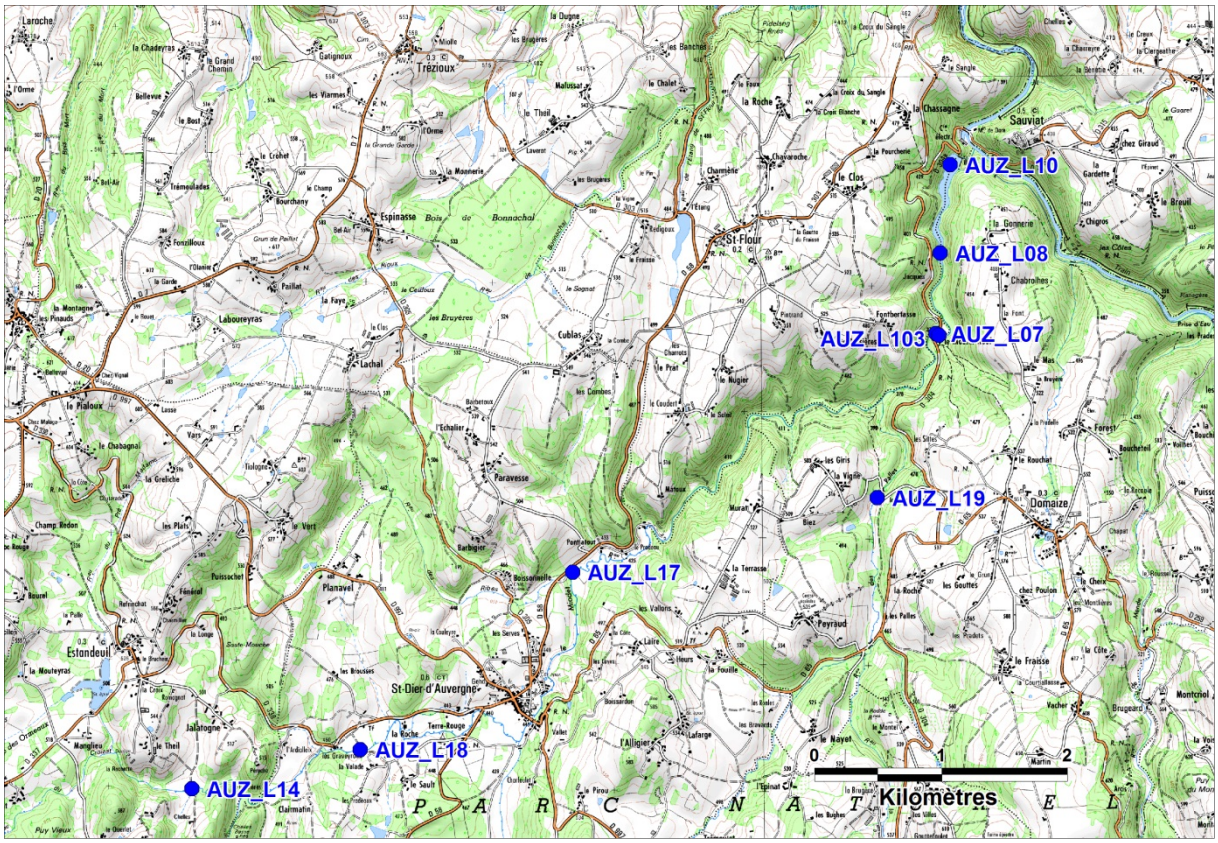


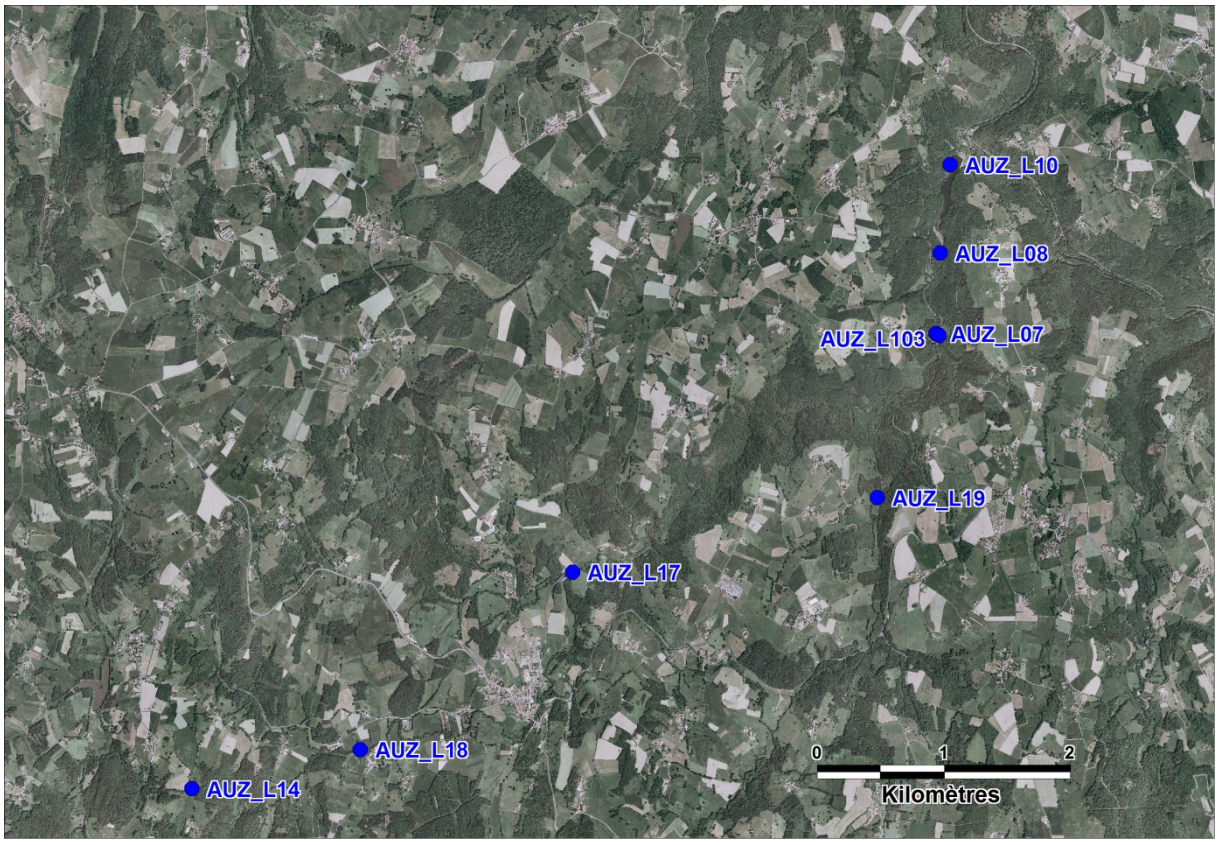
Eaux superficielles (partie centre)



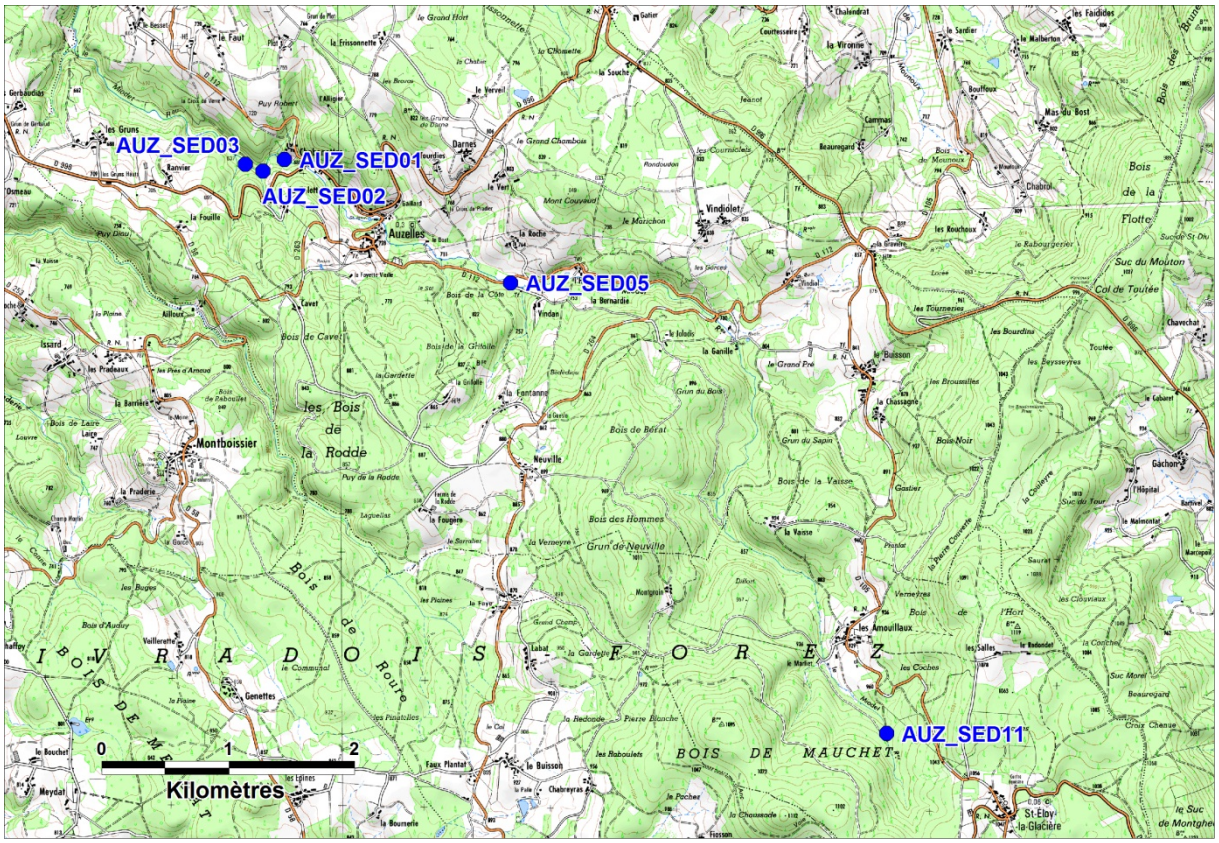


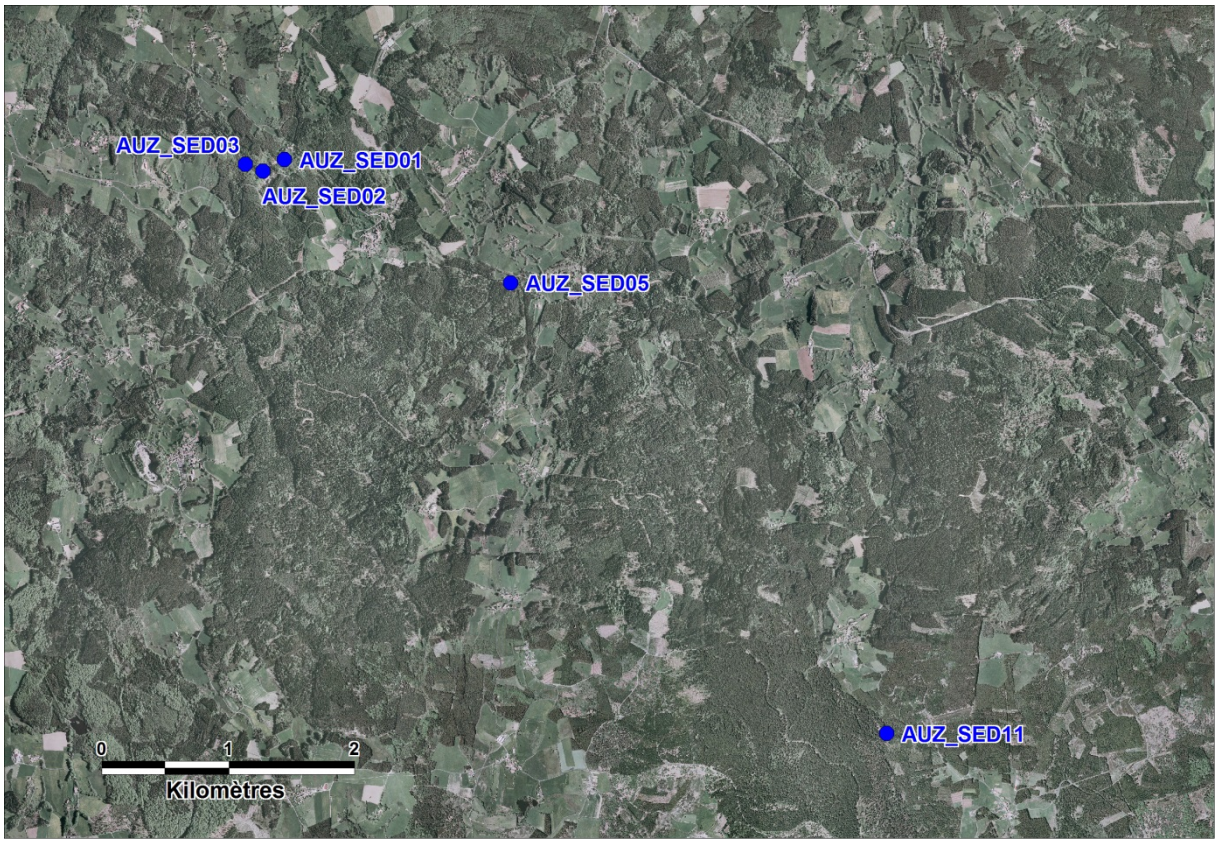
Eaux superficielles (partie nord)



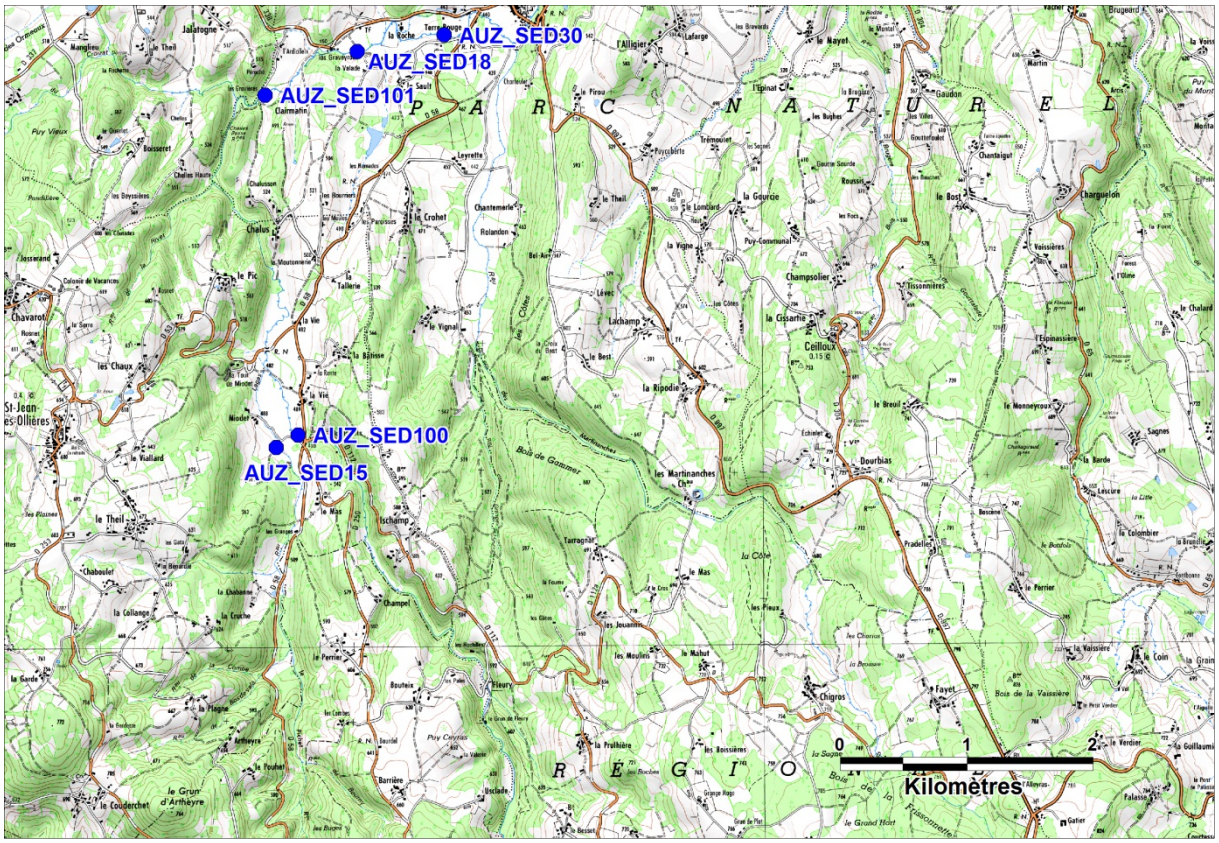


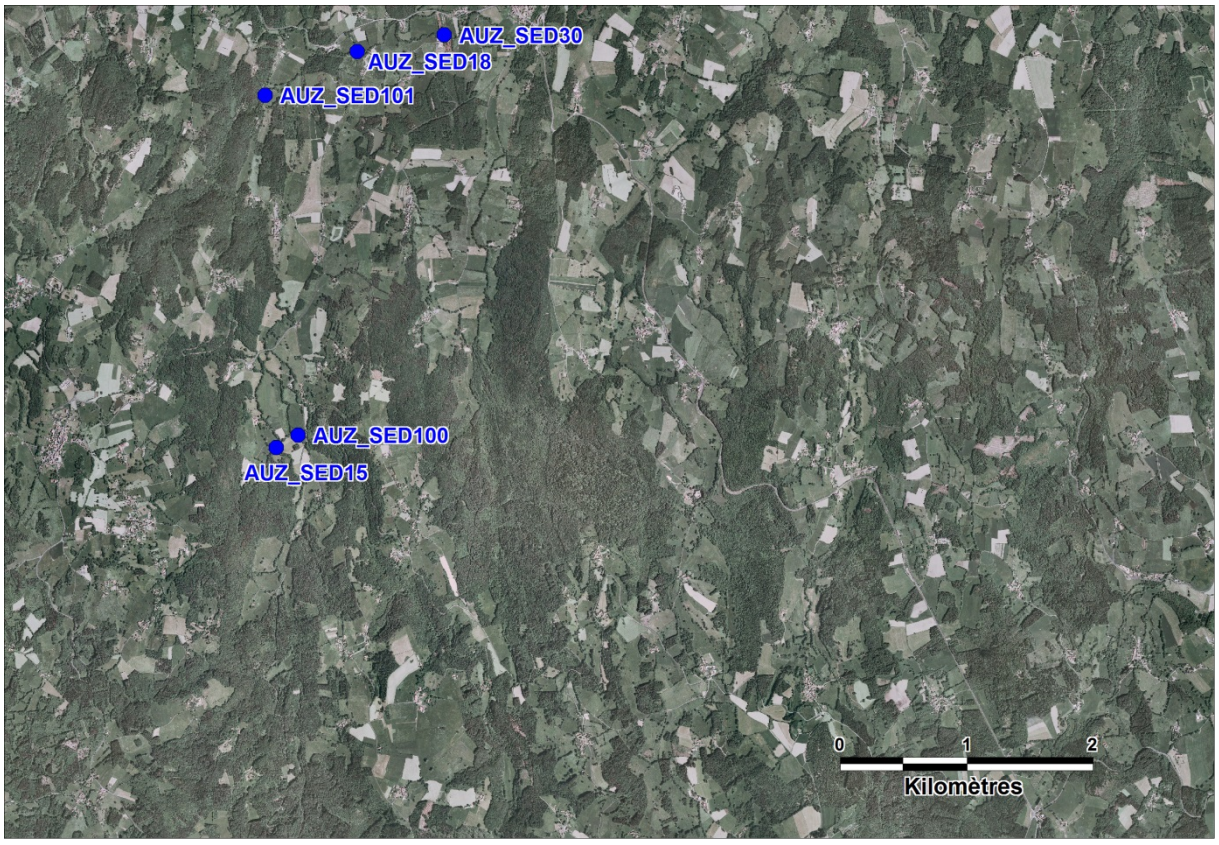
Sédiments (partie sud)



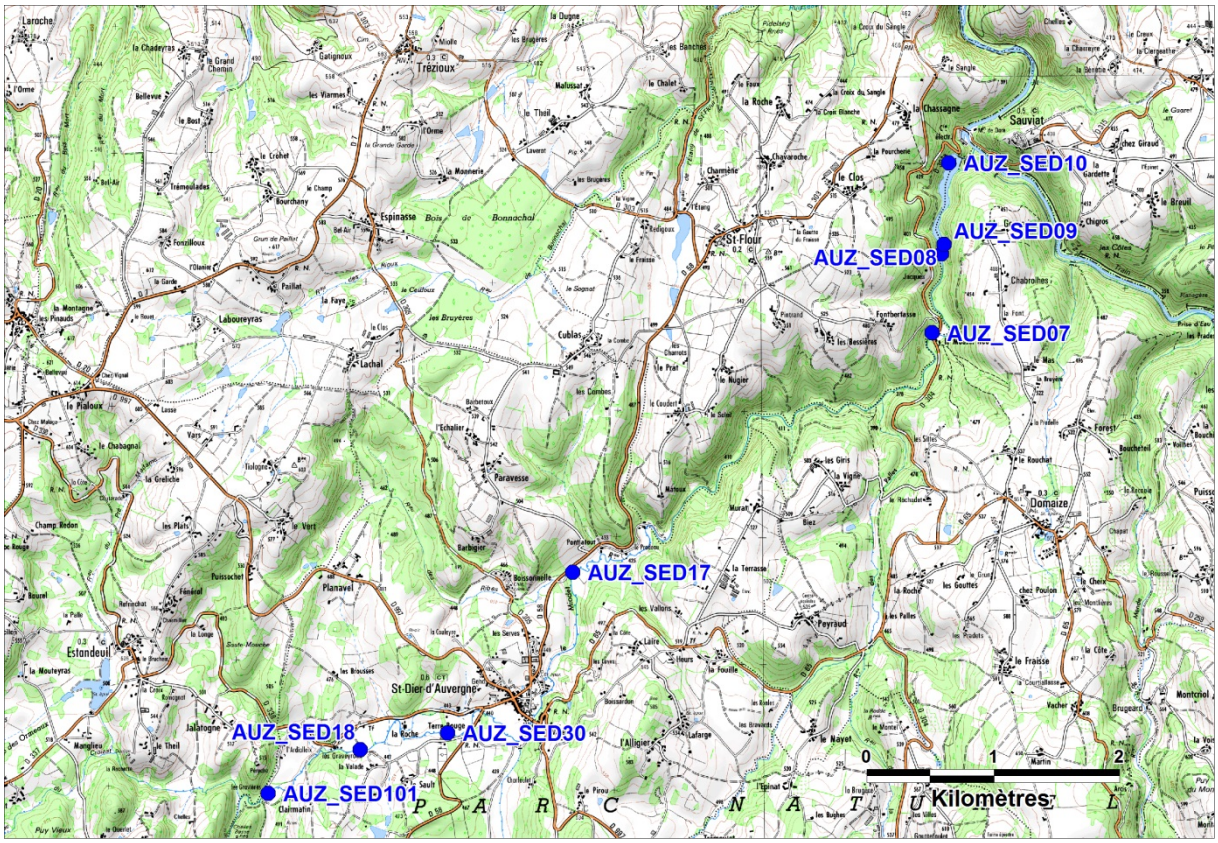


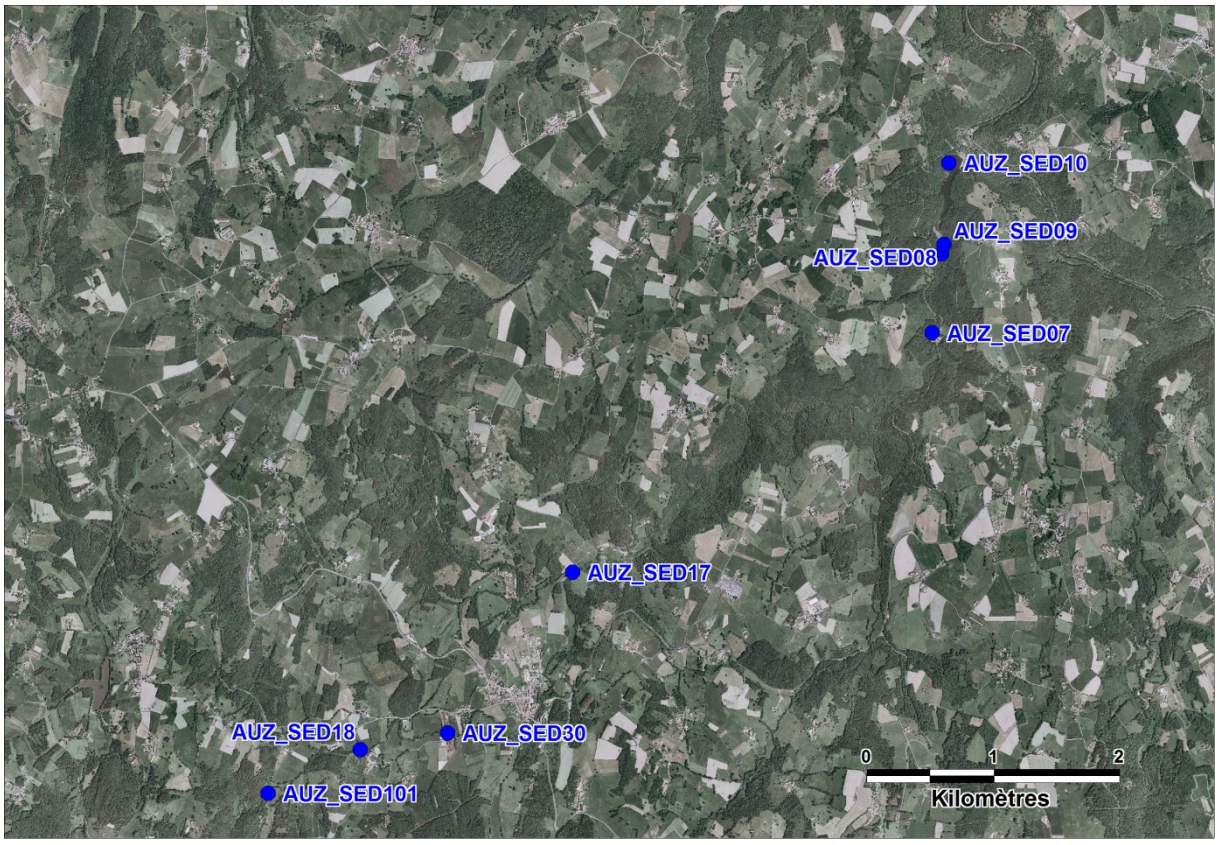
Sédiments (partie centre)



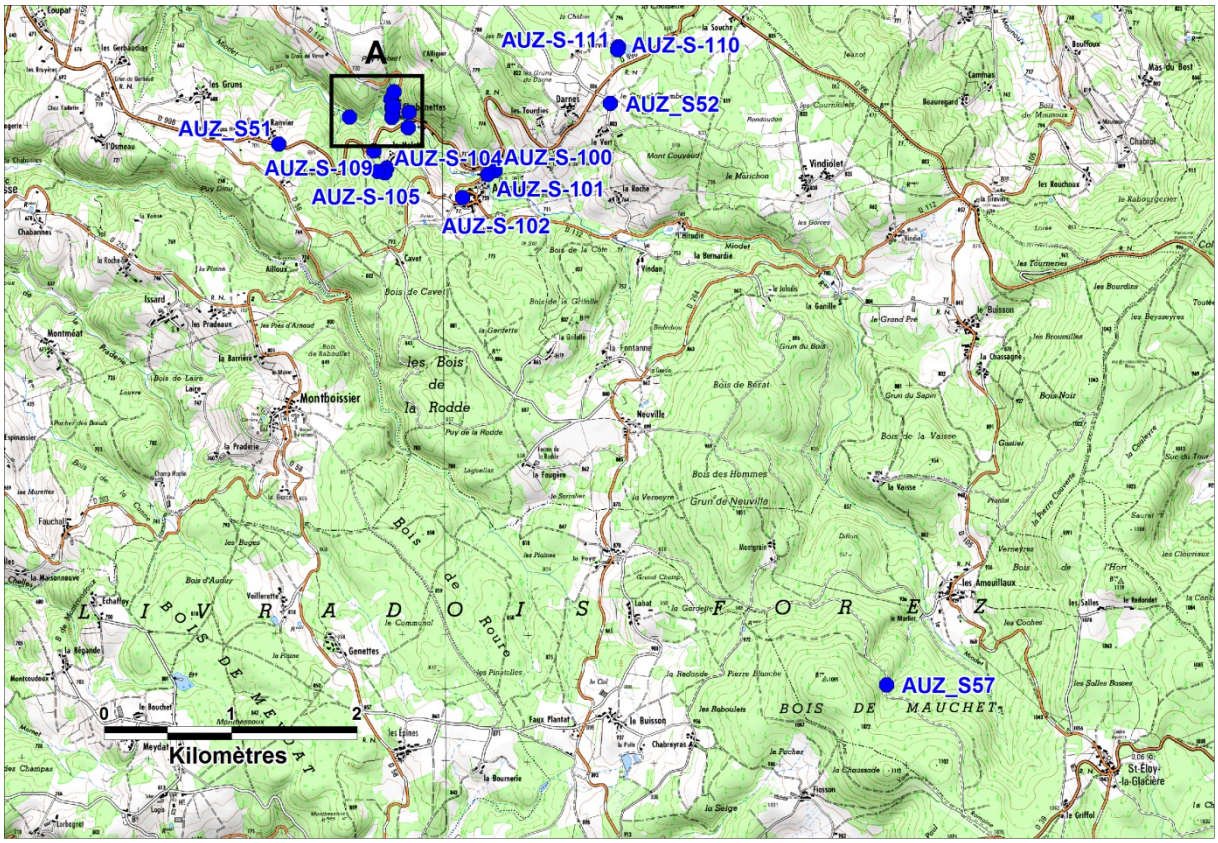


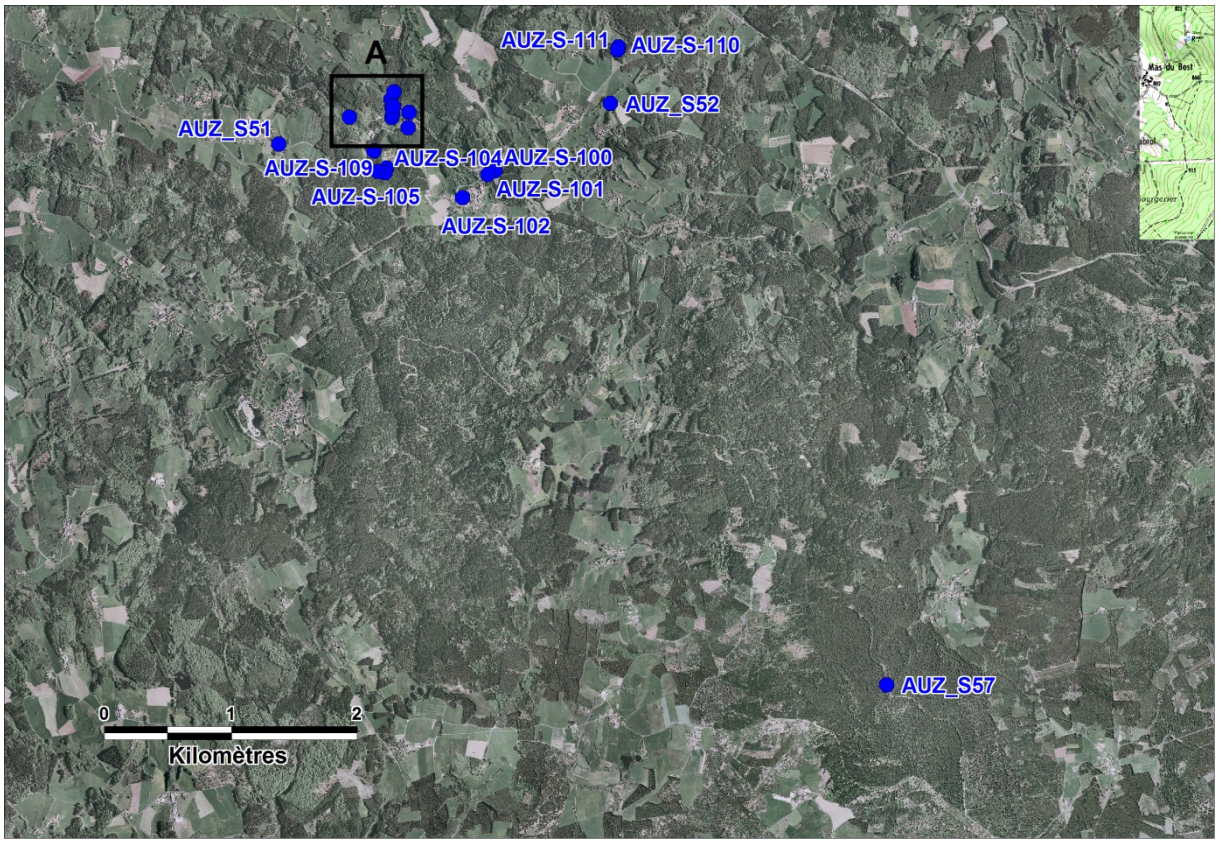
Sédiments (partie nord)



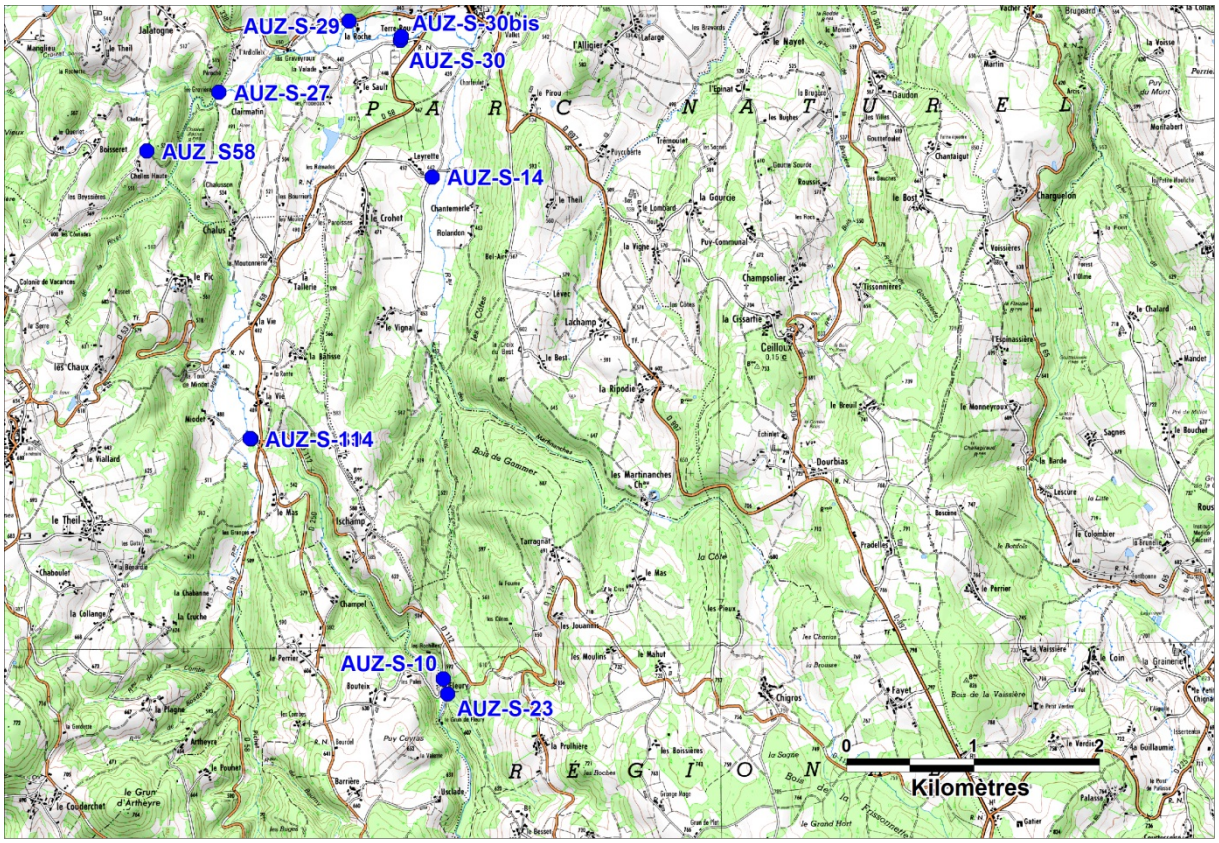


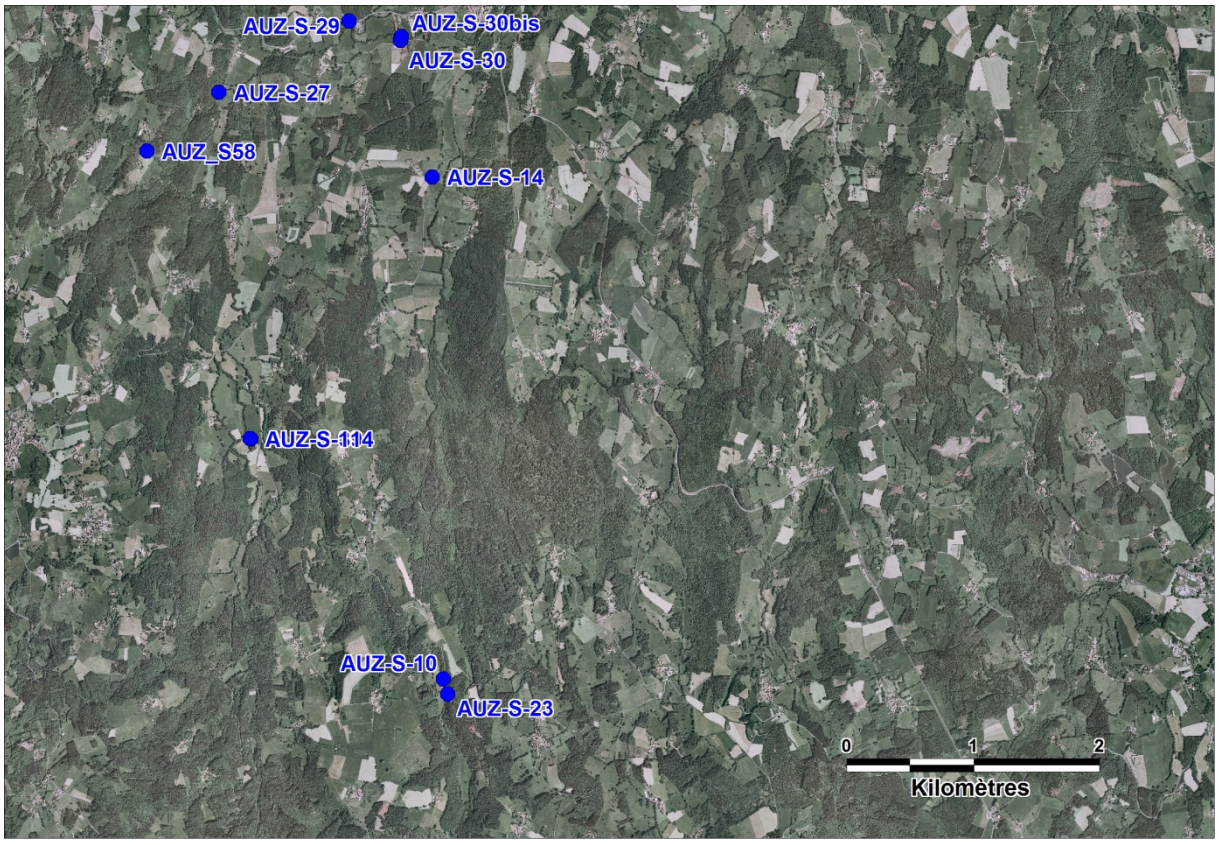
Sols (partie sud)



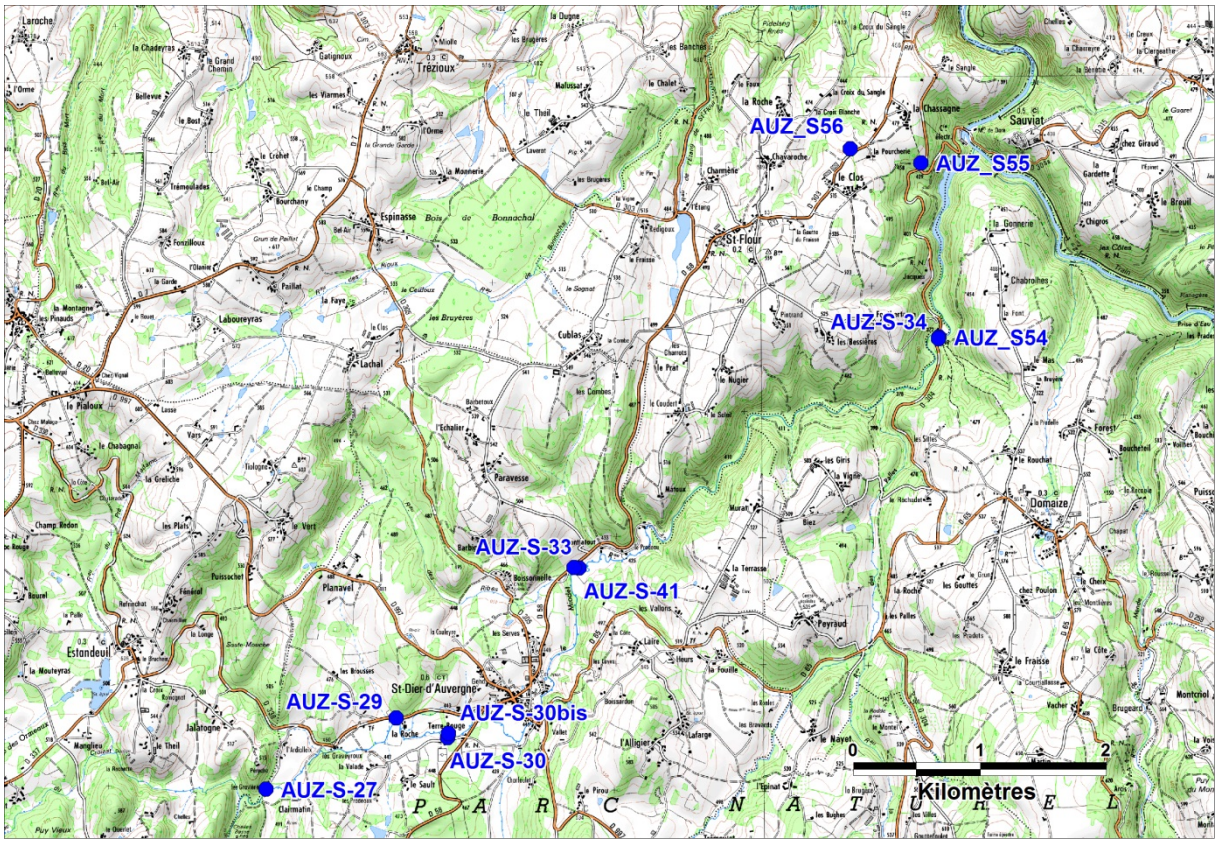


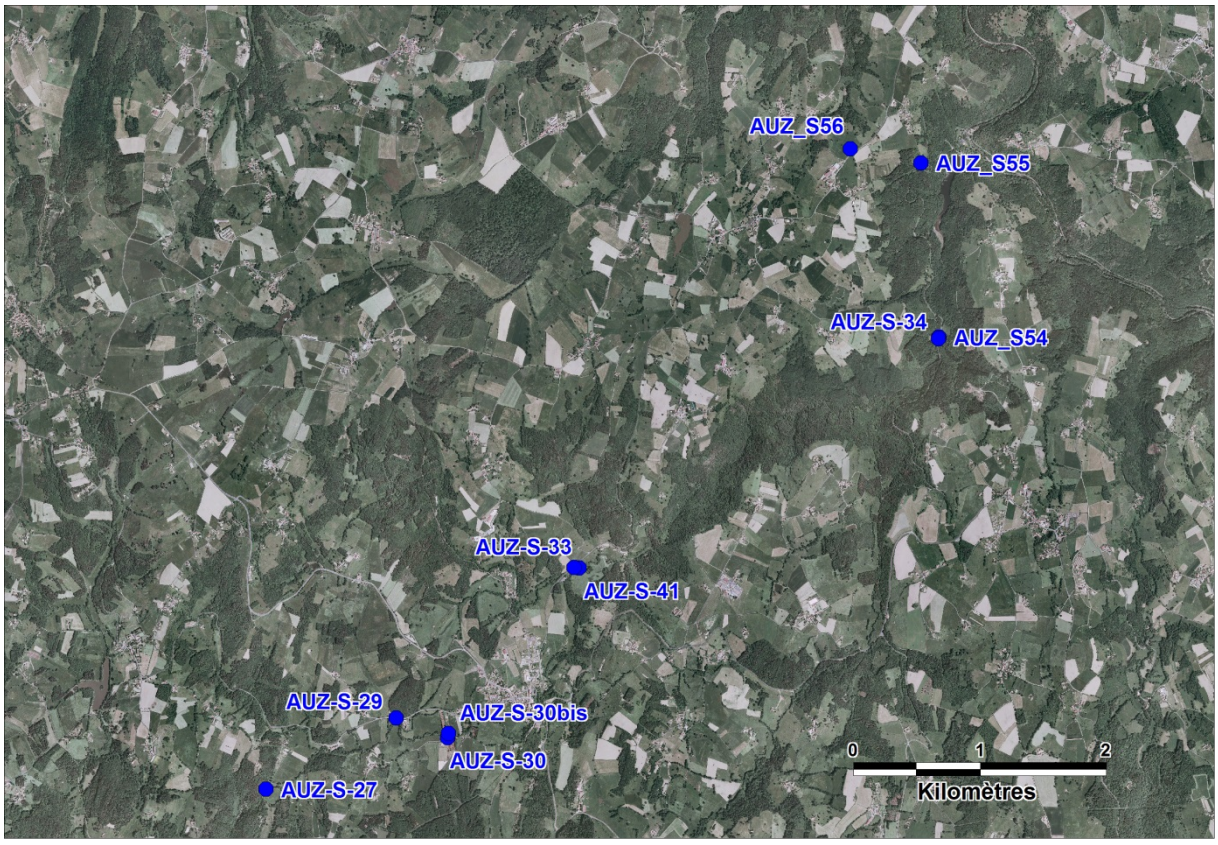
Sols (partie centre)



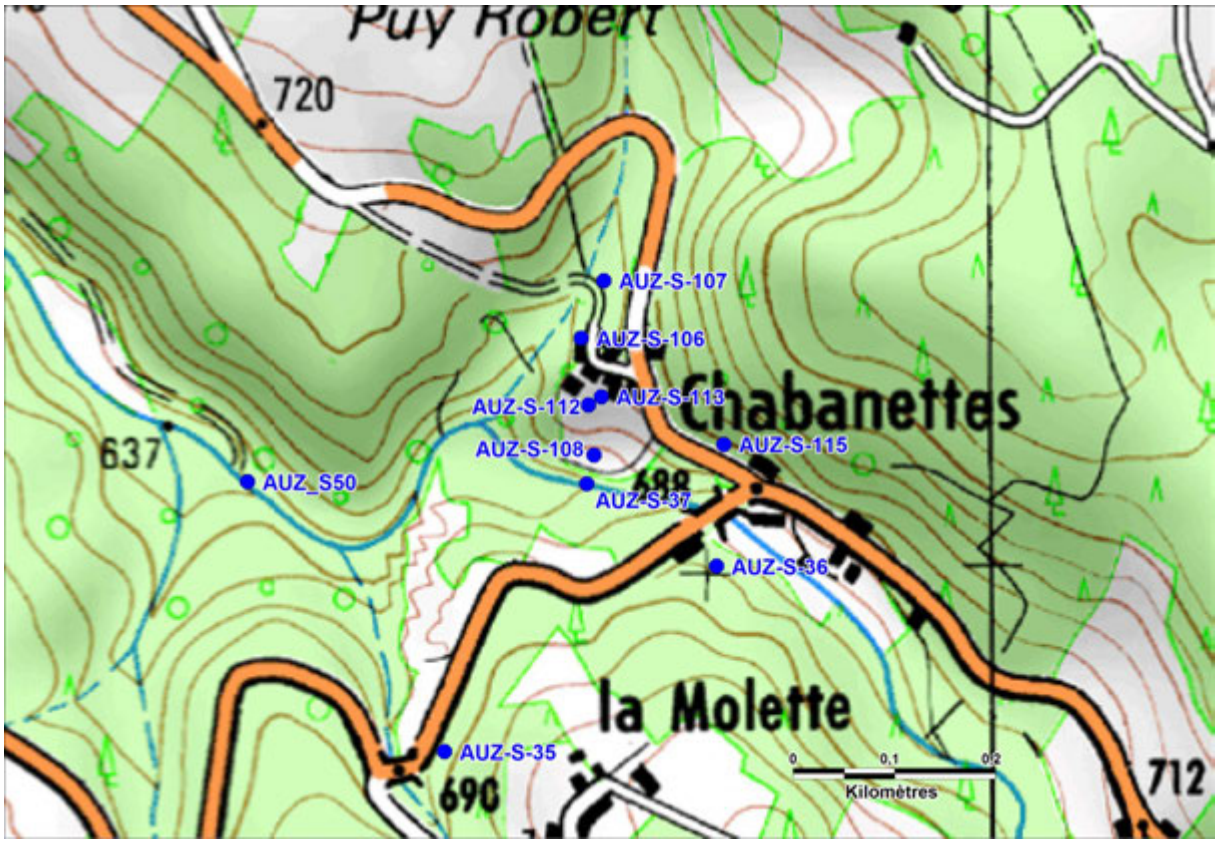


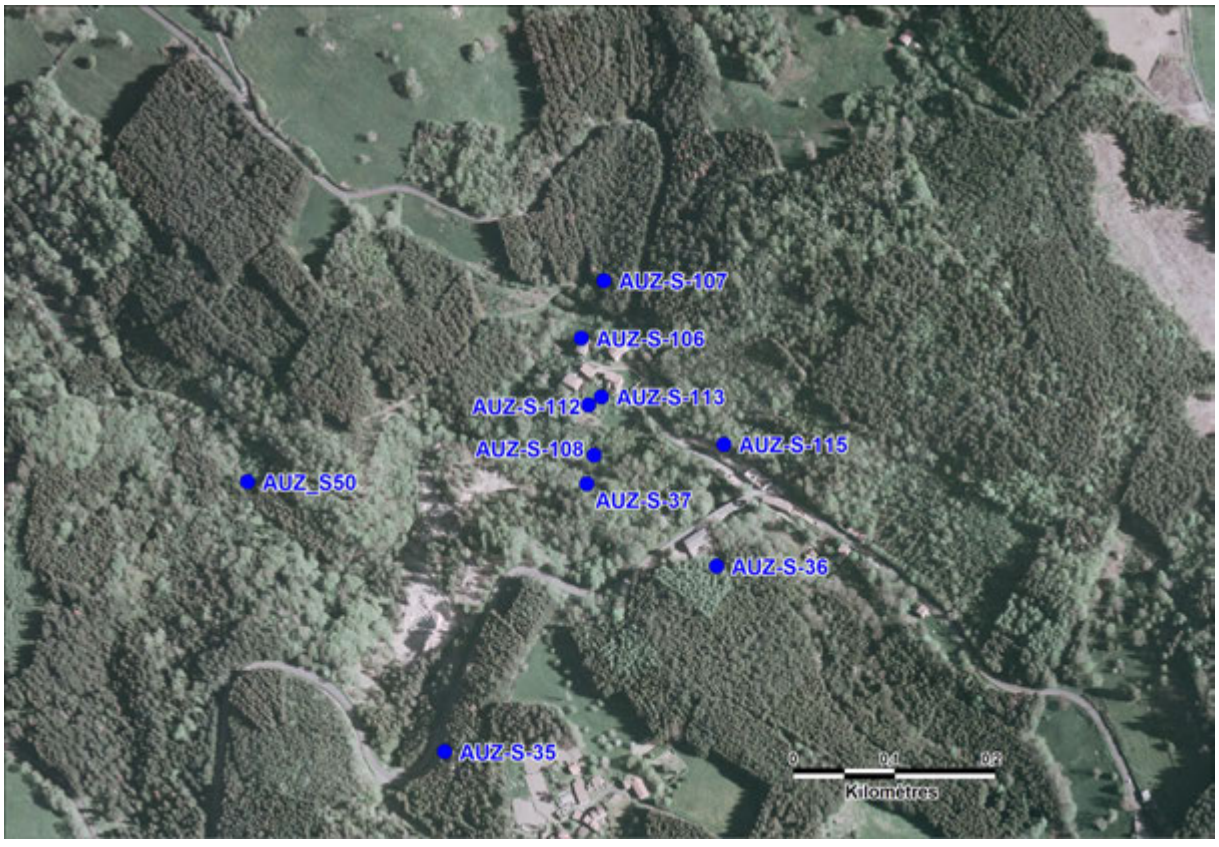
Sols (partie nord)



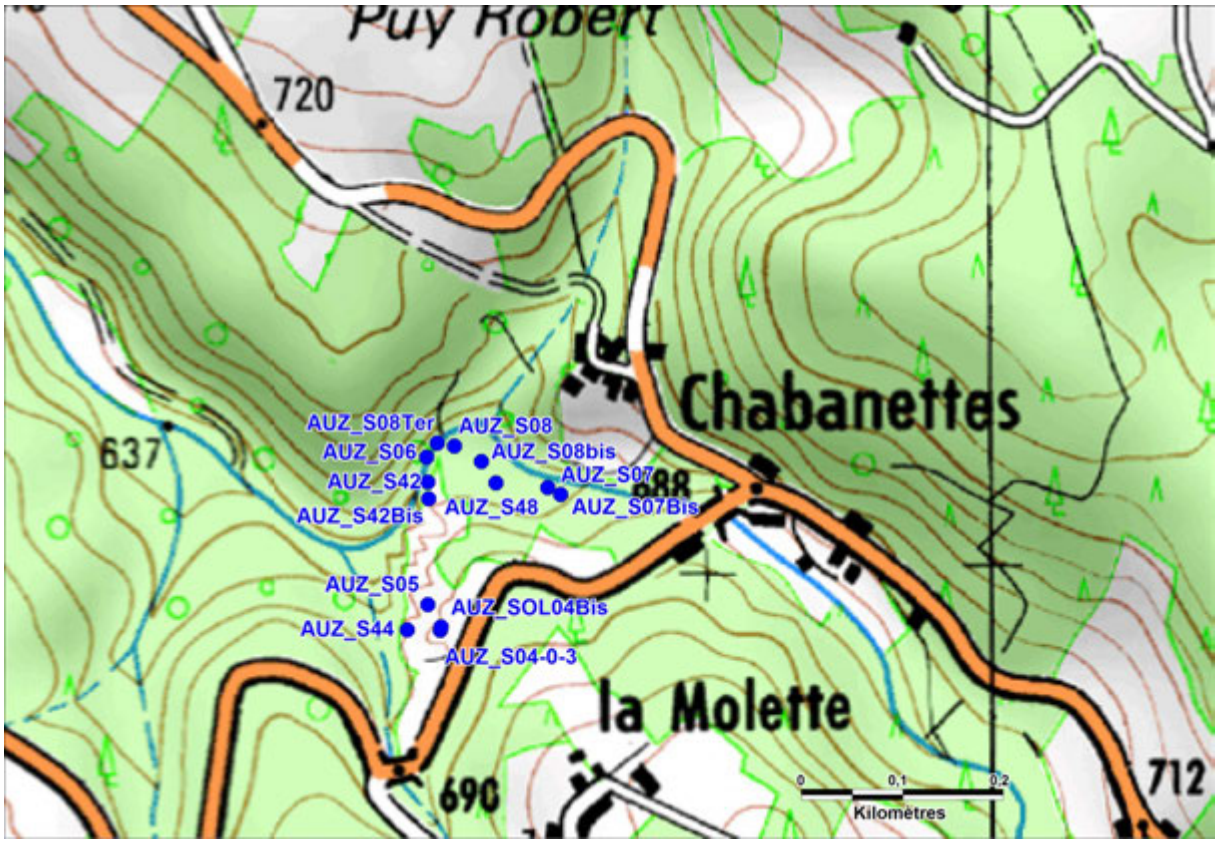


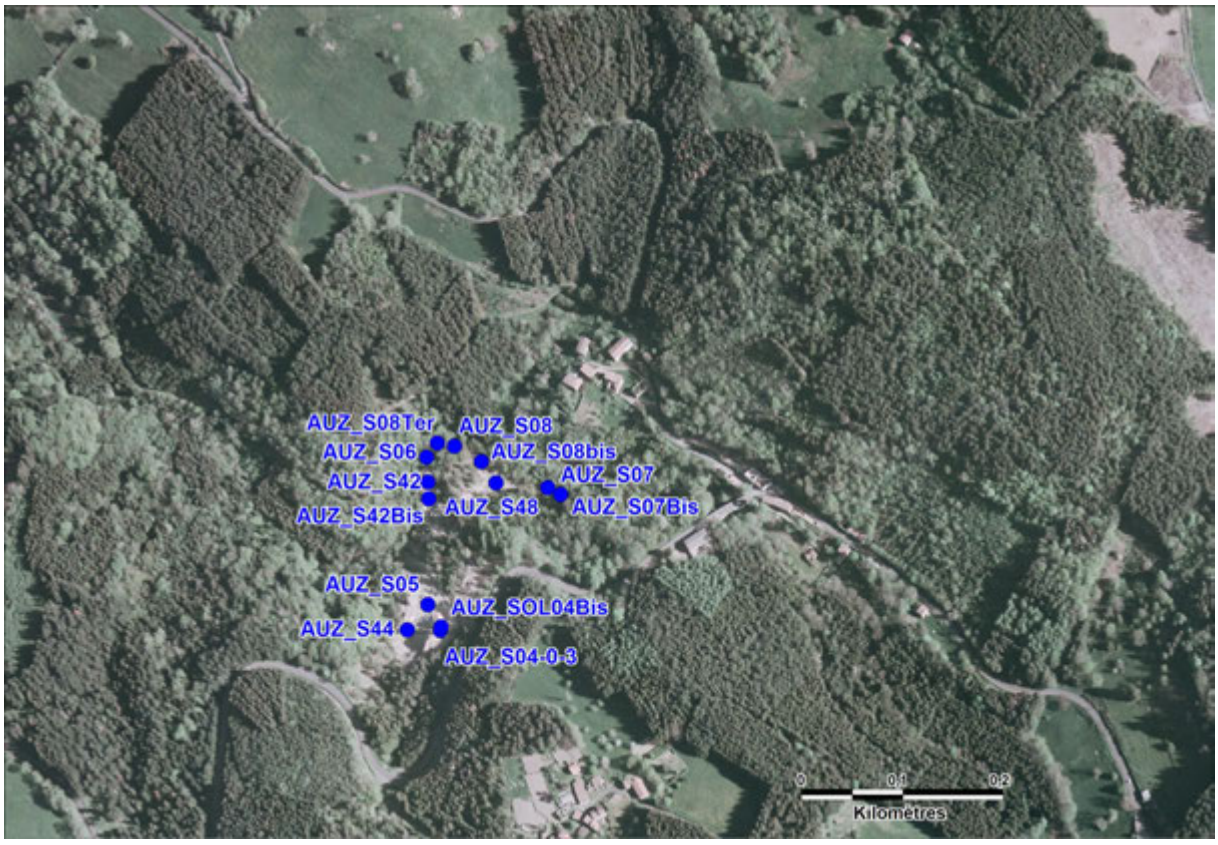
Sols (zoom de la zone de la Molette : zone A)



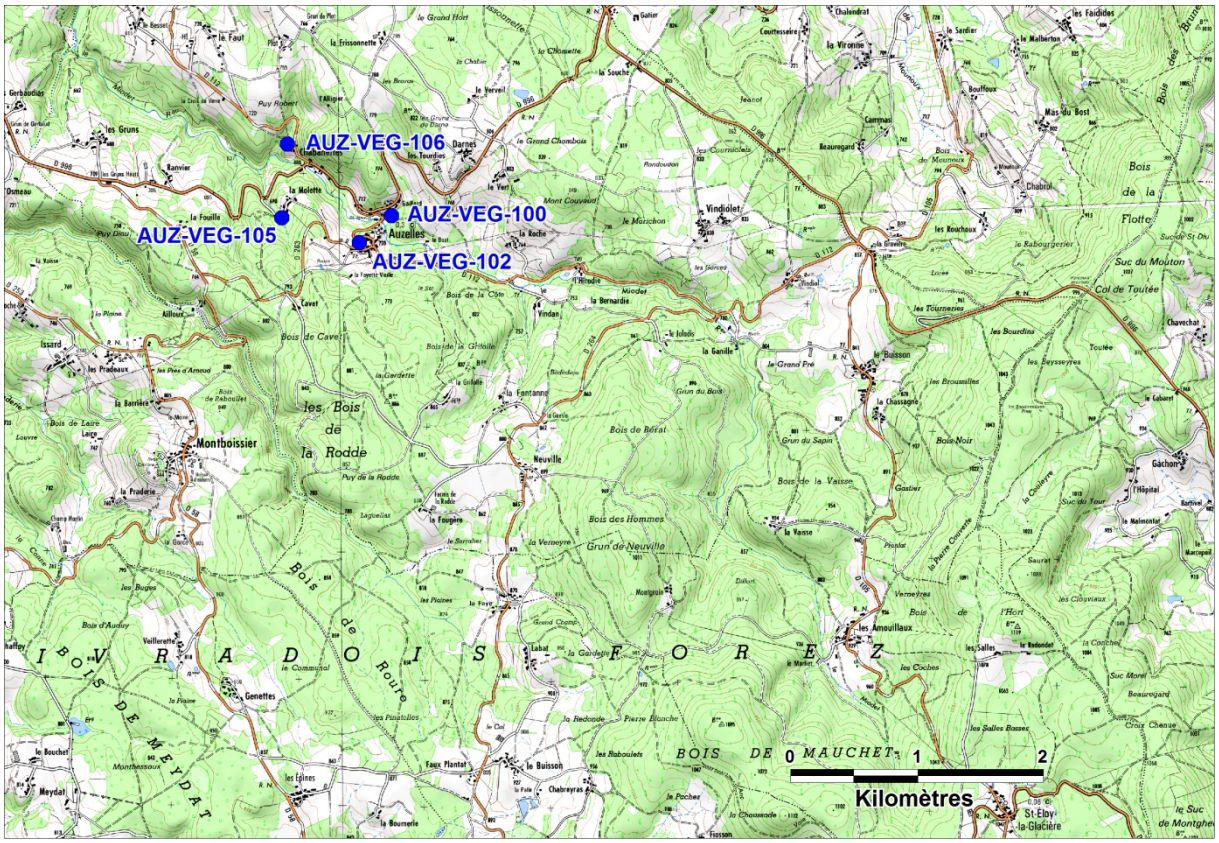


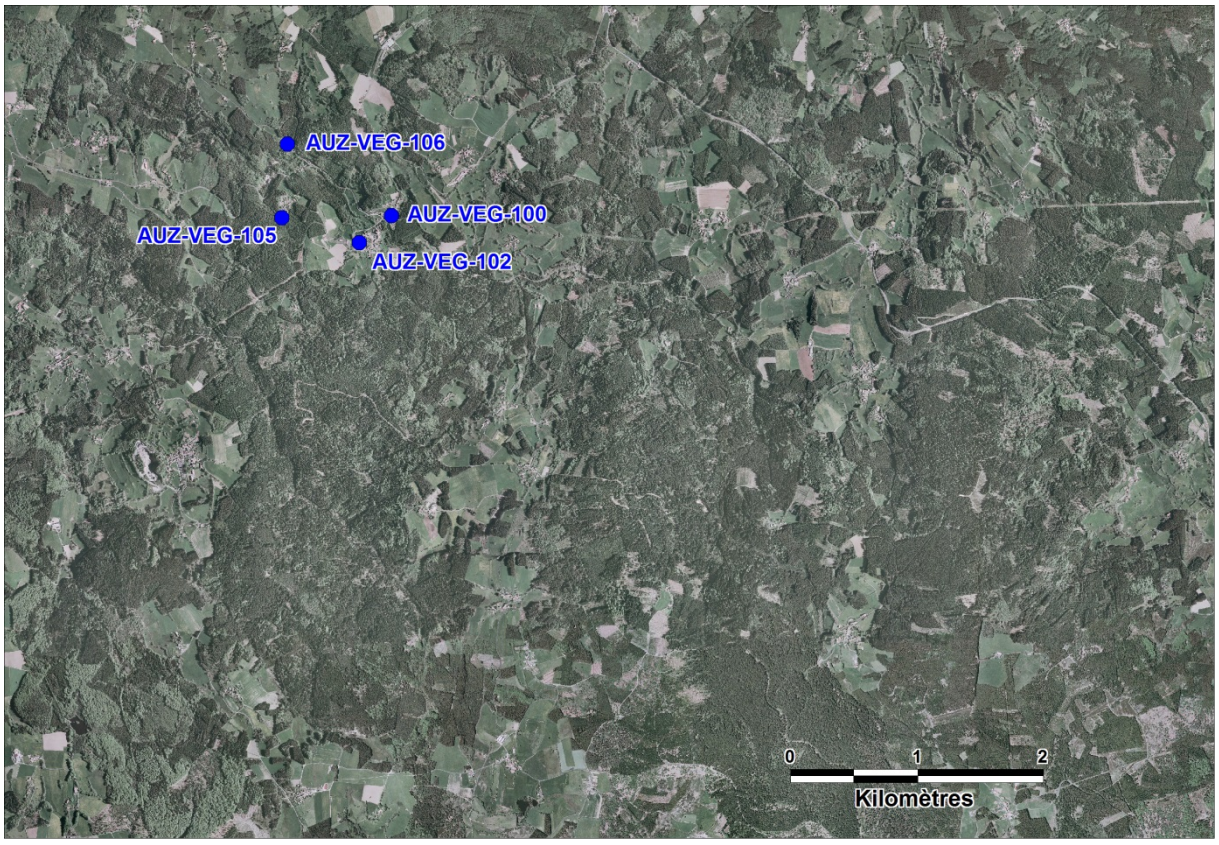
Résidus miniers de la zone de la Molette



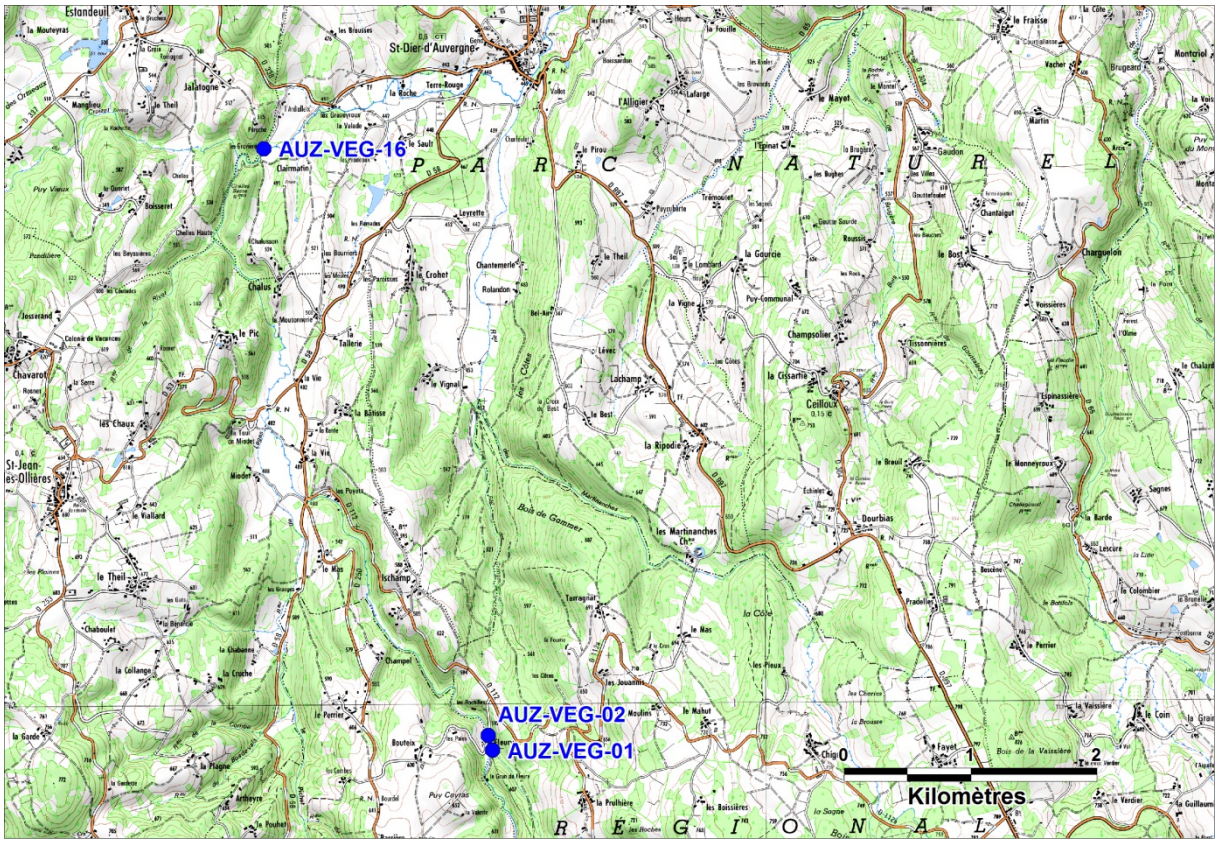


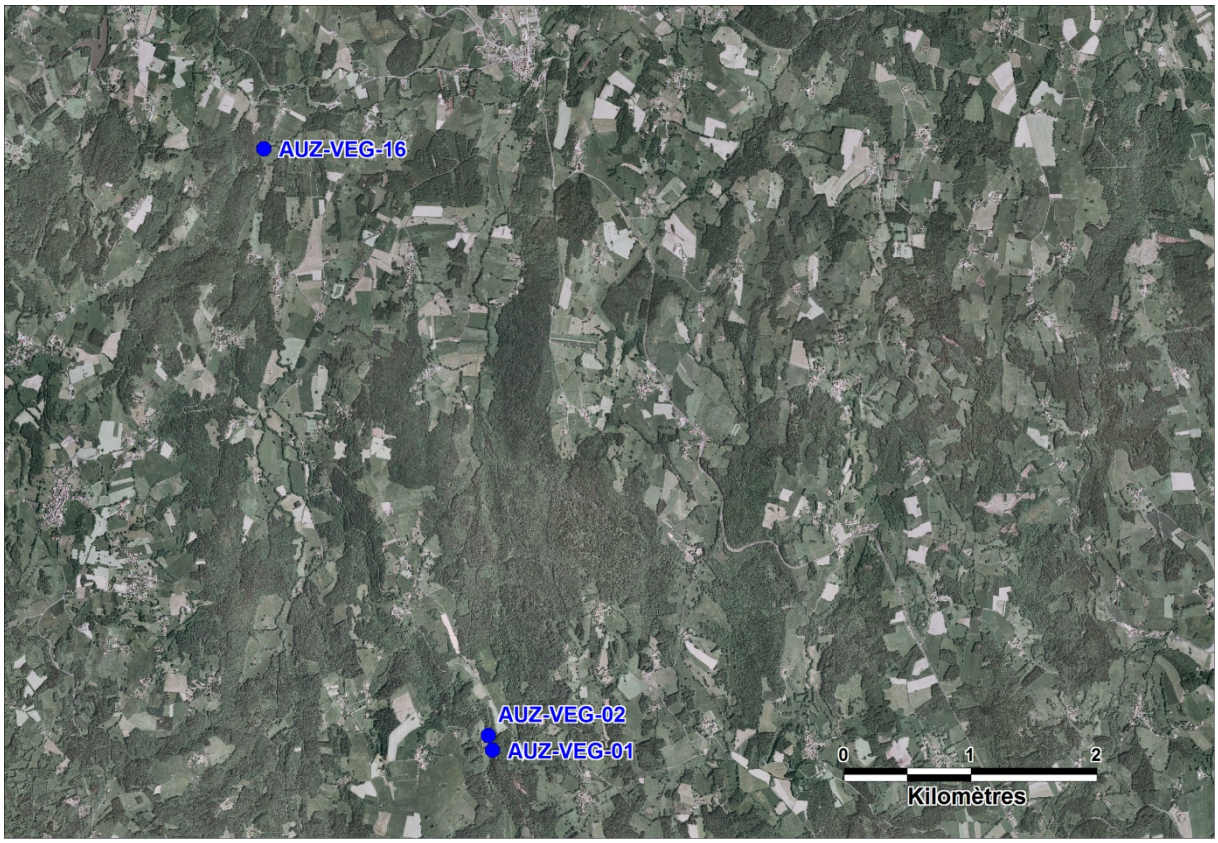
Végétaux (partie sud)



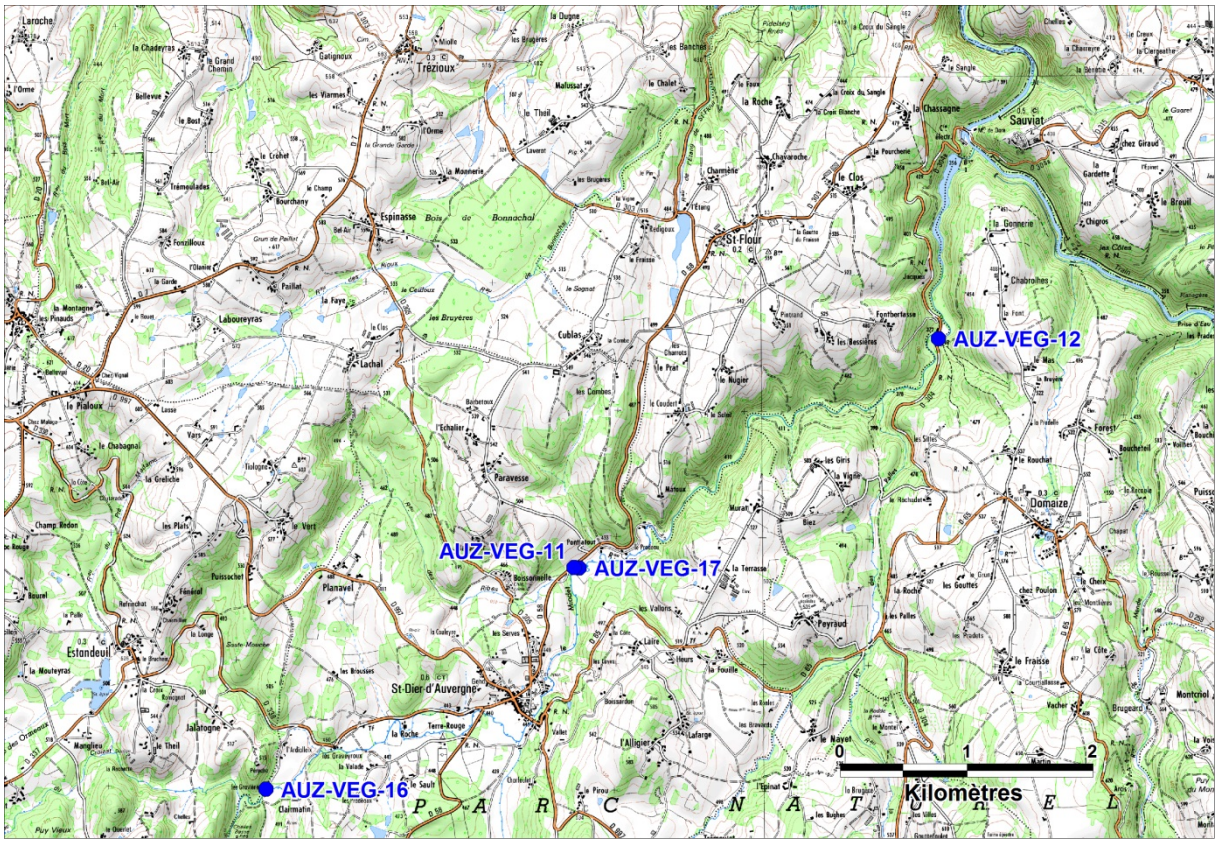


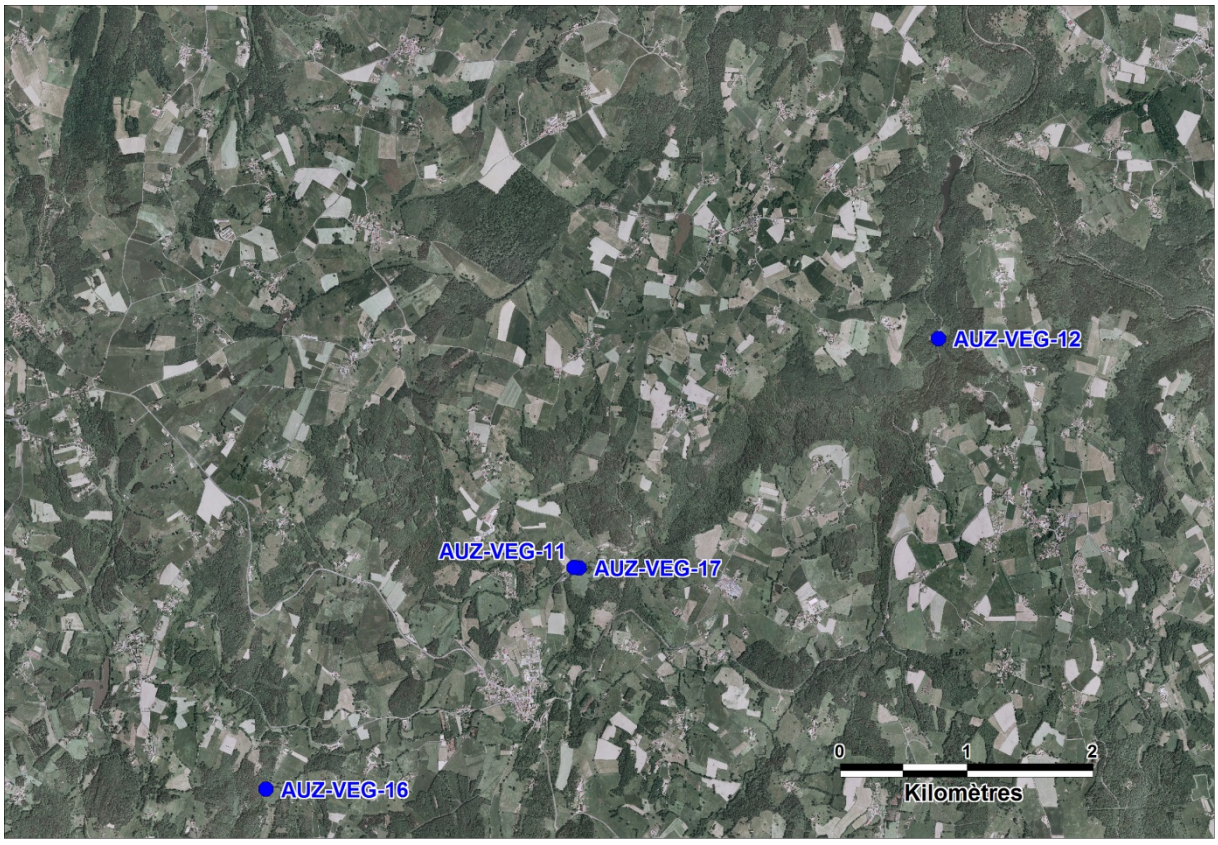
Végétaux (partie centre)



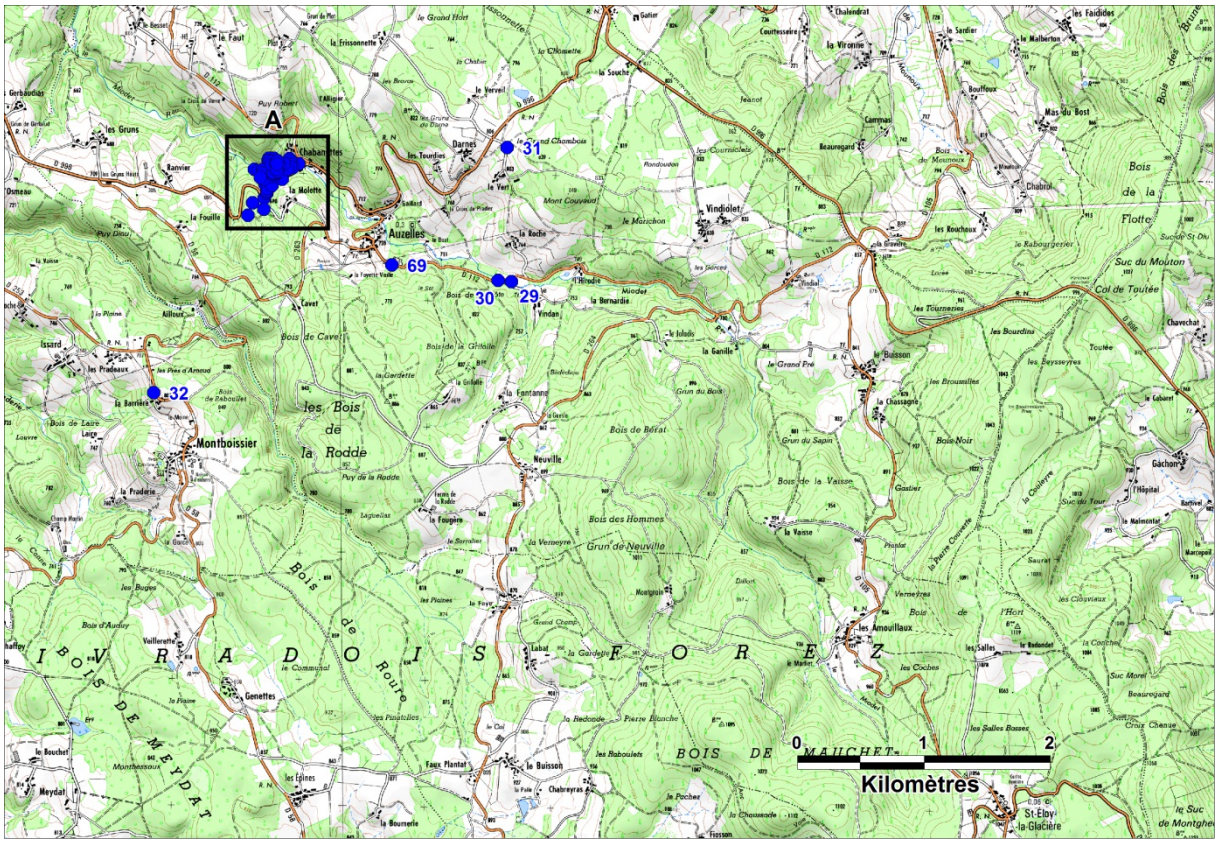


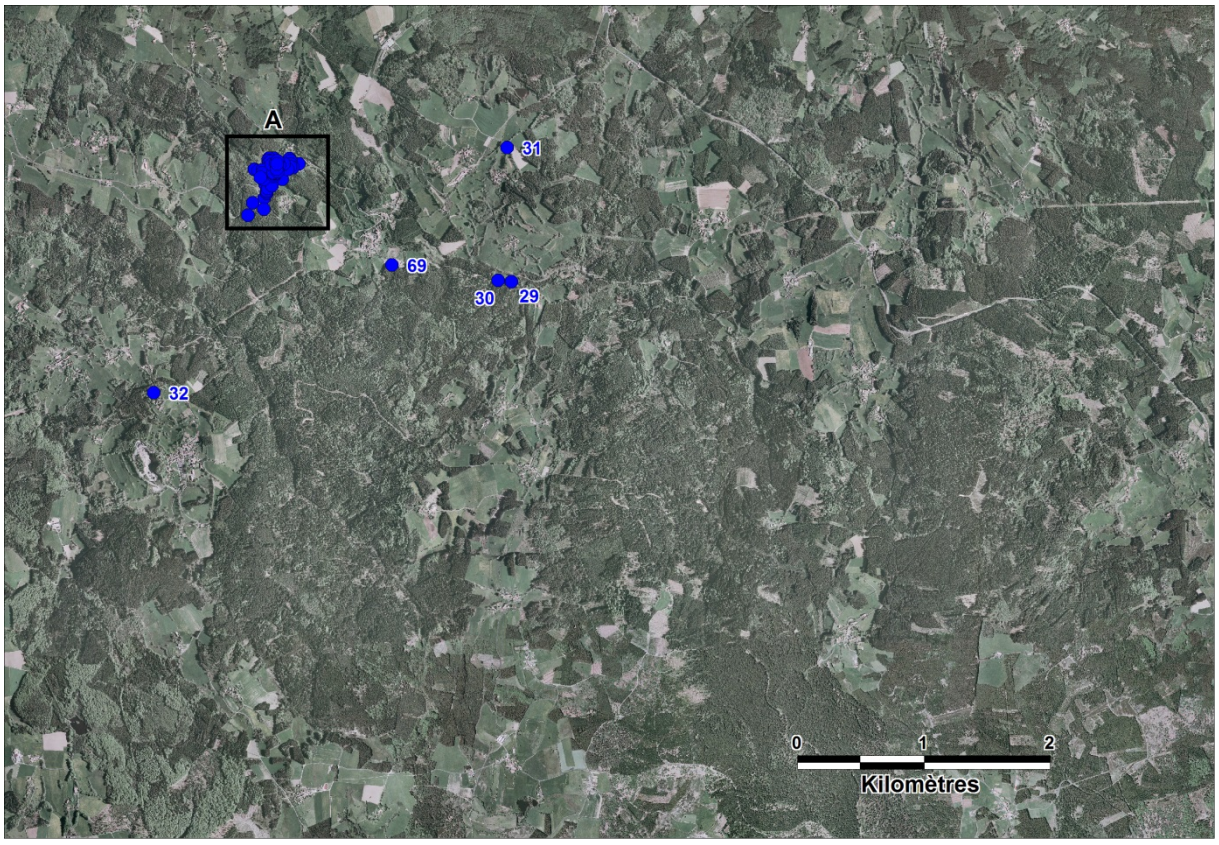
Végétaux (partie nord)



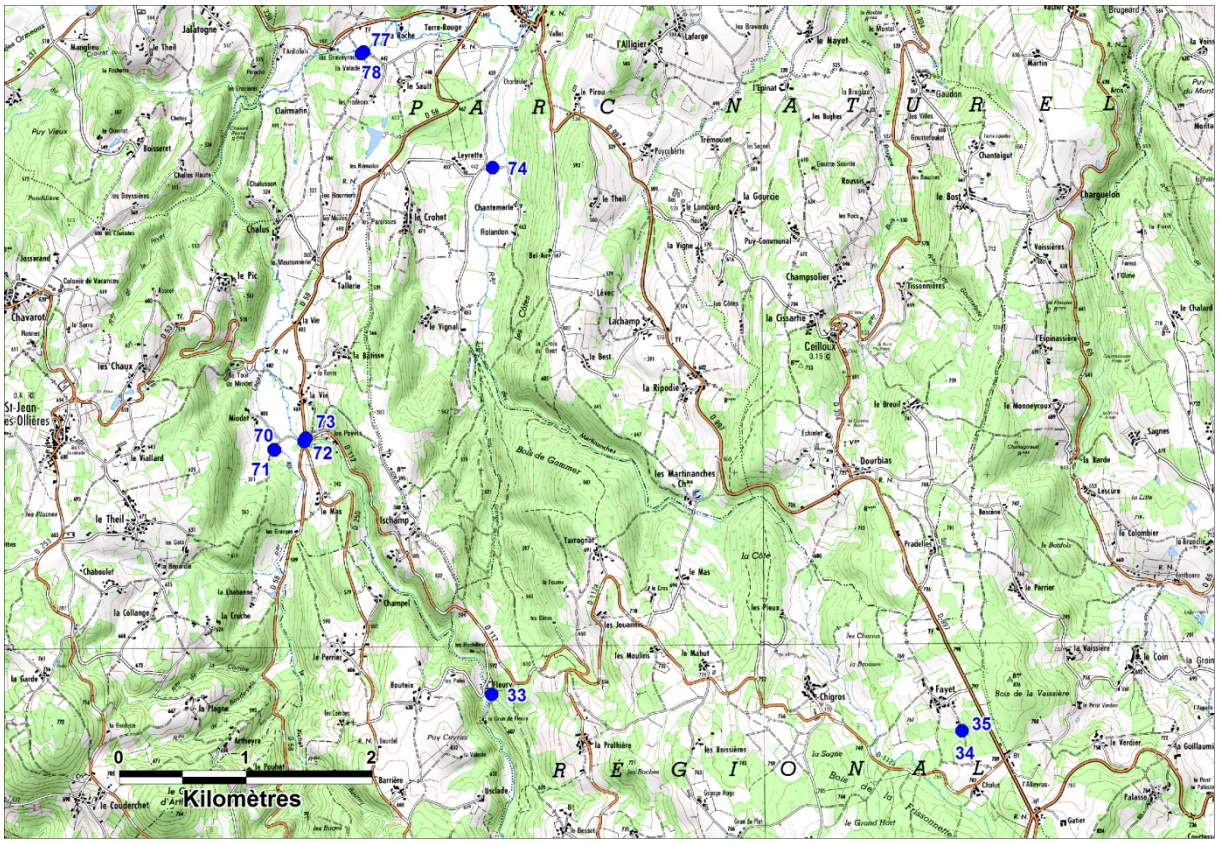


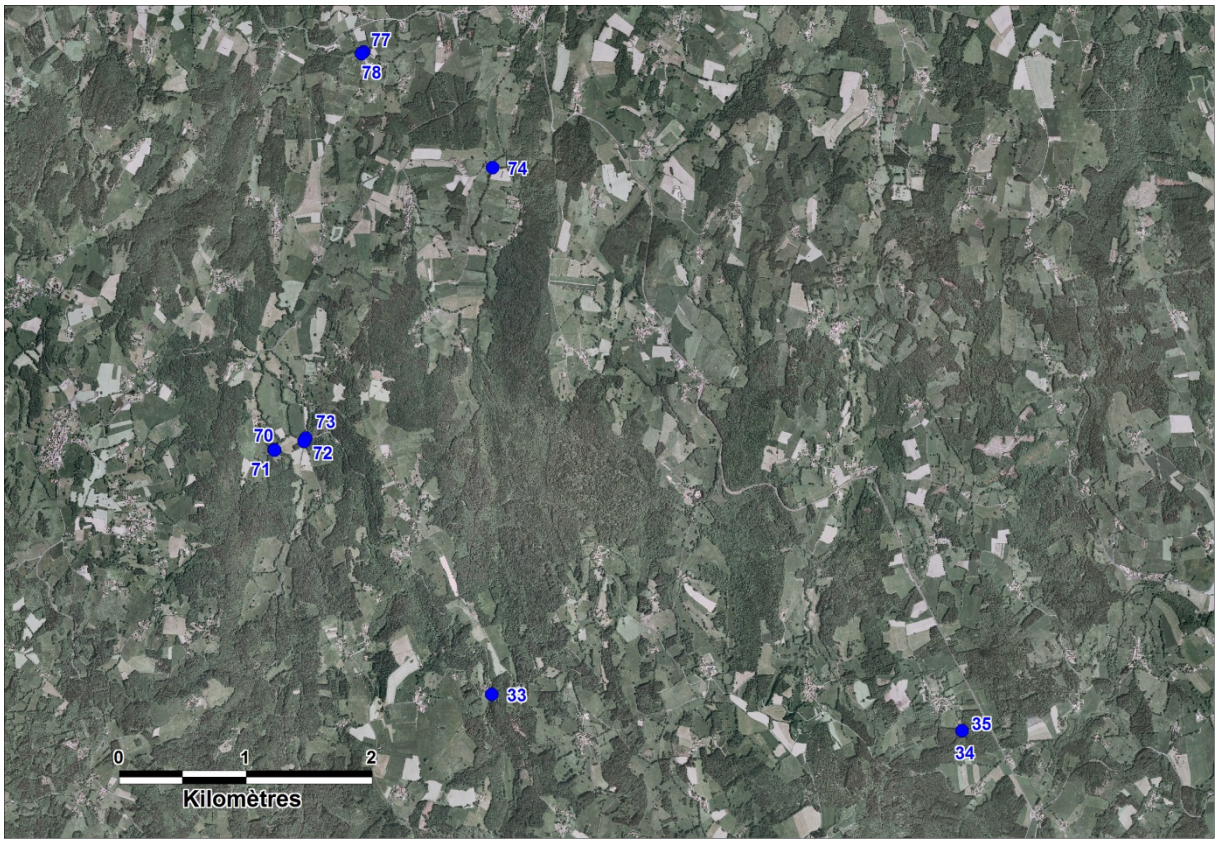
Mesures NITON® (partie sud)



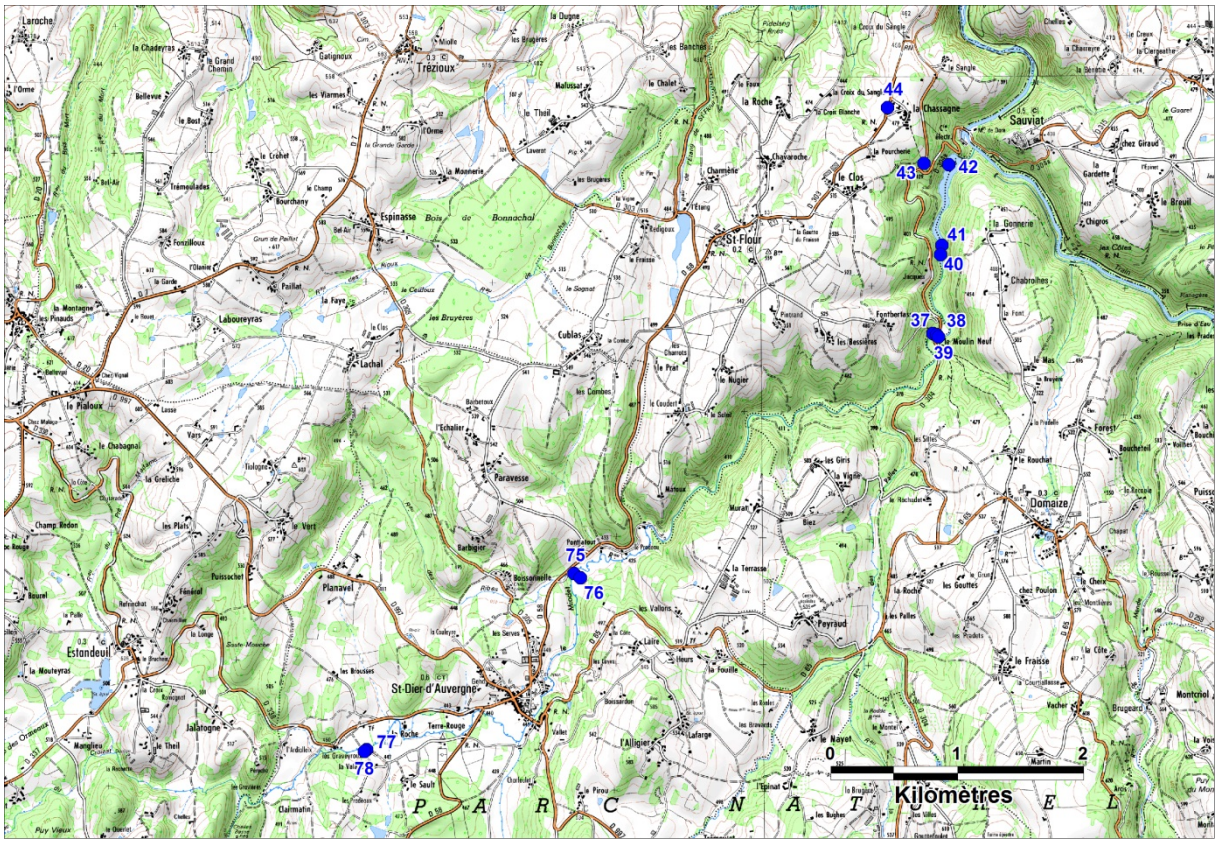


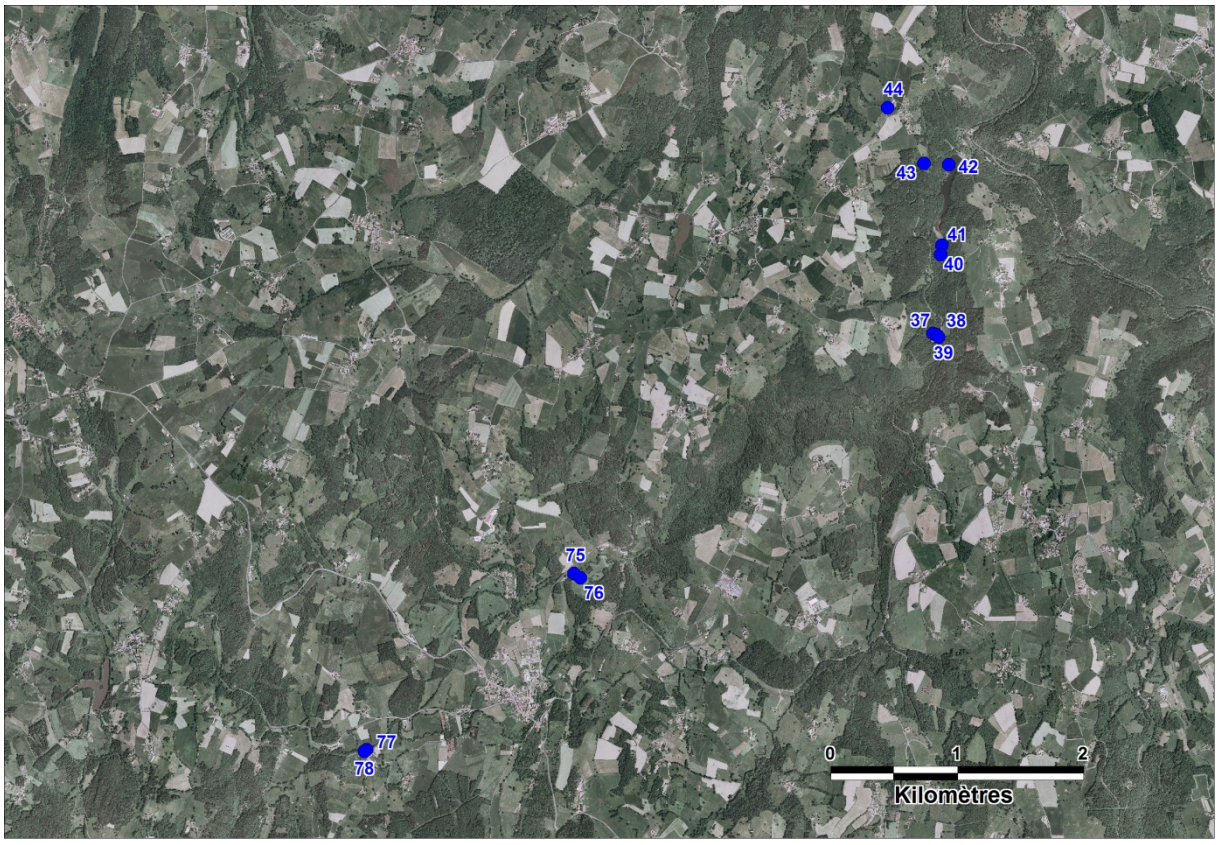
Mesures NITON® (partie centre)



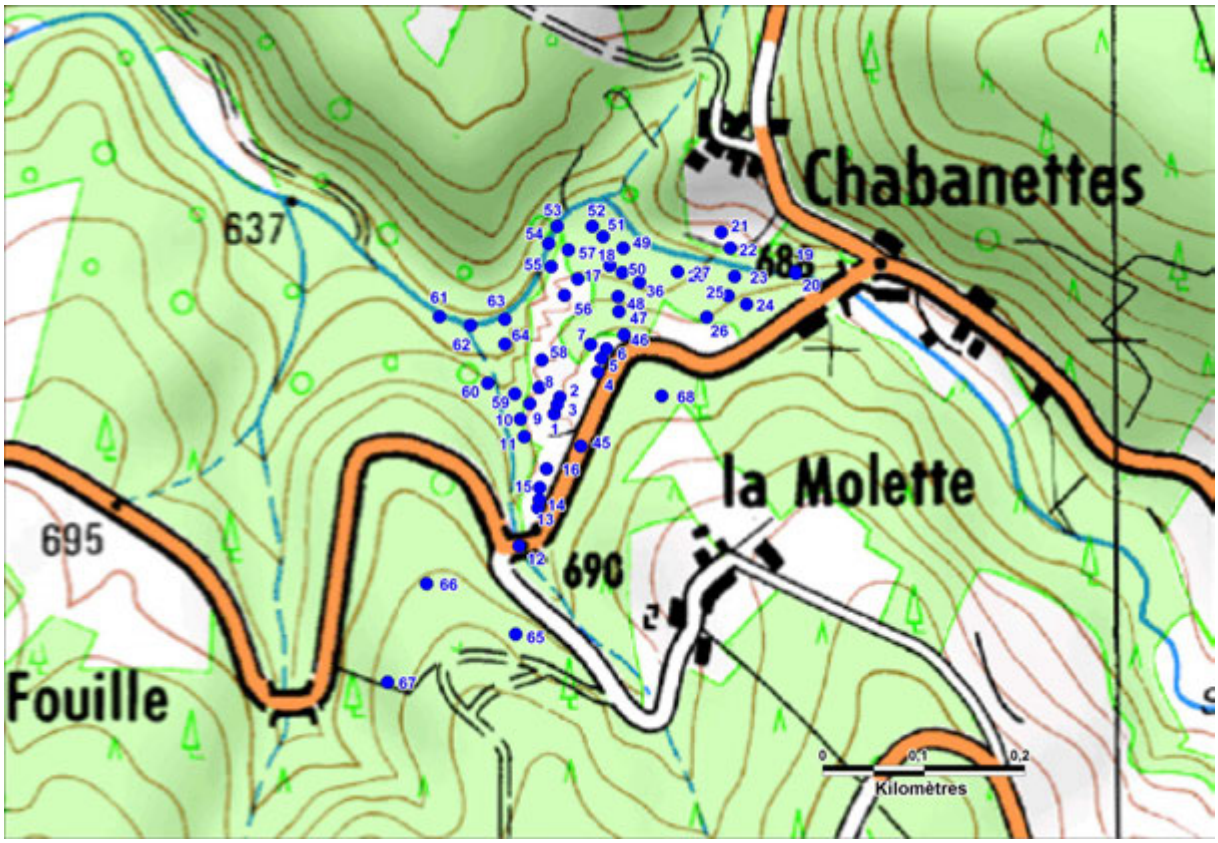


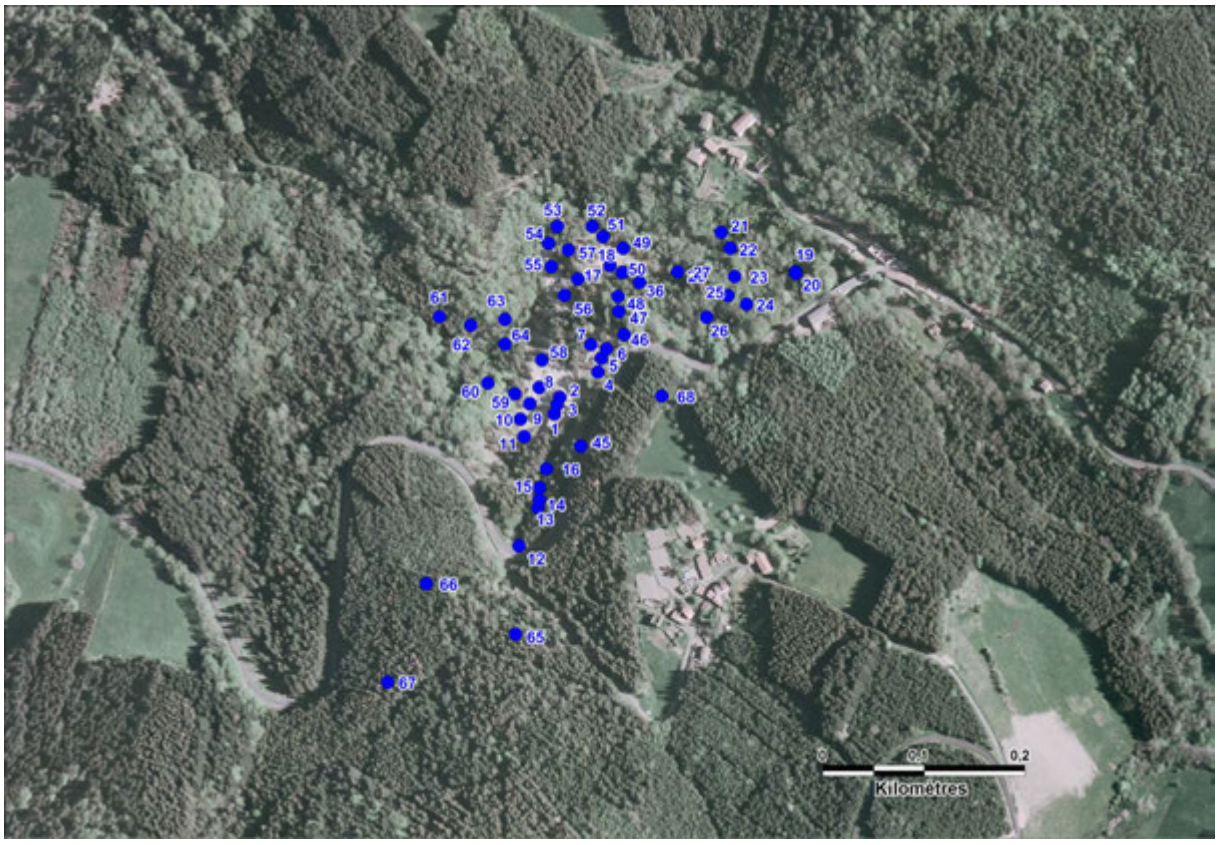
Mesures NITON® (partie nord)





Mesures NITON® (zoom de la zone de la Molette : zone A)





ANNEXE 3

Tableaux des prélèvements

Prélèvements de sols

désignation de l'échantillon (horizon en cm)	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	commentaires	Coordonnées X_L93	Coordonnées Y_L93	GPS_DATE	GPS_TIME (**)
AUZ-S-04-0-3	I	sable fin à moyen, beige marron de la halde de la Molette ; prélèvement composite de 3 points unitaires alignés (point GPS : le point central) ; (un échantillon également prélevé pour la caractérisation par l'INERIS de la bioaccessibilité 12AW671)	738941,18	6500821,86	10/09/2012	01:28:00pm
AUZ-S-04-0-10	I	sable fin à moyen de la halde de la Molette , beige marron avec quelques passées argileuses ; prélèvement composite de 3 points unitaire alignés (point GPS :	(*)			
AUZ-SOL-04-BIS	I	prélèvement en début d'une ravine de la halde de la Molette, petite trouée, sol très argileux, noirâtre bleuté, sans odeur ; (un échantillon également prélevé pour la caractérisation par l'INERIS de la bioaccessibilité 12AW673)	738941,86	6500825,27	10/09/2012	01:48:45pm
AUZ-S-05-BIS-0-3	I	sable fin à moyen de la halde de la Molette , ocre marron, prélèvement composite de 3 points unitaires	738934,82	6500854,09	10/09/2012	02:08:40pm
AUZ-S-05-BIS-0-10	I	sol ; composite de 3 points unitaires de la halde de la Molette	(*)			
AUZ-S-05-TER-15-35	I	sol gris noir, bleuté, très argileux, sans odeur de la halde de la Molette ; un point unitaire	(*)			
AUZ-S-06-0-3	I	sol sableux verdâtre grossier, probablement ravinement de la terrasse du bas de la halde de la Molette ; un seul prélèvement unitaire	738927,34	6500992,74	11/09/2012	09:22:20am
AUZ-S-06-3-30	I	sol sableux plus grossier que celui de l'horizon de 0 à 3 cm (AUZ-S-06-0-3), plus argileux à partir de 25 cm, avec des passées verdâtres, rouilles et noirâtres ; un composite de 2 prises unitaires ; très argileux au niveau du point proche de AUZ-S-08-TER	(*)			
AUZ-S-07-0-3	I	passée avec terre végétale, puis passée jaunâtre sableuse et passée verdâtre argileuse	739047,38	6500962,90	10/09/2012	03:52:10pm
AUZ-S-07-5-10	I	passée noirâtre, zone possible de "brulage" du charbon en bordure du Miodet	(*)			
AUZ-S-07-BIS-10-25	I	prélèvement sous les dix premiers centimètre d'humus, sable grossier et fin verdâtre avec une passée fine plus argileuse	739060,20	6500956,20	10/09/2012	03:59:25pm
AUZ-S-08-3-6	I	prélèvement sous les 3 cm d'humus, argile; composite de 2 points unitaires, l'un dans zone enherbée et l'autre dans zone plus humide	738955,13	6501003,86	11/09/2012	08:58:20am
AUZ-S-08-6-30	I	prélèvement sous-jacent au point AUZ-S-08-3-6 ; argile bleue, noir, ocre , composite de 2 points , l'un dans zone enherbée et l'autre dans zone plus humide	(*)			
AUZ-S-08-BIS-0-30	I	sol du tas prélevé sur le talus à 1 m de haut, avec des passées de sable très fin clair, avec des passées plus argileuses vertes, proche zone marécageuse dans les bassins, proche d'un des murets ; (un échantillon également prélevé pour la caractérisation par l'INERIS de la bioaccessibilité 12AL176)	738981,68	6500988,76	11/09/2012	09:00:10am
AUZ-S-08-TER-0-30	I	sol avec passées noirâtres, bloc placé dans le bocal de prélèvement en précisant au laboratoire d'effectuer un carottage dans le bocal ; très argileux, gris, ocre, rouille ; AUZ-S-08-TER situé au sud ouest de S-08 et au nord est de S-06	738938,00	6501006,69	11/09/2012	08:55:55am
AUZ-S-10-0-30	I	terre végétale du jardin potager de Fleury avec prélèvement de végétaux (AUZ-VEG-02)	737279,08	6503249,37	12/09/2012	09:11:05am
AUZ-S-14-0-10	I	terre végétale juste à l'entrée du champ, la barrière étant ouverte ; a été déplacé par rapport aux accès aux champs qui étaient clôturés. Un seul point de prélèvement	737191,26	6507214,73	14/09/2012	10:17:40am
AUZ-S-23-0-3	I	terre végétale, en bordure proche du pont ; composite de 3 points unitaires, dénivelé de 50 cm par rapport au cours d'eau et prairie en bordure à 1,5 m ; prélèvement d'herbes de prairie en parallèle (AUZ-VEG-01-H)	737311,65	6503132,28	12/09/2012	03:41:15pm
AUZ-S-27-0-10	I	terre végétale, composite de 2 points unitaires situés à 3 - 4 m du bord de la prairie en face de la maison ; la propriétaire mentionne que l'eau va parfois jusqu'au niveau bas de la prairie, parfois des branches au niveau du ponton ; avant il y avait des truites, mais maintenant absence en raison de la présence de plus en plus importante de sédiments ; en parallèle un prélèvement d'herbe de prairie (AUZ-VEG-16-H) et un prélèvement de sédiments sous le ponton (AUZ-SED-101)	735504,55	6507884,94	14/09/2012	11:13:45am
AUZ-S-29-0-10	I	terre végétale dans prairie en contrebas de la route, replat en bordure (pas de terrasse au niveau de l'eau), plus ou moins le même niveau que celui avec la présence de petits arbustes, herbes ; composite de 3 points unitaires	736534,32	6508447,15	14/09/2012	10:49:25am
AUZ-S-30-0-3	I	sable très fin, brun, pailleté, avec de la terre végétale à certains endroits ; prélèvement composite de 3 points unitaires dans la parcelle avec les bancs et tables, "aire de repos" à l'entrée sud de Saint-Dier d'Auvergne, en bordure du Miodet, avec parking face au stade le long du cours d'eau (prélèvements de sable dans la boucle AUZ-SED-30- M et F) ; pécheur à proximité	736939,49	6508293,86	11/09/2012	03:18:05pm
AUZ-S-30-BIS-0-3	I	un seul point de prélèvement dans la descente vers le cours d'eau (en parallèle prélèvements de sables AUZ-SED-30-F (berge opposée) et AUZ-SED-30-M (même berge) ; pécheur à proximité	736946,87	6508324,95	11/09/2012	03:28:40pm
AUZ-S-33-0-10	I	terre végétale de prairie ; en parallèle prélèvement d'herbes (AUZ-VEG-11-H), même prairie coté route par rapport au prélèvement AUZ-S-41 au bord de l'eau	(*)			
AUZ-S-34-0-30	I	terre végétale du jardin du Moulin Neuf ; en parallèle des prélèvements de végétaux (AUZ-VEG-12) et d'eau (AUZ-L-103)	(*)			
AUZ-S-35-0-3	I	terre végétale dans le sous-bois de La Molette, à mi pente	(*)			
AUZ-S-35-0-20	I	terre végétale dans le sous-bois de La Molette, à mi pente	(*)			
AUZ-S-36-0-10	I	terre végétale issue de la terrasse enherbée du haut située à l'arrière de la maison juste avant le pont de la Chaumette ; maison occupée uniquement pendant les vacances scolaires ; de l'eau arrive dans un bac à l'arrière de la propriété	739214,17	6500885,17	13/09/2012	10:13:15am
AUZ-S-37-0-20	I	terre végétale prélevée le long du Miodet longeant les bassins, en contrebas de la balançoire de la propriété de Chabanette	739085,96	6500966,41	10/09/2012	04:21:20pm
AUZ-S-39-0-10	I	sable moyen avec de la terre, en bordure du cours d'eau ; composite de 2 points unitaires (pas réalisé de prélèvement d'herbe initialement AUZ-VEG-15 car la prairie est située à plus de 2 mètres du cours d'eau)	735760,52	6505146,78	14/09/2012	08:01:20am
AUZ-S-41-0-10	I	sable moyen à fin avec un peu de terre végétale à une distance de 3 mètres du cours d'eau, ce dernier étant en contrebas de 1,5 m du niveau de la prairie ; présence de "paillettes dorées" ; prélèvement en parallèle d'herbes de prairie (AUZ-VEG-17-H)	(*)			
AUZ-S-42-0-3	I	sable beige, verdâtre, fin à moyen ; prélèvement composite de 4 points unitaires sur un arc de cercle sur la halde de la Molette	738928,81	6500968,46	11/09/2012	09:31:00am
AUZ-S-42-BIS-0-20	I	sable moyen à grossier, beige verdâtre, prélèvement sur la crête de la halde de la Molette, composite de 2 points unitaires sur la halde de la Molette	738929,72	6500951,66	11/09/2012	09:49:15am
AUZ-S-44 -0-3	I	sable ocre, moyen à grossier avec de fin gravillons en surface, prélevés dans une ravine, composite de 2 points unitaires ; présence de traces de motos à proximité	738908,27	6500822,09	10/09/2012	02:44:40pm
AUZ-S-48-0-3	I	sable grossier à fin, grisâtre, verdâtre (idem jusqu'à 30 cm mais non prélevé), composite de deux points unitaires espacés de plusieurs mètres (un échantillon également prélevé pour la caractérisation par l'INERIS de la bioaccessibilité 12AW674)	738995,87	6500967,55	10/09/2012	03:32:05pm

désignation de l'échantillon (horizon en cm)	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	commentaires	Coordonnées X_L93	Coordonnées Y_L93	GPS_DATE	GPS_TIME (**)
AUZ_S50	G	sol, prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S51	G	sol, prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S52	G	sol, prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S54	G	Sol prélevé en bordure du potager				
AUZ_S55	G	Prélèvement fait dans talus du chemin fraichement excavé ; prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S56	G	Prélèvement fait sur une taupiniere ; prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S57	G	Prélèvement effectue dans le talus du chemin forestier ; prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ_S58	G	Prélèvement de surface 0-5 cm				
AUZ-S-100-0-30	I	terre végétale du jardin potager d'Auzelles (au nord d'Auzelles), avec prélèvement de végétaux en parallèle (AUZ-VEG-100) et prélèvement de l'eau d'arrosage à la sortie sous le jardin dans le bac à poisson (4 m3/j) (AUZ-L-100)	739902,08	6500545,58	12/09/2012	11:22:40am
AUZ-S-101-0-30	I	terre végétale d'un jardin d'Auzelles (au centre d'Auzelles), composite de 3 points unitaires prélevés au niveau inférieur, milieu et bas du jardin ; avant était cultivé par la propriétaire, maintenant trop âgée qui le laisse à une voisine. Cette dernière l'arrose uniquement à l'eau de pluie et mange les légumes. Elle en donne quelques uns à la propriétaire. La propriétaire jusqu'à il y a une douzaine d'années, arrosait le jardin avec de l'eau prélevée juste au dessus de la maison, le long d'un chemin, l'eau sortant de la roche vers le sol ; prélèvement d'eau réalisé en parallèle (AUZ-L-101)	739844,33	6500514,72	12/09/2012	02:40:30pm
AUZ-S-102-0-30	I	terre végétale d'un jardin d'Auzelles (à l'entrée sud-est d'Auzelles), prélèvement composite (et référence INERIS pour la bioaccessibilité 12AW672) ; jardin depuis 3 ans, avant était une friche ; fumier de vache ; pas de prélèvement dans la zone sud est suite à l'usage de phytosanitaires ayant brulé les végétaux l'année précédente ; arrosage avec de l'eau issue d'une citerne et d'un prélèvement en hauteur au nord ; des prélèvements de végétaux ont également été réalisés (AUZ-VEG-102)	739646,79	6500331,94	12/09/2012	05:31:15pm
AUZ-S-104-0-10	I	terre végétale dans prairie, composite de 3 points unitaires	739045,00	6500565,55	13/09/2012	09:07:00am
AUZ-S-105-0-10	I	terre végétale dans prairie ; en parallèle des prélèvements d'herbes de prairie (AUZ-VEG-105-H) et d'eau (AUZ-L-105)	739033,88	6500528,57	13/09/2012	09:10:55am
AUZ-S-106-0-30	I	terre végétale du jardin de Chabanettes ; en parallèle des prélèvements de végétaux (AUZ-VEG-106)	739080,17	6501110,40	13/09/2012	11:05:00am
AUZ-S-107-0-10	I	terre végétale en forêt	(*)			
AUZ-S-108-0-3	I	terre végétale au droit de la platte forme avec la balancelle d'une des propriétés de la Chaumette, à proximité du Miodet	(*)			
AUZ-S-109-3-10	I	terre végétale en forêt, prélèvement sous les 3 premiers cm d'humus, à une vingtaine de mètres du cours d'eau	(*)			
AUZ-S-110-0-3	I	terre végétale à nu en bordure de la berge de l'étang, composite de 4 points unitaires alignés	740876,94	6501525,32	13/09/2012	02:35:10pm
AUZ-S-111-0-3	I	terre végétale avec des herbes de la prairie arrivant sur la berge accessible (cf. point 110) ; composite de 4 points unitaires en carré dans la prairie en bordure de l'étang, à proximité des traces de feu de bois	740871,16	6501500,36	13/09/2012	02:37:00pm
AUZ-S-112-0-30	I	terre végétale d'un jardin potager de Chabanette (maison bleue) ; composite de 3 points unitaires, arrosage uniquement avec de l'eau de pluie ; en 2011 le propriétaire avait arrosé avec de l'eau du "captage" juste sur la placette, mais uniquement les fleurs	739099,00	6501052,98	14/09/2012	07:12:20am
AUZ-S-113-0-3	I	terre végétale de la pelouse du jardin de Chabanette (maison bleue), absence d'herbe (d'après le propriétaire, c'était dans le passé le parc du cochon)	(*)			
AUZ-S-114-0-10	I	terre végétale de prairie, composite de 3 points unitaires ; à côté de la prairie avec les taureaux, face au point AUZ-S-39-0-10	735750,99	6505148,71	14/09/2012	08:15:40am
AUZ-S-115-0-10	I	terre sableuse, avec graviers fins issus de l'alétération de la roche, en bordure du chemin montant à l'ouest vers la terrasse du restaurant de Chabanette ; composite de 3 points unitaires dans le talus du chemin ; le propriétaire mentionne que les touristes vont se promener dans la forêt vers le haut pour lequel il a aménagé un chemin de promenade, mais il souhaite également aménager un parcours vers le bas, le long du cours d'eau ; son établissement reçoit des enfants, une dizaine par an, parfois âgés de 2 ans ; n'achète pas de gibier local.	739209,06	6501001,81	14/09/2012	09:10:50am

Légende

(*) : dans certains cas, le nombre de satellites n'étant pas suffisant, absence de coordonnées GPS, point replacer manuellement sur fond de carte

(**) : Remarque : les heures données par le GPS sont décalées d'une heure avec l'heure locale.

Prélèvements de sédiments

désignation de l'échantillon	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	commentaires
AUZ_SED01	G	Prélèvement effectué dans Miodet en amont immédiat des résidus de la Molette : sédiments
AUZ_SED01G	G	Prélèvement effectué dans Miodet en amont immédiat des résidus de la Molette : sables
AUZ_SED01B	G	Prélèvement effectué dans le Miodet, en sortie de la résurgence minière de la Molette : oxyhydroxydes de fer
AUZ_SED02	G	Prélèvement effectué dans Miodet à l'aplomb des résidus de la Molette (partie ouest) : sédiments
AUZ_SED02G	G	Prélèvement effectué dans Miodet à l'aplomb des résidus de la Molette (partie ouest) : sables
AUZ_SED03	G	Prélèvement effectué dans Miodet en aval immédiat des résidus de la Molette : sédiments
AUZ_SED03G	G	Prélèvement effectué dans Miodet en aval immédiat des résidus de la Molette : sables
AUZ_SED03J	G	Prélèvement effectué dans Miodet en aval immédiat des résidus de la Molette : sédiment qui se caractérise par sa couleur plus jaunâtre que les autres échantillons.
AUZ_SED05	G	Prélèvement effectué dans Miodet en amont du site de la Molette , à environ 1 km en amont du village d'Auzelles : sédiment
AUZ_SED05G	G	Prélèvement effectué dans Miodet en amont du site de la Molette , à environ 1 km en amont du village d'Auzelles : sable
AUZ_SED07	G	Prélèvement effectué dans Miodet au niveau du lieu dit "Moulin Neuf" : sédiment
AUZ_SED07G	G	Prélèvement effectué dans Miodet au niveau du lieu dit "Moulin Neuf" : sable
AUZ_SED08	G	Prélèvement effectué en queue de la retenue du Miodet (partie Sud) : sédiment
AUZ_SED08G	G	Prélèvement effectué en queue de la retenue du Miodet (partie Sud) : sable
AUZ_SED10	G	Prélèvement effectué dans la partie nord de la retenue du Miodet: sédiment
AUZ_SED10_120	G	Prélèvement effectué dans la partie nord de la retenue du Miodet ; Prélèvement à la tarière à 1.20 m de profondeur : sédiment
AUZ_SED09	G	Prélèvement effectué dans la partie sud de la retenue du Miodet : sédiment
AUZ_SED11G	G	Prélèvement effectué dans Miodet, non loin de sa source : sable
AUZ_SED15	G	Prélèvement effectué sur le ruisseau de Lagas, juste en amont de la confluence avec le Miodet : sédiment
AUZ_SED15G	G	Prélèvement effectué sur le ruisseau de Lagas, juste en amont de la confluence avec le Miodet. Prélèvement effectué dans le passage à gué de la piste : sable
AUZ_SED17	G	Prélèvement effectué sur le Miodet en aval immédiat de la confluence avec le ruisseau des Ribes (aval St Dier d'Auvergne) : sédiment
AUZ_SED17G	G	Prélèvement effectué sur le Miodet en aval immédiat de la confluence avec le ruisseau des Ribes (aval St Dier d'Auvergne) : sable
AUZ_SED18	G	Prélèvement effectué au niveau du Miodet au niveau du hameau de La Valade (amont St Dier d'Auvergne) : sédiment
AUZ_SED18G	G	Prélèvement effectué au niveau du Miodet au niveau du hameau de La Valade (amont St Dier d'Auvergne) : sable
AUZ-SED-100	I	Matériau fin à moyen, prélevé en bordure, dans une hauteur d'eau de 30 à 40 cm ; au niveau du ruisseau du Miodet face au point AUZ-S-39
AUZ-SED-101	I	Matériau fin à moyen prélevé au niveau du Miodet sous le ponton proche de la maison en face du prélèvement de sol (AUZ(S-27-0-10) et de l'herbe de prairie (AUZ-VEG-16-H)
AUZ-SED-30-F	I	Sable prélevé dans la boucle du Miodet, berge opposée, en bordure de "l'aire de repos" à l'entrée sud de Saint-Dier d'Auvergne ; présence d'un pêcheur à proximité
AUZ-SED-30-M	I	Sable prélevé dans la boucle du Miodet, berge en bordure de "l'aire de repos" à l'entrée sud de Saint-Dier d'Auvergne ; présence d'un pêcheur à proximité

Prélèvements d'eaux superficielles

désignation de l'échantillon	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	commentaires
AUZ_L01	G	Prélèvement effectué dans le Miodet en amont immédiat de la zone de la Molette
AUZ_L02	G	Prélèvement effectué dans le Miodet à l'aplomb de la zone de la Molette (partie W)
AUZ_L03	G	Prélèvement effectué dans le Miodet en aval immédiat de la zone de la Molette
AUZ_L04	G	Prélèvement effectué sur petit affluent du Miodet, sous le pont de la route. Dépôts jaunâtres. Débit très faible, non mesurable car bcp végétation. Ecoulement qui peuvent être rattaché aux travaux miniers de la Fouille
AUZ_Mesu1	G	Mesure sans prélèvement. Réalisé en amont immédiat de la résurgence de la Molette
AUZ_L05	G	Prélèvement effectué dans Miodet, en amont du village d'Auzelles, à environ 1 km de ce dernier
AUZ_L06	G	Prélèvement effectué dans Miodet, au niveau du lieu-dit "Fleury"
AUZ_L07	G	Prélèvement effectué dans Miodet, au niveau du lieu-dit "Moulin Neuf"
AUZ_L08	G	Prélèvement effectué au niveau de la queue de la retenue du Miodet (partie Sud)
AUZ_L10	G	Prélèvement effectué au niveau de la retenue du Miodet (partie Nord)
AUZ_L11	G	Prélèvement effectué dans le Miodet, non loin de sa source. Mesure de débit avec bcp d'incertitude (mesure difficile du fait de la configuration des lieux). Bcp de graviers idem à ceux observés sur tout l'aval du Miodet
AUZ_L12	G	Prélèvement effectué au niveau d'un petit affluent du Miodet, avant son passage sous la route ; débit difficile à évaluer du fait d'une importante végétation
AUZ_L13	G	Prélèvement effectué au niveau d'un ruisseau affluent du Miodet et qui coule en contre bas du virage de la route
AUZ_L14	G	Prélèvement effectué dans le ruisseau du Croizat.
AUZ_L15	G	Prélèvement effectué au niveau du ruisseau de Lagas, juste en amont de la confluence avec le Miodet. Très faible écoulement le jour du prélèvement. Eau presque stagnante avec plein de débris végétau.
AUZ_L16	G	Prélèvement effectué sur le ruisseau de Martinanches au niveau du hameau de Leyrette. Débit estimé avec beaucoup d'incertitude
AUZ_L17	G	Prélèvement effectué au niveau Miodet en aval immédiat de la confluence avec le ruisseau des Ribes (aval St-Dier-d'Auvergne)
AUZ_L18	G	Prélèvement effectué sur le Miodet au niveau du hameau de La Valade (amont St Dier d'Auvergne)
AUZ_L19	G	Prélèvement effectué sur le ruisseau de Palles. Pas de mesure de débit possible. Prélèvement 1.5 l non filtré (échantillon non analysé)
AUZ-L-105	I	Prélèvement effectué dans petit cours d'eau affluent du Miodet à proximité des prélèvements de sol (AUZ-S-105-0-10) et d'herbes de prairies (AUZ-VEG-105-H); lieu-dit la Molette
AUZ-L-103	I	Prélèvement effectué dans Miodet au niveau du jardin du lieu-dit "Moulin Neuf" ; en parallèle des prélèvements de végétaux (AUZ-VEG-12) et de sol (AUZ-S-34-0-30)
AUZL-110	I	Prélèvement effectué dans l'étang situé le long de la nationale N 996 entre « le Verveil » et « la Souche »; en parallèle des prélèvements de sol (AUZ-S-110 et 111)

Prélèvements d'eaux souterraines

désignation de l'échantillon	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	Milieu : eau souterraine (ESOUT)	commentaires
AUZ_LS01	G	ESOUT	Nombreux précipités oranges. Odeur de soufre. Rejet apparemment lie a une résurgence minière (galerie éboulée; niveau 3)
AUZ_LS02	G	ESOUT	Résurgence qui sort devant une habitation en contre bas de la route. Déversement dans un abreuvoir
AUZ_LS03	G	ESOUT	Eau directement prélevée dans puits minier : trou de prélèvement environ 20 cm de diamètre. Eau a environ 60 cm de la surface. Présence d'un trop plein
AUZ_LS04	G	ESOUT	Fontaine en face de l'église
AUZ_LS05	G	ESOUT	Résurgence dans le village de Chabanette. Présence d'un petit tuyau de captage sur la source (diamètre d'un tuyau d'arrosage classique)
AUZ_LS06	G	ESOUT	Résurgence chez un particulier. Sort en pied de muret en pierre
AUZ_LS08	G	ESOUT	Fontaine en face du cimetière d'Auzelles. Captée au niveau de la Fayette d'après le maire. Débit très variable : la fontaine ne coulait pas la veille du prélèvement
AUZ-L-100	I	ESOUT	eau d'arrosage du jardin potager "100" d'Auzelles (au nord d'Auzelles) à la sortie sous le jardin dans le bac à poisson (4 m3/j) avec également en parallèle des prélèvements de sol (AUZ-S-100) et de végétaux (AUZ-VEG-100)
AUZ-L-101	I	ESOUT	eau au niveau du chemin situé juste au -dessous de la maison (sort de la roche vers le sol) ; eau utilisée dans le passée pour l'arrosage du jardin "101" au centre d'Auzelles, en parallèle prélèvement de sol (AUZ-S-101)
AUZ-L-102	I	ESOUT	eau d'arrosage du jardin potager "102" d'Auzelles (à l'entrée sud-est d'Auzelles), avec également en parallèle des prélèvements de sol (AUZ-S-102-0-30) et de végétaux (AUZ-VEG-102)

Prélèvements de végétaux

désignation de l'échantillon	prélèvement réalisé par GEODERIS (G) ou INERIS (I)	matrice : végétaux potagers ou herbes de prairie	commentaires
AUZ-VEG-106-BLE-T	I	tiges de blette	jardin potager "106" de Chabanettes, en parallèle prélèvement de sol AUZ-S-106-0-30 ; absence des propriétaires
AUZ-VEG-106-BLE-F	I	feuilles de blette	
AUZ-VEG-12-POIR-T	I	tiges/blancs de poireau	jardin potager "12" du Pont Neuf ; en parallèle prélèvement de sol AUZ-S-34-0-30 ; absence des propriétaires
AUZ-VEG-12-POIR-F	I	feuilles de poireau	
AUZ-VEG-12-CAR	I	carottes	
AUZ-VEG-102-SAL	I	salade	jardin potager "102" d'Auzelles (à l'entrée sud-est d'Auzelles) avec en parallèle un prélèvement de sol composite (AUZ-SOL-102-0-30 et référence INERIS pour la bioaccessibilité (12AW672) ; jardin depuis 3 ans, avant une friche ; fumier de vache ; pas de prélèvement dans la zone sud est suite à l'usage de phytosanitaires ayant brulé les végétaux l'année précédente ; arrosage avec de l'eau issue d'une citerne et d'un prélèvement en hauteur au nord ; des prélèvements pour analyses INERIS de bioaccessibilité (carottes (12AL178) ; bettraves (12AL180) ; feuilles de poireaux (12AL182) ; présence des propriétaires
AUZ-VEG-102-POIR-F	I	feuilles de poireau	
AUZ-VEG-102-POIR-T	I	tiges/blancs de poireau	
AUZ-VEG-102-BE	I	betteraves	
AUZ-VEG-102-CAR	I	carottes	
AUZ-VEG-102-BRO	I	brocoli	
AUZ-VEG-102-CORN	I	cornichon	
AUZ-VEG-02-SAL	I	salade	jardin potager "02" du lieu-dit "Fleury" ; arrosage avec l'eau du cours d'eau d'après la voisine ; en parallèle du prélèvement de sol (AUZ-S-10) ; absence des propriétaires, prélèvements en présence du Maire
AUZ-VEG-02-COU	I	courgettes	
AUZ-VEG-02-TOM	I	tomates	
AUZ-VEG-02-CIT	I	citrouille	
AUZ-VEG-100-CAR	I	carottes	jardin potager "100" d'Auzelles (au nord d'Auzelles) arrosé avec de l'eau souterraine prise en sortie sous le jardin dans un bassin avec quelques poisson (4 m3/j (AUZ-L-100); en parallèle prélèvement de sol (AUZ-S-100-0-30) ; présence des propriétaires
AUZ-VEG-100-PDT-B	I	pommes de terre (Belle Fontenay)	
AUZ-VEG-100-PDT-R	I	pommes de terre (Rouge Roseval)	
AUZ-VEG-100-CHOU	I	choux	
AUZ-VEG-100-SAL	I	salade	
AUZ-VEG-100-POIR-F	I	feuilles de poireau	
AUZ-VEG-100-POIR-T	I	tiges/blancs de poireau	
AUZ-VEG-01-H	I	herbes de prairie	prélèvement dans prairie avec en parallèle un prélèvement de terre végétale dans la prairie (AUZ-S-23-0-3)
AUZ-VEG-105-H	I	herbes de prairie	prélèvement dans prairie avec en parallèle un prélèvement de terre végétale dans la prairie (AUZ-S-105-0-10) et le prélèvement d'eau de surface (AUZ-L-105)
AUZ-VEG-16-H	I	herbes de prairie	prélèvement dans prairie avec en parallèle un prélèvement de terre végétale dans la prairie (AUZ-S-27-0-10) proche de la maison et du ponton ; également prélèvement de sédiment sous le ponton (AUZ-SED-101) ; (a été retenu le numéro initialement indiqué avec le prélèvement AUZ-S-40 car ce dernier n'a pas été effectué)
AUZ-VEG-17-H	I	herbes de prairie	prélèvement dans prairie avec en parallèle un prélèvement de terre végétale dans la prairie (AUZ-S-41-0-10), à 3 m du bord de l'eau dont le niveau est en contrebas de 1,5 m
AUZ-VEG-11-H	I	herbes de prairie	prélèvement dans prairie avec en parallèle un prélèvement de terre végétale dans la prairie (AUZ-S-33-0-30)

ANNEXE 4

Illustrations photographiques des prélèvements de résidus miniers, de sols et de sédiments

a) Exemples de prélèvements de résidus miniers

Zone des dépôts de résidus de la Molette, zone supérieure

Zone des dépôts de résidus de la Molette, zone supérieure

Zone des dépôts de résidus de la Molette, zone supérieure (horizon avec passées de couleur grisâtre à bleutée, texture argileuse)

Zone des dépôts de résidus de la Molette, flanc ouest

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur ouest

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur ouest

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur du coté supposé du stockage de charbon

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur du côté du stockage de charbon

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur entre la zone de stockage de charbon et les bassins

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur proche de la zone des bassins

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur, zone des bassins

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur, zone des bassins

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur

Zone des dépôts de résidus de la Molette, replat inférieur

b) Exemples de prélèvements de sols

Parcelle située juste au niveau du pont du lieu-dit « Chabanettes »

Zone en forêt à l'est des lieux-dits « Chabanettes » et « la Molette »

Chemin conduisant à la terrasse du restaurant/hôtel de Chabanettes

Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier-d'Auvergne

Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier-d'Auvergne

Zone au nord-est d'Auzelles, étang le long de la nationale N 996 entre « le Verveil » et « la Souche »

Zone au nord-est d'Auzelles, étang le long de la nationale N 996 entre « le Verveil » et « la Souche »

c) Exemples de prélèvements de sédiments

Zone de l'aire de repos et pique-nique à l'entrée sud est de Saint-Dier d'Auvergne

Zone au lieu-dit les « 'Gravières »

d) Exemples de prélèvements de végétaux potagers et herbes de prairies

Jardin potager de Fleury (AUZ-VEG-02)

Jardin potager de Fleury (AUZ-VEG-02)

Jardin potager d'Auzelles (haut d'Auzelles) AUZ-VEG-100

Jardin potager d'Auzelles (haut d'Auzelles) AUZ-VEG-100

Jardin potager d'Auzelles (haut d'Auzelles) et arrivée d'eau dans le bassin AUZ-VEG-100

Jardin potager d'Auzelles (haut d'Auzelles) et arrivée d'eau dans le bassin :AUZ-VEG-100 et AUZ-L-100

Jardin potager d'Auzelles (centre d'Auzelles) AUZ-S-101

Jardin potager d'Auzelles (centre d'Auzelles) AUZ-S-101, point d'eau

Jardin potager d'Auzelles (à l'entrée sud d'Auzelles) AUZE-VEG-102

Jardin potager d'Auzelles (à l'entrée sud d'Auzelles) AUZE-VEG-102

Prairie située à l'est des lieux-dits « Chabanettes » et « la Molette »

Parcelle juste avant le pont du lieu-dit « Chabanettes »

Jardin potager du lieu-dit « Chabanettes » AUZ-VEG-106

Jardin potager du lieu-dit « Chabanettes » AUZ-VEG-106

Jardin potager du lieu-dit « Chabanettes » AUZ-S-112

Jardin potager du lieu-dit « Chabanettes » AUZ-S-112

Zone de prairie

Zone de prairie

ANNEXE 5

Les mesures NITON®

Résultats des mesures

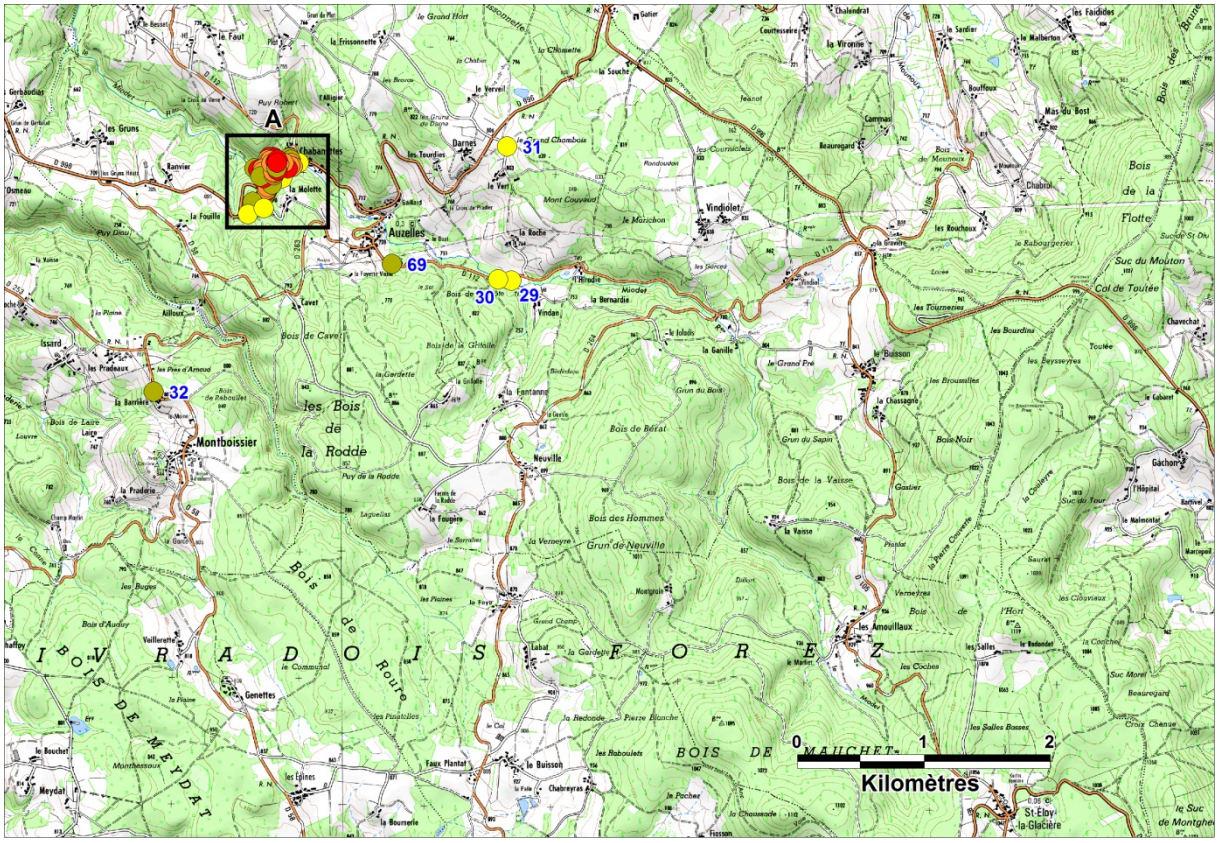
Echantillon	N° Carte	description	Cd	Ag	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cr
auz-12-sol-n1	1	résidu de traitement avec fines jaunâtres en sommet du tas amont du dépôt principal	< LOD	< LOD	7723	< LOD	1119	6839	< LOD	282
auz-12-sol-n2	2	résidu de traitement avec fines jaunâtres à orangées en sommet du tas amont du dépôt principal	< LOD	< LOD	7033	< LOD	1316	6258	266	300
auz-12-sol-n3	3	résidu argileux bleuté proche sommet du tas dans début de ravine	269	61	72569	802	11239	22122	1383	317
auz-12-sol-n4	4	résidu de traitement avec fines orangées en sommet de tas en bordure de route	< LOD	< LOD	8302	927	265	10028	< LOD	190
auz-12-sol-n5	5	résidu de traitement avec fines jaunâtres à orangées en sommet de tas partiellement végétalisé en aval de la route	< LOD	< LOD	9922	672	436	11589	< LOD	248
auz-12-sol-n6	6	résidu de traitement avec fines jaunâtres à orangées sur tas partiellement végétalisé en aval de la route (sous virage)	< LOD	29	7328	524	947	12663	303	214
auz-12-sol-n7	7	résidu de traitement fin jaunâtre à orangé sur sommet de tas en aval de n6	< LOD	27	9318	937	832	10985	< LOD	220
auz-12-sol-n8	8	résidu de traitement fin argileux grisâtre à marron, en aval du tas principal (sous n2) sur terrasse	52	28	24639	< LOD	4578	13885	384	342
auz-12-sol-n9	9	résidu de traitement fin jaunâtre à orangé sur terrasse en aval de n1	< LOD	< LOD	12098	610	1308	9472	268	277
auz-12-sol-n10	10	résidu de traitement fin jaunâtre à orangé en pied de tas en bordure du ruisseau à sec en aval de n1	54	39	14597	950	1245	8874	280	258
auz-12-sol-n11	11	résidu fin argileux gris clair dans ruisseau à sec proche de n10	< LOD	27	11260	732	2047	11670	197	319
auz-12-sed-n12*	12	sédiment fin humide dans ruisseau sous le pont de la route	< LOD	< LOD	163	730	237	42613	508	< LOD
auz-12-sol-n13	13	terre fine humide sous couvert végétal dans partie boisée en amont des tas devant galerie bouchée	< LOD	< LOD	261	351	86	14223	169	147
auz-12-sol-n14	14	résidu fin blanc à jaunâtre sous léger couvert végétal dans partie boisée en bordure de la galerie bouchée	< LOD	36	10895	1648	423	19528	< LOD	158
auz-12-sol-n15	15	résidu argileux blanchâtre sous couvert végétal dans clairière entre la galerie bouchée et les tas côté route	< LOD	< LOD	5609	244	146	6396	< LOD	191
auz-12-sol-n16	16	terre marron en aval de n15 sur sol peu végétalisé dans partie boisée	< LOD	38	3600	486	210	11280	< LOD	265
auz-12-sol-n17	17	résidu de traitement orangé humide sur sommet de tas	< LOD	< LOD	9218	456	603	10213	< LOD	236
auz-12-sol-n18	18	résidu fin marron humide sur plate-forme en aval des tas et sur sentier menant à la zone de bassins de la laverie	< LOD	< LOD	10197	426	296	11132	201	211
auz-12-sed-n19	19	sédiment fin marron sur banc de sable dans le Miodet en amont des ruines	< LOD	< LOD	26	218	47	7106	239	192
auz-12-sed-n20*	20	sédiment fin marron prélevé dans le Miodet en amont des ruines	< LOD	< LOD	99	531	220	30667	988	< LOD
auz-12-sol-n21	21	terre marron humide en bas d'un escalier menant au hameau de Chabanne, rive droite du Miodet	< LOD	< LOD	246	207	110	17252	273	125
auz-12-sol-n22	22	terre fine grise sur petit tas sous couvert végétal dans forêt rive droite du Miodet en face des ruines	< LOD	< LOD	125	353	687	18314	1331	308
auz-12-sol-n23	23	résidu fin marron dans les ruines sous couvert végétal et boisé	< LOD	< LOD	9786	894	482	19105	< LOD	167
auz-12-sol-n24	24	résidu fin marron à grisâtre sous couvert végétal en amont de la laverie	< LOD	< LOD	1710	248	177	19255	263	143
auz-12-sol-n25	25	résidu fin grisâtre à marron sur tas végétalisé au dessus de la zone de bassins	< LOD	28	6044	887	235	9487	< LOD	187
auz-12-sol-n26	26	résidu fin argileux humide dans le bassin supérieur muré	< LOD	33	10289	944	1673	16044	359	195
auz-12-sol-n27	27	résidu argileux grisâte en fond de carottage (1,00 à 1,40 m) dans bassin en bordure du Miodet en aval des ruines (sous n28)	< LOD	< LOD	388	192	631	13204	< LOD	182
auz-12-sol-n28	28	résidu jaunâtre sur carottage (0,20 à 1,00 m) dans bassin en bordure du Miodet en aval des ruines	< LOD	49	8671	709	338	6603	< LOD	263
auz-12-sed-n29*	29	sédiment fin marron prélevé dans le Miodet en amont d'Auzelles sous ancien pont	< LOD	< LOD	68	439	195	27702	957	< LOD
auz-12-sed-n30	30	sable fin dans Miodet en amont d'Auzelles et en aval de n29	< LOD	< LOD	61	189	61	10722	224	146
auz-12-sol-n31	31	terre marron séche sur talus du chemin menant au lieu-dit "le Vert" situé en amont d'Auzelles	< LOD	< LOD	80	440	180	23336	410	142
auz-12-sol-n32	32	terre marron proche de la fontaine "Les prés d'Arnoud" située sous la route menant à Montboissier	< LOD	< LOD	353	138	105	14529	183	173
auz-12-sed-n33*	33	sédiment dans Miodet en aval des résidus miniers au lieu-dit "Fleury"	< LOD	33	6078	491	745	23765	618	< LOD
auz-12-sol-n34	34	terre marron en bordure d'un puit de recherche bétonné dans champs au lieu-dit "Fayet"	< LOD	< LOD	289	549	192	23819	470	138
auz-12-sol-n35	35	terre argileuse orangée en bordure d'un puit de recherche bétonné dans champs au lieu-dit "Fayet"	< LOD	< LOD	121	1853	171	36071	705	117
auz-12-sol-n36	37	résidu marron sur carottage (1,00 à 1,20 m) dans bassin de décantation circulaire avec petit muret en aval des ruines	< LOD	< LOD	1444	137	997	26590	268	185
auz-12-sed-n37*	37	sédiment fin marron dans le Miodet au lieu dit "Moulin Neuf"	< LOD	< LOD	1231	230	511	34415	1159	< LOD

Echantillon	N° Carte	description	Cd	Ag	Pb	As	Zn	Fe	Mn	Cr
auz-12-sed-n38	38	sable fin grisâtre dans le Miodet sous le pont du "Moulin Neuf"	< LOD	< LOD	290	69	81	12026	226	161
auz-12-sol-n39	39	sable fin grisâtre sur berge en aval du pont du "Moulin Neuf"	< LOD	26	249	43	63	9863	211	143
auz-12-sed-n40*	40	sédiment fin sur berge du Miodet en queue de barrage de Sauviat	< LOD	< LOD	978	244	327	38798	1103	< LOD
auz-12-sed-n41*	41	sédiment fin (épaisseur de 1 m) sur berge végétalisée en queue de barrage de Sauviat	< LOD	< LOD	282	50	62	14949	271	78
auz-12-sed-n42*	42	sédiment fin sableux noir à orangé proche de la retenue	< LOD	< LOD	91	61	84	19477	345	< LOD
auz-12-sol-n43	43	terre caillouteuse marron en affleurement sur bord du chemin proche du carrefour route D304 avec chemin menant au lieu-dit "la Chassagne"	< LOD	26	67	110	43	24470	480	119
auz-12-sol-n44	44	terre marron sous couvert végétal en bordure de la route D 303 au lieu-dit "La chassagne"	< LOD	< LOD	46	42	78	15731	309	143
auz-12-sol-n45	45	terre marron caillouteuse humide en bordure de la route D996 au-dessus des résidus miniers	< LOD	< LOD	225	195	85	25832	435	151
auz-12-sol-n46	46	résidu fin sableux jaunâtre sur sommet de tas sous le virage de la route D996	< LOD	39	30402	< LOD	472	21478	< LOD	213
auz-12-sol-n47	47	terre marron fine sous couvert végétal dans clairière (pente à 45°) en aval de n46 en direction de la zone de bassins	< LOD	< LOD	104	289	307	30188	309	104
auz-12-sol-n48	48	terre marron caillouteuse humide sous couvert végétal et boisé, en dessous d'un sentier menant à un bassin (en aval de n47)	< LOD	< LOD	8575	572	232	18118	311	169
auz-12-sol-n49	49	résidu très fin jaunâtre sur tas (6 m) en bordure du Miodet sans couvert végétal	< LOD	36	19978	795	590	16446	< LOD	212
auz-12-sol-n50	50	résidu argileux gris dans carottage (de 0,40 à 1,40 m) dans bassin rond empierré avec dépression	< LOD	63	36705	2479	3109	39803	300	235
auz-12-sol-n51	51	résidu fin jaunâtre proche du Miodet et derrière éperon rocheux	< LOD	< LOD	9144	501	97	10135	172	238
auz-12-sol-n52	52	résidu fin argileux blanc, jaunâtre et orangé sur petit tas séparant des bassins en bout de l'éperon rocheux dans la courbe du Miodet muré	< LOD	48	33528	< LOD	451	21130	< LOD	229
auz-12-sol-n53	53	résidu fin marron sur plate forme entre Miodet et éperon rocheux	< LOD	33	11533	318	211	6928	< LOD	233
auz-12-sol-n54	54	résidu fin jaunâtre en pied de tas côté Miodet sous n17	56	34	9426	1087	649	11732	< LOD	154
auz-12-sol-n55	55	haldes avec résidu orangé et gris sur tas très pendu peu végétalisé en bordure du Miodet	< LOD	< LOD	6076	1679	2644	20731	807	144
auz-12-sol-n56	56	haldes avec résidu fin gris à orangé sur sommet de tas en aval des tas principaux	< LOD	< LOD	6607	483	778	8524	< LOD	286
auz-12-sol-n57	57	résidu fin jaunâtre et marron faiblement végétalisé proche de la galerie	< LOD	< LOD	8558	643	321	12718	< LOD	221
auz-12-sol-n58	58	résidu jaunâtre sableux humide sur plate forme en dessous des tas principaux (n8)	< LOD	< LOD	11725	850	626	6880	< LOD	265
auz-12-sol-n59	59	résidu sableux avec fines argileuses orangées dans ruisseau à sec en dessous de n9	< LOD	28	10718	558	1417	8533	201	313
auz-12-sol-n60	60	terre fine marron sous couvert végétal dans forêt très pentue en rive gauche du ruisseau (affluent du Miodet)	< LOD	< LOD	320	527	107	22539	468	122
auz-12-sol-n61	61	terre marron sur berge en rive gauche aval confluence avec ruisseau (1,5 m au dessus du niveau d'eau)	< LOD	< LOD	401	234	56	10812	< LOD	134
auz-12-sol-n62	62	résidu fin jaunâtre et marron sur berge à la confluence du ruisseau et du Miodet	< LOD	< LOD	11896	< LOD	818	8703	278	238
auz-12-sed-n63*	63	sédiment marron prélevé dans le Miodet au niveau de l'exhaure rougeâtre	< LOD	< LOD	3272	1158	1500	43649	1374	< LOD
auz-12-sol-n64	64	haldes avec fines marron et jaunâtre dans la pente (40°) d'un tas végétalisé et boisé au dessus de la confluence Miodet avec ruisseau	< LOD	< LOD	3473	1150	683	22879	285	139
auz-12-sol-n65	65	terre naturelle fine marron dans forêt de sapins proche de la route menant à la Molette en amont des travaux miniers	< LOD	< LOD	72	258	74	19563	221	122
auz-12-sol-n66	66	terre naturelle fine marron dans forêt de sapins au dessus de la route D 996 amont des travaux miniers	< LOD	< LOD	160	206	120	16846	179	114
auz-12-sol-n67	67	terre naturelle fine marron dans forêt de sapins au dessus de la route D 996 amont des travaux miniers	< LOD	< LOD	50	445	106	24513	169	146
auz-12-sol-n68	68	terre fine marron dans terrain déboisé au dessus de la route D 996 et des tas de résidus miniers (en aval du hameau La Molette)	< LOD	< LOD	92	419	88	25752	434	164
auz-12-sol-n69	69	terre marron caillouteuse à côté de la fontaine en bordure de route, face au cimetière d'Auzelle	< LOD	< LOD	327	550	133	17441	235	155
auz-12-sol-n70	70	sable fin dans le Lagas, terrain humide traversant un chemin, affluent du Miodet rive gauche proche du lieu dit "Miodet"	< LOD	< LOD	30	33	< LOD	10849	167	136
auz-12-sed-n71*	71	sédiment marron dans le Lagas, affluent du Miodet proche du lieu dit "Miodet" au même endroit que n70	< LOD	< LOD	47	43	78	51468	1752	< LOD
auz-12-sol-n72	72	terre fine marron dans prairie en rive droite du Miodet (zone inondable) proche du pont et carrefour des routes D112 et D58 (St Jean des Ollières)	< LOD	< LOD	693	186	195	15340	282	128
auz-12-sol-n73	73	terre fine marron dans la même prairie que n72 en zone moins inondable proche de la route D 58	< LOD	< LOD	57	78	71	14433	325	140
auz-12-sol-n74	74	terre fine marron dans prairie en bordure du ruisseau des Martinanches proche du lieu dit Leyrette (St Dier d'Auvergne)	< LOD	< LOD	38	63	< LOD	14212	273	143
auz-12-sol-n75	75	terre fine marron dans prairie en bordure du Miodet rive droite au nord de St Dier d'Auvergne route D 58 (zone inondable)	< LOD	< LOD	437	69	119	14428	270	128
auz-12-sol-n76	76	terre fine marron dans la même prairie que n75 en zone moins inondable	< LOD	< LOD	70	58	51	16179	247	149
auz-12-sol-n77	77	terre fine marron dans prairie en bordure du Miodet rive gauche à l'ouest de St Dier d'Auvergne proche du lieu-dit "La Valade" (zone peu inondable, 3 m au dessus du Miodet)	< LOD	< LOD	62	51	51	15962	183	138
auz-12-sed-n78	78	sédiment marron côté droit du passage à gué du Miodet (zone inondable)	< LOD	< LOD	895	92	145	11802	235	136

Analyses sur le sol tamisé à 2 mm (modes bulk) sauf échantillon avec *
* : échantillon séché, tamisé à 200 µm, analysé sur < 200 µm
LOD : teneurs inférieures à la limite de détection
Eléments en dessous de la limite de détection : Sb, Sn, U, Th, Se, Hg, Cu, Ni, V, Sc,
Teneur en ppm
En vert : échantillon de sol prélevé
durée de la mesure 60 secondes

Les cases orange et jaune correspondent respectivement aux échantillons de sols et de sédiments supposés non impactés par la mine

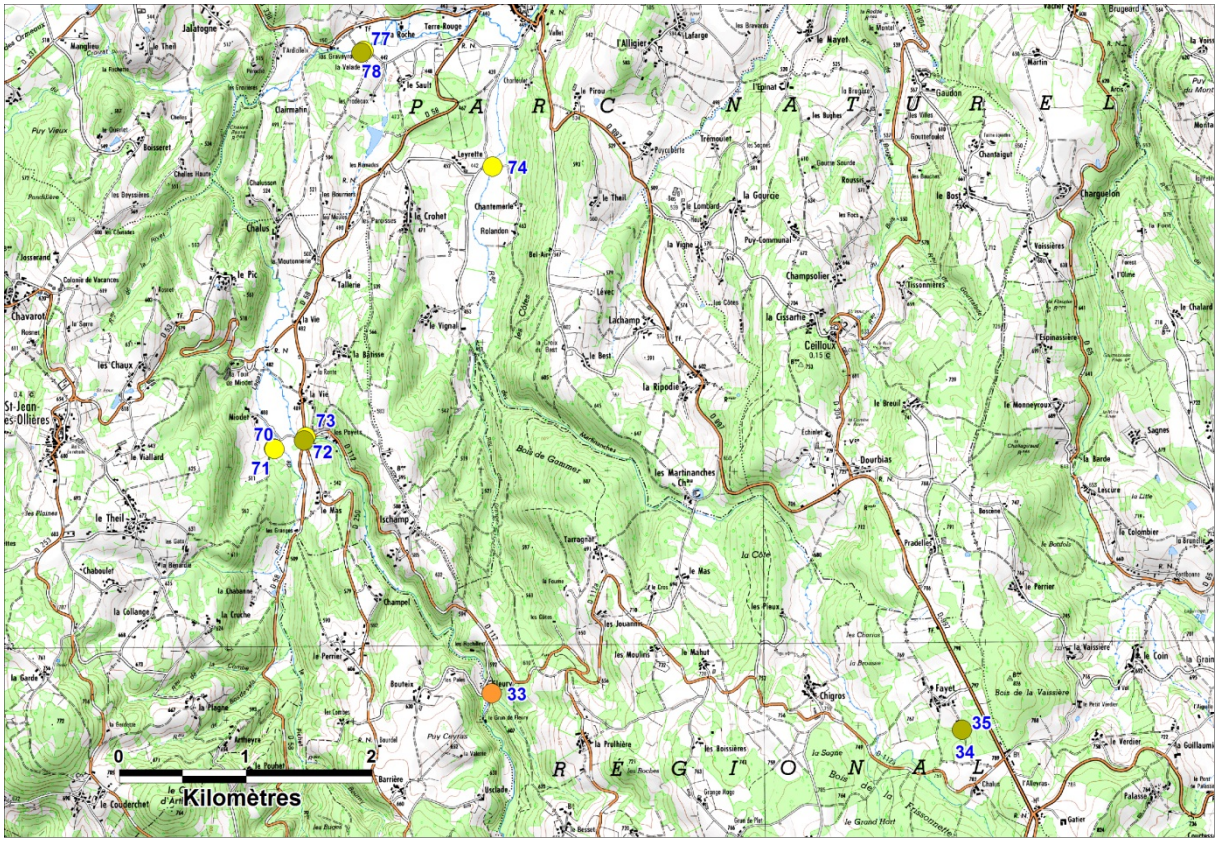
Carte de répartition géographique des teneurs en plomb enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur sud



Teneurs en mg/kg

- 10 000 - 100 000
- 1 000 - 10 000
- 100 - 1 000
- 0 - 100

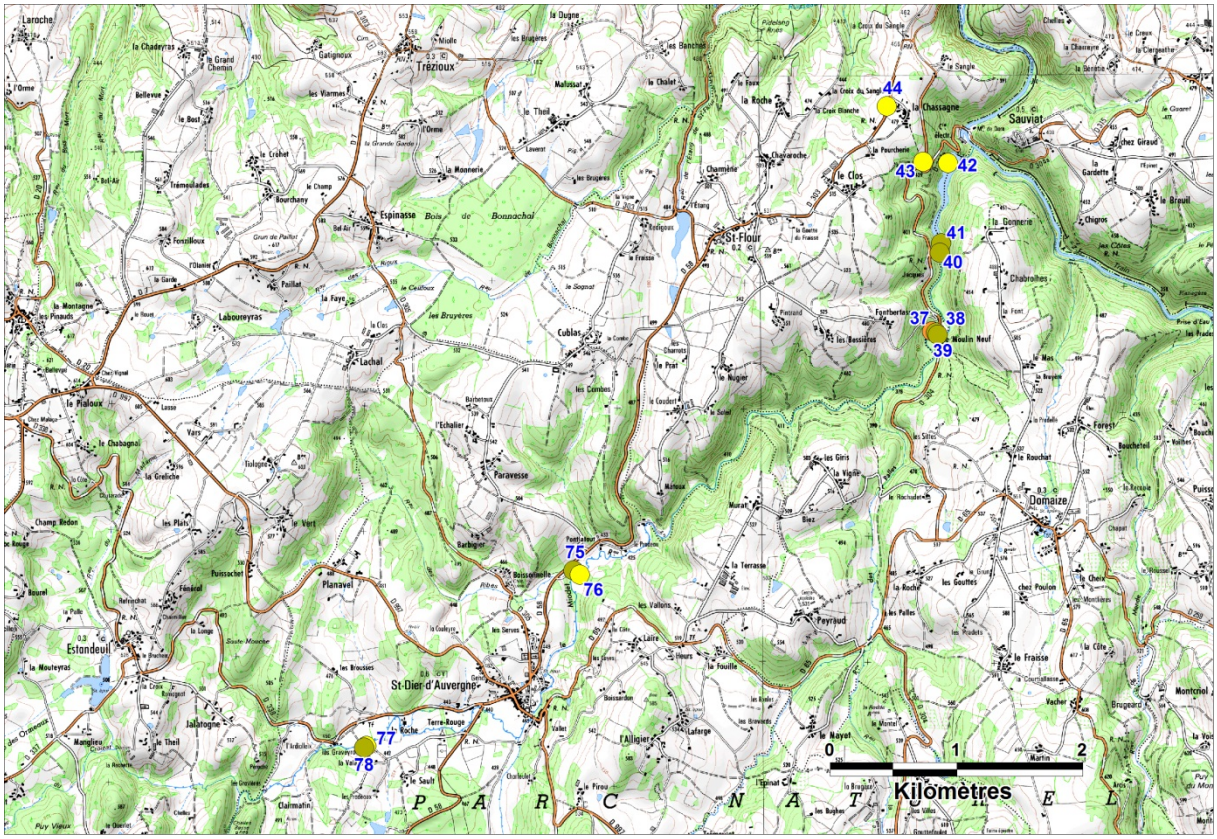
Carte de répartition géographique des teneurs en plomb enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur centre



Teneurs en mg/kg

- 10 000 - 100 000
- 1 000 - 10 000
- 100 - 1 000
- 0 - 100

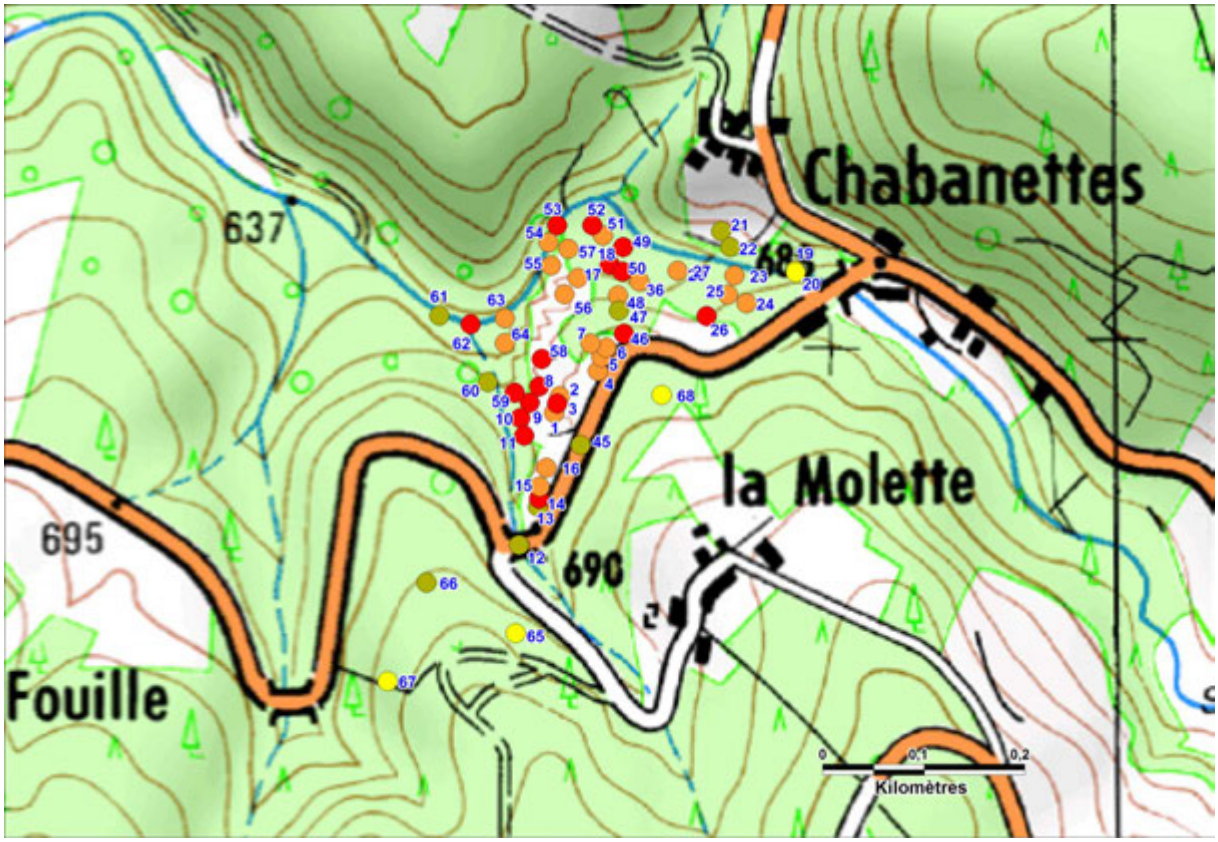
Carte de répartition géographique des teneurs en plomb enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur nord



Teneurs en mg/kg

- 10 000 - 100 000
- 1 000 - 10 000
- 100 - 1 000
- 0 - 100

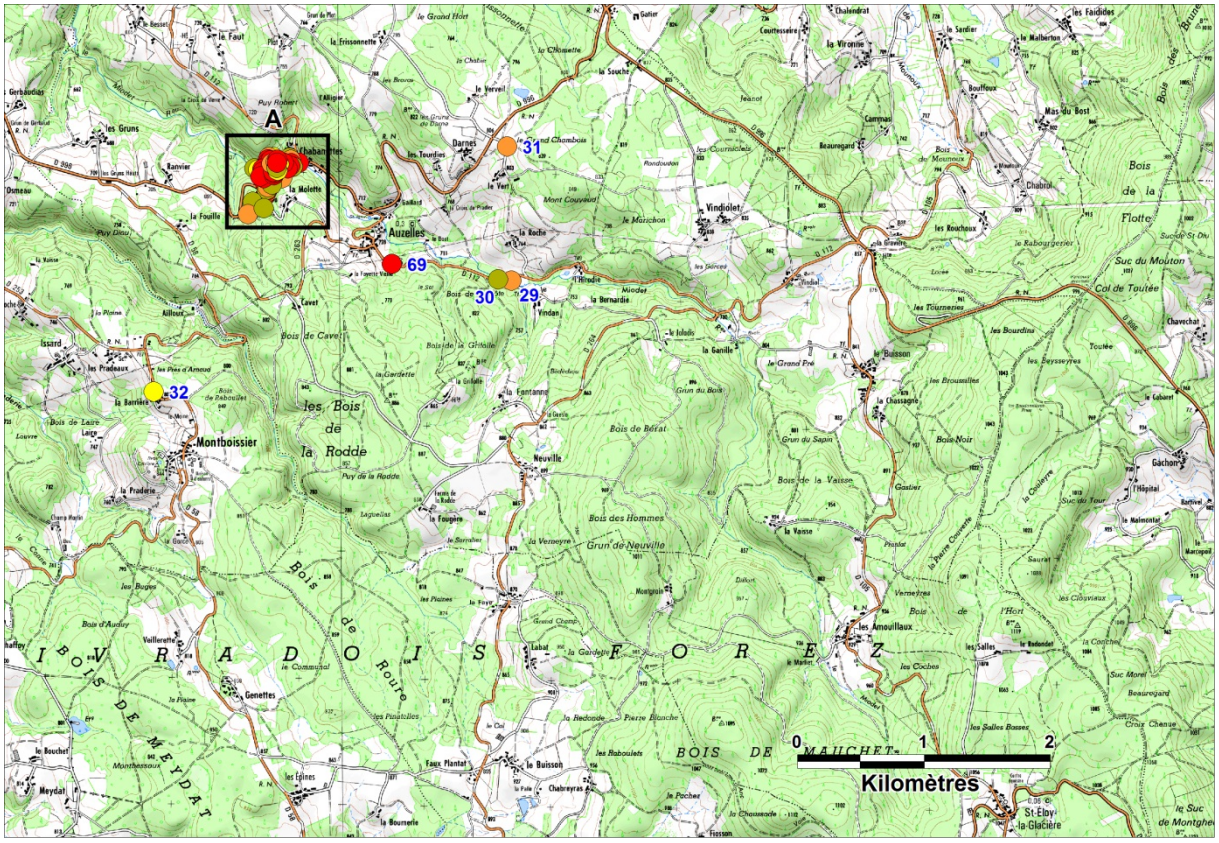
Carte de répartition géographique des teneurs en plomb enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : zoom de la zone A (secteur sud)



Teneurs en mg/kg

- 10 000 - 100 000
- 1 000 - 10 000
- 100 - 1 000
- 0 - 100

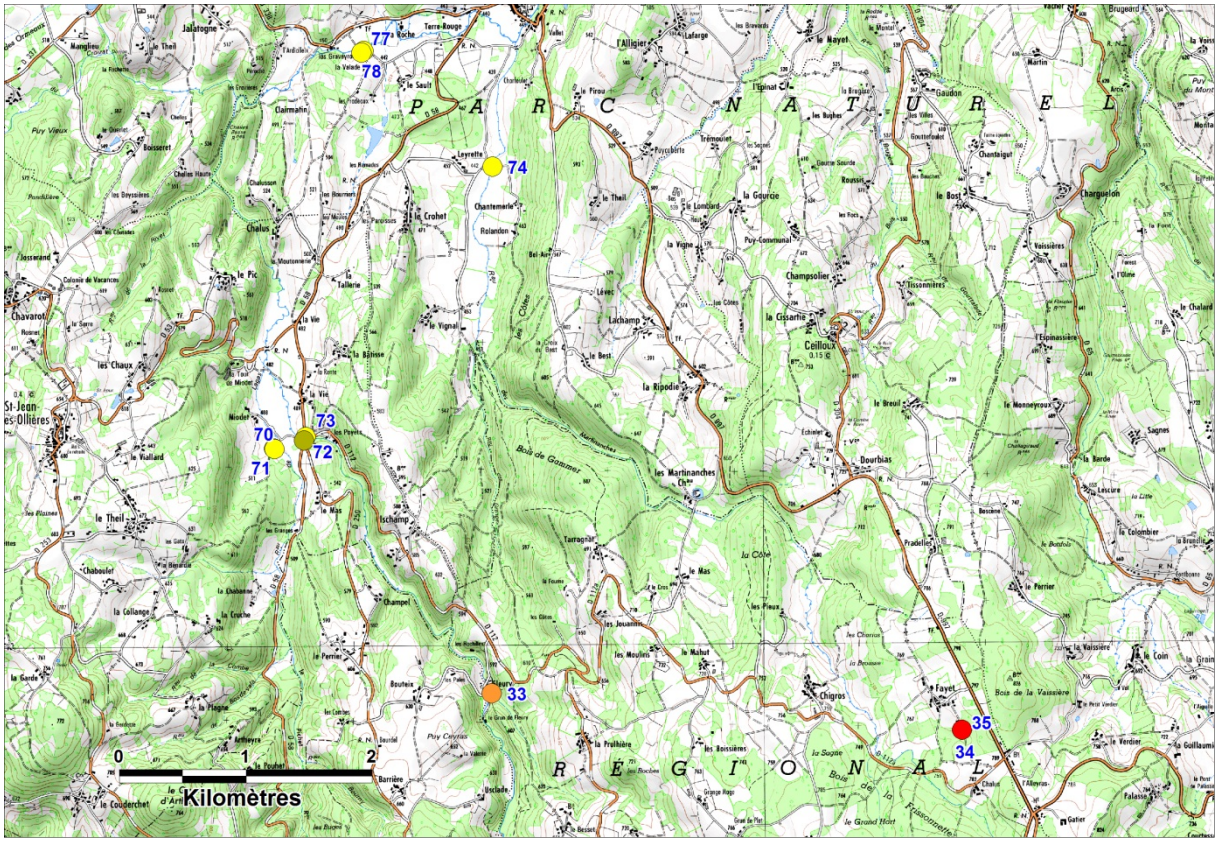
Carte de répartition géographique des teneurs en arsenic enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur sud



Teneurs en mg/kg

- 500 - 5 000
- 300 - 500
- 150 - 300
- 0 - 150

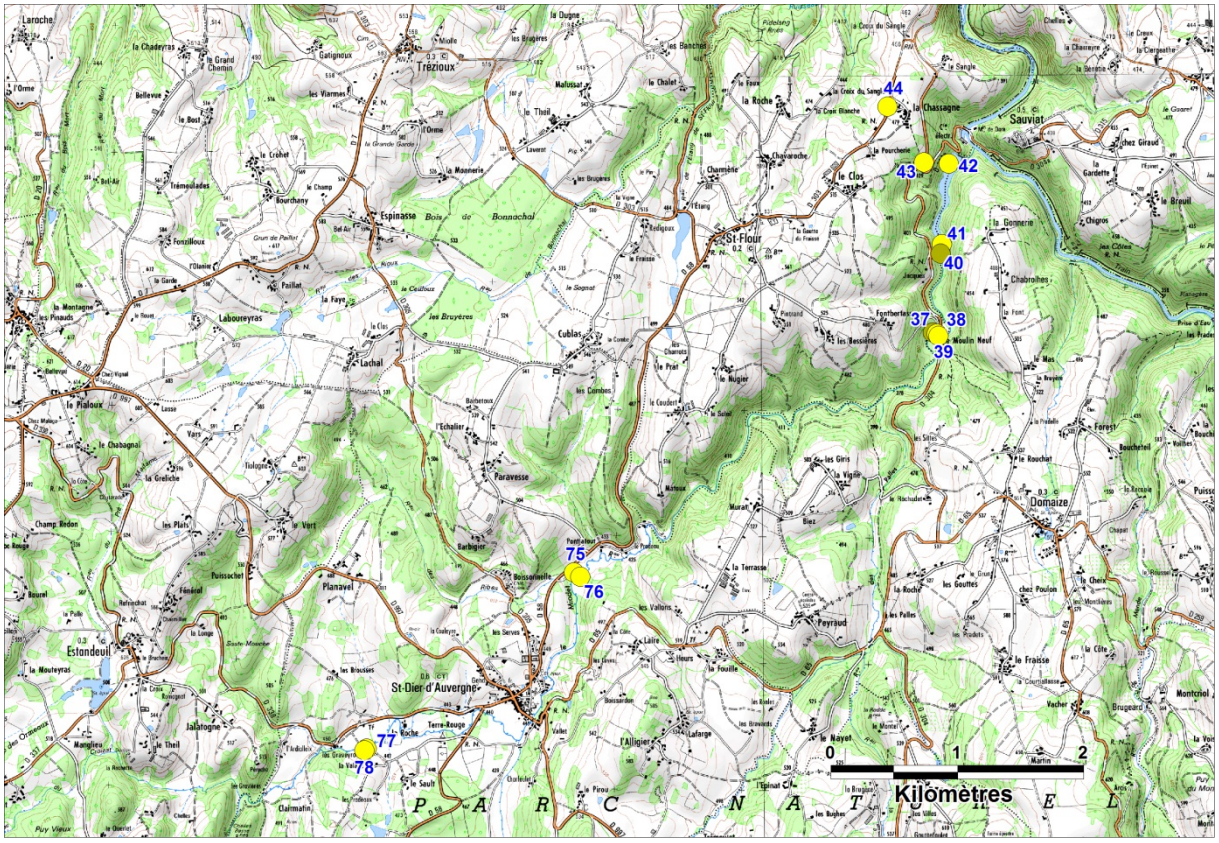
Carte de répartition géographique des teneurs en arsenic enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur centre



Teneurs en mg/kg

- 500 - 5 000
- 300 - 500
- 150 - 300
- 0 - 150

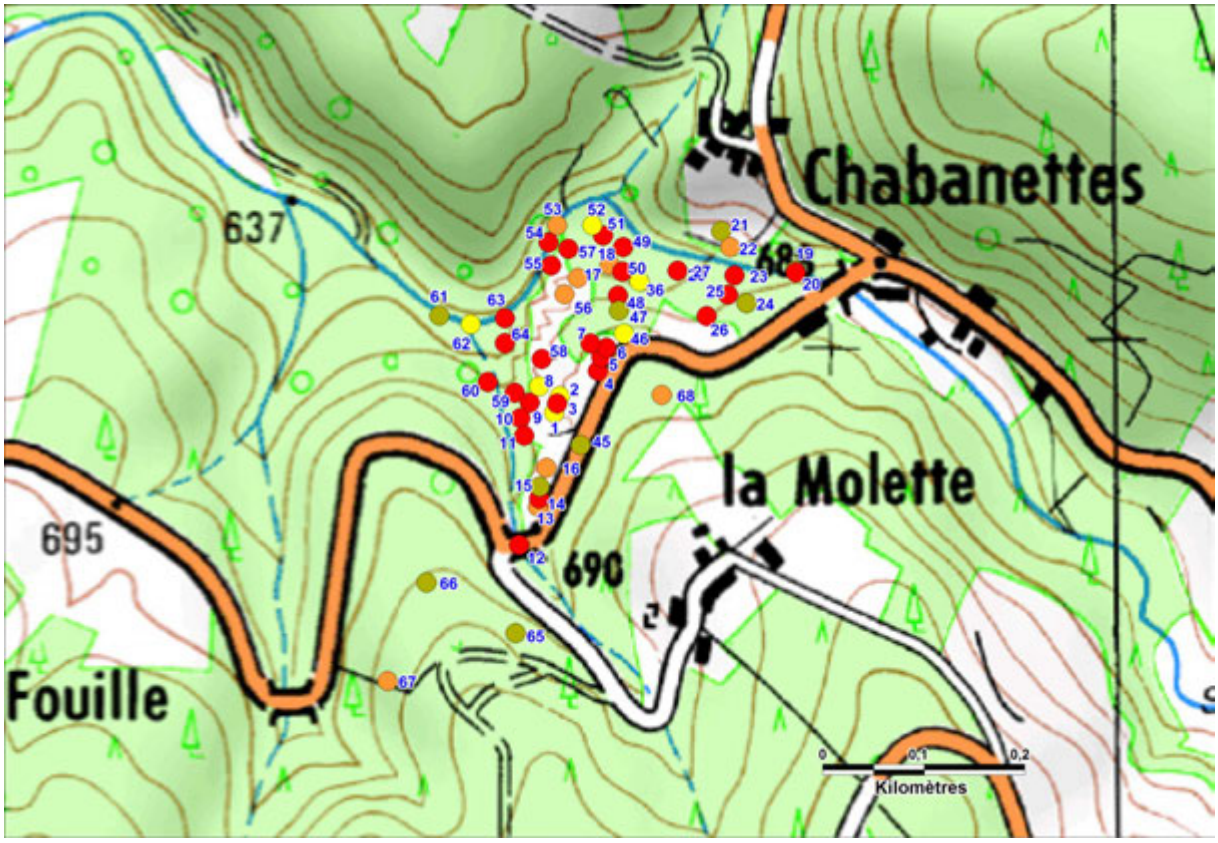
Carte de répartition géographique des teneurs en arsenic enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : secteur nord



Teneurs en mg/kg

- 500 - 5 000
- 300 - 500
- 150 - 300
- 0 - 150

Carte de répartition géographique des teneurs en arsenic enregistrées dans le cadre des mesures NITON® effectuées sur les sédiments et les sols du secteur d'étude : zoom de la zone A (secteur sud)



Teneurs en mg/kg

- 500 - 5 000
- 300 - 500
- 150 - 300
- 0 - 150

Présentation du Niton XLt 999KWY

Le spectromètre de fluorescence X portable (FPXRF : Field Portable X-Ray Fluorescence) utilisé pour la campagne de mesure est le Niton® XLt999KWY équipé d'un mini tube de rayons X (pas de source radioactive).

Spectromètre de fluorescence X portable (Niton XLt999KWY) équipé d'un mini tube X

Les principales caractéristiques de cet appareil sont listées ci-dessous :

- Détecteur très haute résolution,
- Étalonnage automatique,
- D'après le constructeur en mode sol, il est possible d'analyser les 27 éléments suivants : Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sn, Pb, Hg, Sr, Cd, Ag, Sb, Rb, Ca, K, V, Ti, Sc, U, Th, Cl, S et P. Mais dans la pratique, seuls les éléments suivants sont identifiés et / ou analysés : Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sn, Pb, Sr, Cd, Ag, Sb, Rb, Ca, K, V et Ti
- Il existe plusieurs autres modes analytiques permettant d'analyser et /ou d'identifier certains éléments non quantifiés en mode sol dont le W.
- Écran tactile renforcé,
- Stockage de 3000 analyses de sol,
- Analyse en 10 à 120 secondes (y compris calcul),
- Limite de détection de 15 à 250 mg kg^{-1} suivant les éléments,
- Autonomie : 2 x 6 heures,
- Possibilité de se connecter à un ordinateur pour transférer les données. Les données sont accessibles avec le logiciel fourni NDT version 5.2, les fichiers sont automatiquement sauvegardés au format Excel.

Comparaison des données de fluorescence X avec les données de spectrométrie ICP/AES ou d'absorption atomique (AA)

14 échantillons prélevés sur les 23 ont été analysés dans les laboratoires du BRGM. Toutes les comparaisons entre les résultats de spectrométrie(ICP) ou d'absorption atomique (AA) et les résultats de fluorescence X sont faites sur des échantillons ayant subi des préparations différentes. Sur le terrain, les analyses de fluorescence X ont été obtenues après tamisage à 2 mm des sols, résidus ou stériles bruts alors que les analyses de spectrométrie ICP ou d'absorption atomique ont été obtenues après séchage à 105°C et broyage à 80 µm des échantillons. Pour les sédiments, les analyses de fluorescence X ont été réalisées en laboratoire après séchage à 40°C et tamisage à 200 µm. Les comparaisons entre les analyses terrains (Fluo) et laboratoires (ICP/AES) sont présentées sous forme de graphique (figures 1 à 3).

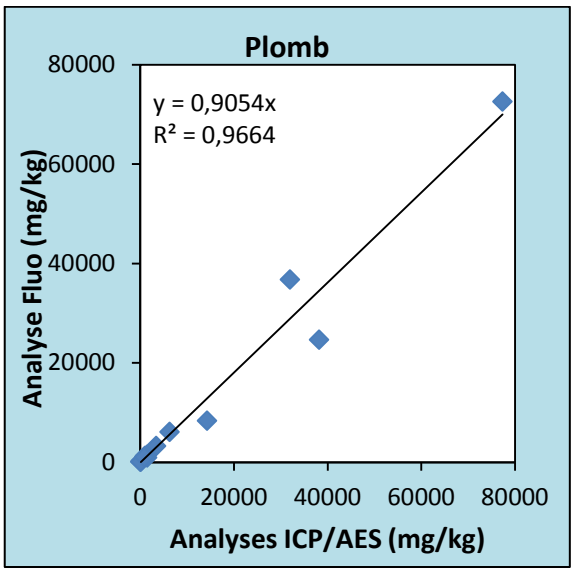


Figure 1

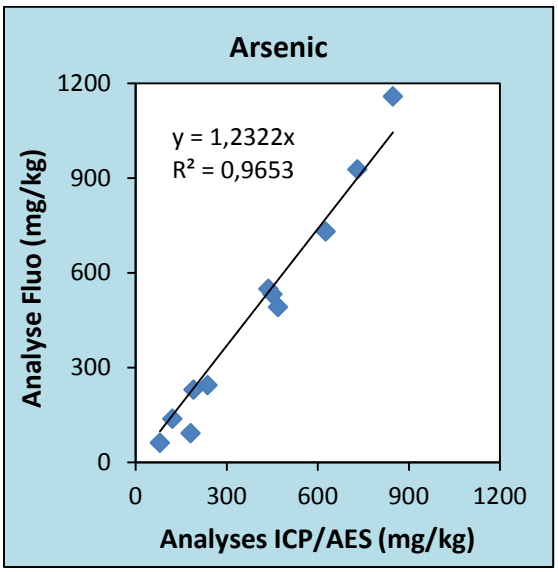


Figure 2

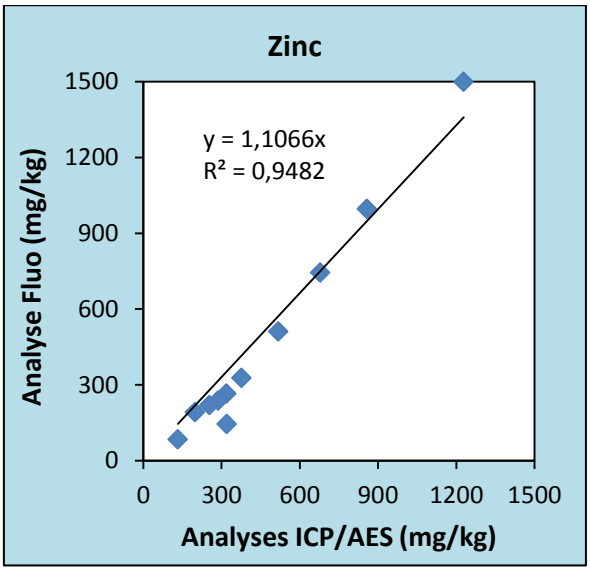


Figure 3

Les données obtenues par le Niton® (terrain et laboratoire) et les analyses de laboratoires sont comparables et satisfaisantes (pente comprise entre 0,90 et 1,23 avec r^2 supérieur à 0,94) pour As, Pb et Zn.

Commentaires sur les graphiques :

- La figure 1 présente la comparaison du plomb pour l'ensemble des mesures Niton® avec les analyses ICP. Les concentrations mesurées sont très variables allant de 90 ppm à plus de 7 % avec des granulométries, matrices et humidités différentes.
- La figure 2 présente la comparaison pour l'arsenic des mesures Niton® avec les analyses ICP. A noter que lorsque la teneur en Pb est élevée (> 2 %), la concentration en As mesurée par le Niton® est surestimée par rapport à l'analyse ICP (points Niton® AUZ-12-SOL-n3, n8 et n50).
- De même pour Zn (figure 3), les mesures obtenues par le NITON® sont surévaluées par rapport à l'ICP lorsque les teneurs en Pb sont > à 2 % (points Niton® AUZ-12-SOL-n3, n8 et n50).

Rapport d'essais des résultats d'analyses des sols du laboratoire du BRGM d'Orléans

Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS 12-6-045-A

Provenance : Auzelles (Auvergne) **Nature échantillon :** SOLIDES **Nombre:** 14 **Echantillons réceptionnés le :** 16/10/2012 **Analyses commencées le :** 26/10/12 **Référence commande :** PSP12REM13|NAT08	**Demandeur :** AUGER Pascal **Adresse:** LAB/EXP 3, avenue Claude Guillemin BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux et des solides	T.CONTE
Préparations et matériaux	H.HAAS

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: D.MARTINEAU Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 30-OCT-2012

Nombre de pages: 13

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 38009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

Le mode opératoire **MO215**	Préparation physique des échantillons de type géologique
est utilisé pour doser : Broyage(Prébroyés)	

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

le : 30-OCT-2012 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux et des solides

Le mode opératoire **MO077**	Détermination de la perte de masse avant ICP
est utilisé pour doser :	
PP (Perte de masse à 450°C)	

Le mode opératoire **MO111**	Analyse multiéléments par ICP/AES
est utilisé pour doser :	
Ag (Argent)	Al2O3 (Alumine)
As (Arsenic)	B (Bore)
Ba (Baryum)	Be (Béryllium)
Bi (Bismuth)	CaO (Oxyde de Calcium)
Cd (Cadmium)	Ce (Cérium)
Co (Cobalt)	Cr (Chrome)
Cu (Cuivre)	Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)
K2O (Oxyde de Potassium)	La (Lanthane)
Li (Lithium)	MgO (Oxyde de Magnésium)
MnO (Oxyde de Manganèse)	Mo (Molybdène)
Nb (Niobium)	Ni (Nickel)
P2O5 (Phosphates en P2O5)	Pb (Plomb)
Sb (Antimoine)	SiO2 (Silice)
Sn (Etain)	Sr (Strontium)
TiO2 (Oxyde de Titane)	V (Vanadium)
W (Tungstène)	Y (Yttrium)
Zn (Zinc)	Zr (Zirconium)

Commentaire du laboratoire :

le : 30-OCT-2012 Page 3

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
RESULTATS : Toute valeur supérieure à la limite supérieure de quantification peut entraîner une interférence non contrôlée sur l'un quelconque des éléments.
Les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d¿être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
REMARQUES : Les résultats des 8 éléments majeurs de l'analyse ICP ne peuvent en aucun cas être utilisés pour une interprétation pétrographique ni pour une évaluation de gisement.
UNITES :
% (pourcentage massique),
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t,)

le : 30-OCT-2012 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186794 1 AUZ-12-SOL-n3	200186795 2 AUZ-12-SOL-n4	200186796 3 AUZ-12-SOL-n8	200186797 4 AUZ-12-SOL-n34
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		1.98	1.47	2.34	7.34
SiO2 (Silice)	%	1		62.7	74.9	68.0	62.8
Al2O3 (Alumine)	%	1		12.9	9.4	15.3	14.4
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		2.1	1.4	2.2	3.5
CaO (Oxyde de Calcium)	%	1		1.5	< 1	< 1	< 1
MgO (Oxyde de Magnésium)	%	1		1.7	< 1	1.6	1.6
K2O (Oxyde de Potassium)	%	0.5		3.10	2.70	3.80	4.30
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.08	< 0.01	0.07	0.04
TiO2 (Oxyde de Titane)	%	0.01		0.50	0.29	0.60	0.55
P2O5 (Phosphates en P2O5)	mg/kg	100		2450	1259	2773	2864
Li (Lithium)	mg/kg	10		50	41	58	52
Be (Béryllium)	mg/kg	2		6	2	7	4
B (Bore)	mg/kg	10		131	82	169	47
V (Vanadium)	mg/kg	10		77	47	89	62
Cr (Chrome)	mg/kg	10		163	67	211	60
Co (Cobalt)	mg/kg	5		19	< 5	13	12
Ni (Nickel)	mg/kg	10		110	< 10	58	18
Cu (Cuivre)	mg/kg	5		85	33	78	19

le : 30-OCT-2012 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186798 5 AUZ-12-SOL-n36	200186799 6 AUZ-12-SED-n42	200186800 7 AUZ-12-SOL-n50	200186801 8 AUZ-12-SOL-n78 bis
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		4.49	6.42	5.65	12.10
SiO2 (Silice)	%	1		64.7	60.0	58.2	54.7
Al2O3 (Alumine)	%	1		15.2	16.2	15.4	15.1
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		3.2	2.9	4.4	3.7
CaO (Oxyde de Calcium)	%	1		< 1	1.3	< 1	1.4
MgO (Oxyde de Magnésium)	%	1		1.4	1.1	1.2	1.4
K2O (Oxyde de Potassium)	%	0.5		3.40	3.80	3.40	3.30
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.02	0.04	0.02	0.06
TiO2 (Oxyde de Titane)	%	0.01		0.69	0.51	0.52	0.61
P2O5 (Phosphates en P2O5)	mg/kg	100		1027	2765	2528	3088
Li (Lithium)	mg/kg	10		53	54	52	49
Be (Béryllium)	mg/kg	2		3	7	6	4
B (Bore)	mg/kg	10		43	40	120	45
V (Vanadium)	mg/kg	10		76	49	86	67
Cr (Chrome)	mg/kg	10		75	56	128	73
Co (Cobalt)	mg/kg	5		11	11	10	13
Ni (Nickel)	mg/kg	10		25	14	20	18
Cu (Cuivre)	mg/kg	5		36	18	88	25

le : 30-OCT-2012 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186802 9 AUZ-12-SED-n12	200186803 10 AUZ-12-SED-n20	200186804 11 AUZ-12-SED-n33	200186805 12 AUZ-12-SED-n37
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		11.07	14.68	6.41	14.73
SiO2 (Silice)	%	1		50.7	52.6	61.7	49.8
Al2O3 (Alumine)	%	1		18.8	15.9	14.9	16.0
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		5.8	4.0	3.1	4.4
CaO (Oxyde de Calcium)	%	1		< 1	1.0	< 1	1.5
MgO (Oxyde de Magnésium)	%	1		1.8	1.3	1.1	1.6
K2O (Oxyde de Potassium)	%	0.5		3.60	3.60	3.80	3.00
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.04	0.08	0.06	0.10
TiO2 (Oxyde de Titane)	%	0.01		0.80	0.57	0.61	0.79
P2O5 (Phosphates en P2O5)	mg/kg	100		3291	3602	3503	4267
Li (Lithium)	mg/kg	10		70	84	68	56
Be (Béryllium)	mg/kg	2		4	9	7	7
B (Bore)	mg/kg	10		48	54	91	40
V (Vanadium)	mg/kg	10		112	61	63	74
Cr (Chrome)	mg/kg	10		107	66	78	90
Co (Cobalt)	mg/kg	5		20	16	10	17
Ni (Nickel)	mg/kg	10		34	22	26	26
Cu (Cuivre)	mg/kg	5		79	59	41	31

le : 30-OCT-2012 Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186806 13 AUZ-12-SED-n40	200186807 14 AUZ-12-SED-n63
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		13.48	17.67
SiO2 (Silice)	%	1		50.8	49.7
Al2O3 (Alumine)	%	1		16.2	14.7
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		4.9	4.7
CaO (Oxyde de Calcium)	%	1		1.4	< 1
MgO (Oxyde de Magnésium)	%	1		1.7	1.3
K2O (Oxyde de Potassium)	%	0.5		3.10	3.20
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.10	0.08
TiO2 (Oxyde de Titane)	%	0.01		0.83	0.58
P2O5 (Phosphates en P2O5)	mg/kg	100		4338	3584
Li (Lithium)	mg/kg	10		56	81
Be (Béryllium)	mg/kg	2		7	9
B (Bore)	mg/kg	10		42	61
V (Vanadium)	mg/kg	10		87	69
Cr (Chrome)	mg/kg	10		104	76
Co (Cobalt)	mg/kg	5		19	16
Ni (Nickel)	mg/kg	10		28	28
Cu (Cuivre)	mg/kg	5		28	60

le : 30-OCT-2012 Page 8

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186794 1 AUZ-12-SOL-n3	200186795 2 AUZ-12-SOL-n4	200186796 3 AUZ-12-SOL-n8	200186797 4 AUZ-12-SOL-n34
Zn (Zinc)	mg/kg	5		6233	318	4753	198
As (Arsenic)	mg/kg	20		756	731	698	438
Sr (Strontium)	mg/kg	5		23	24	40	115
Y (Yttrium)	mg/kg	20		29	24	27	22
Nb (Niobium)	mg/kg	20		< 20	< 20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/kg	5		6	< 5	< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/kg	0.2		96.7	25.9	60.2	< 0.2
Cd (Cadmium)	mg/kg	2		317	< 2	87	< 2
Sn (Etain)	mg/kg	10		46	18	49	10
Sb (Antimoine)	mg/kg	10		213	49	118	< 10
Ba (Baryum)	mg/kg	10		321	335	371	728
La (Lanthane)	mg/kg	20		48	29	53	36
Ce (Cérium)	mg/kg	10		85	47	89	67
W (Tungstène)	mg/kg	10		31	< 10	31	< 10
Pb (Plomb)	mg/kg	10		77351	14298	38212	238
Bi (Bismuth)	mg/kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/kg	20		188	118	207	198

le : 30-OCT-2012 Page 9

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186798 5 AUZ-12-SOL-n36	200186799 6 AUZ-12-SED-n42	200186800 7 AUZ-12-SOL-n50	200186801 8 AUZ-12-SOL-n78
Zn (Zinc)	mg/kg	5		857	132	2324	320
As (Arsenic)	mg/kg	20		121	80	1268	181
Sr (Strontium)	mg/kg	5		91	222	42	173
Y (Yttrium)	mg/kg	20		31	32	22	46
Nb (Niobium)	mg/kg	20		< 20	< 20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/kg	5		< 5	< 5	< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/kg	0.2		< 0.2	< 0.2	60.6	< 0.2
Cd (Cadmium)	mg/kg	2		< 2	< 2	8	< 2
Sn (Etain)	mg/kg	10		13	11	34	13
Sb (Antimoine)	mg/kg	10		< 10	< 10	142	< 10
Ba (Baryum)	mg/kg	10		754	668	404	604
La (Lanthane)	mg/kg	20		51	54	36	71
Ce (Cérium)	mg/kg	10		97	102	56	142
W (Tungstène)	mg/kg	10		16	< 10	10	12
Pb (Plomb)	mg/kg	10		1427	101	31989	1538
Bi (Bismuth)	mg/kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/kg	20		264	295	154	413

le : 30-OCT-2012 Page 10

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186802 9 AUZ-12-SED-n12	200186803 10 AUZ-12-SED-n20	200186804 11 AUZ-12-SED-n33	200186805 12 AUZ-12-SED-n37
Zn (Zinc)	mg/kg	5		286	253	678	517
As (Arsenic)	mg/kg	20		627	452	469	191
Sr (Strontium)	mg/kg	5		137	159	129	190
Y (Yttrium)	mg/kg	20		49	30	71	62
Nb (Niobium)	mg/kg	20		20	< 20	< 20	22
Mo (Molybdène)	mg/kg	5		< 5	< 5	< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/kg	0.2		< 0.2	< 0.2	6.0	< 0.2
Cd (Cadmium)	mg/kg	2		< 2	< 2	3	2
Sn (Etain)	mg/kg	10		31	27	33	16
Sb (Antimoine)	mg/kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Ba (Baryum)	mg/kg	10		718	592	568	621
La (Lanthane)	mg/kg	20		67	48	100	134
Ce (Cérium)	mg/kg	10		133	92	205	278
W (Tungstène)	mg/kg	10		19	57	108	21
Pb (Plomb)	mg/kg	10		151	88	6295	1047
Bi (Bismuth)	mg/kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/kg	20		364	289	480	675

le : 30-OCT-2012 Page 11

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200186806 13 AUZ-12-SED-n40	200186807 14 AUZ-12-SED-n63
Zn (Zinc)	mg/kg	5		376	1228
As (Arsenic)	mg/kg	20		237	848
Sr (Strontium)	mg/kg	5		190	112
Y (Yttrium)	mg/kg	20		72	33
Nb (Niobium)	mg/kg	20		26	< 20
Mo (Molybdène)	mg/kg	5		< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/kg	0.2		< 0.2	2.7
Cd (Cadmium)	mg/kg	2		2	13
Sn (Etain)	mg/kg	10		18	28
Sb (Antimoine)	mg/kg	10		< 10	< 10
Ba (Baryum)	mg/kg	10		649	503
La (Lanthane)	mg/kg	20		146	54
Ce (Cérium)	mg/kg	10		310	106
W (Tungstène)	mg/kg	10		17	66
Pb (Plomb)	mg/kg	10		920	3434
Bi (Bismuth)	mg/kg	10		< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/kg	20		848	303

** LQ Limite de quantification

le : 30-OCT-2012 Page 12

Id soumission : 100028697 Rapport d'essais : 12-6-045-A

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

ANNEXE 6

Analyses physico-chimiques de laboratoire

Eaux souterraines dédiées à l'évaluation de l'environnement local témoin (eaux filtrées)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_LS02	AUZ_LS04	AUZ_LS05	AUZ_LS06	AUZ_LS08
Aluminium (Al)	µg/l	<10	<10	180	22	100
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	43	220	29	16	150
Baryum (Ba)	µg/l	11	<5	10	26	5,7
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	21	5,7	16	17	<5
Bore (B)	µg/l	<5	<5	10	9,2	14
Cadmium (Cd)	µg/l	1,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l	3,1	1,7	7,9	8,6	1,4
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<5	<2
Fer (Fe)	mg/l	0,046	0,029	0,22	0,055	0,37
Potassium (K)	mg/l	3,2	0,86	1,5	3	0,84
Cuivre (Cu)	µg/l	<3	11	9,9	4,4	9,8
Magnésium (Mg)	mg/l	1,2	0,55	1,6	2,4	0,66
Manganèse (Mn)	µg/l	<5	<5	8,3	<5	20
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2
Sodium (Na)	mg/l	4,1	4,4	10	6,7	5,1
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l	9200	8500	9300	11000	7600
Strontium (Sr)	µg/l	44	16	59	97	15
Titane (Ti)	µg/l	<5	<5	12	<5	<5
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	<2	2,5
Zinc (Zn)	µg/l	24	50	26	11	19
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l	0,15	0,34	0,08	0,02	0,09
Bromure (Br)	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1
Chlorures (Cl)	mg/l	2	2	5,3	<5	<5
Nitrates (NO3)	mg/l	8	3	1,9	20	1,7
Sulfates (SO4)	mg/l	9	2	9,3	9	<5
Nitrites (NO2)	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DCO (homogénéisé)	mg/l	<15	<15	16	<15	
Carbone organique total (COT)	mg/l		<0,5	6	<0,5	5,1
MES	mg/l					
Cyanures totaux (CN)	mg/l					
Chrome (VI)	mg/l					
Mercure (Hg)	mg/l					
Fluorures (F)	mg/l	<0,05				
pH		6,2				
Conductivité	µS/cm	80				
Débit	m^3/h					
Température	°C	14,4				

Eaux souterraines dédiées à l'évaluation de l'environnement local témoin (eaux brutes)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_LS04B	AUZ_LS05B	AUZ_LS06B	AUZ_LS08B	AUZ-L-100	AUZ-L-101	AUZ-L-102
Aluminium (Al)	µg/l	<10	820	29	99	24	100	14
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	230	36	16	160	58	96	96
Baryum (Ba)	µg/l	<5	13	24	5,6	49	21	<5
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	<5	31	18	<5	<5	<5	<5
Bore (B)	µg/l	<10	9	8,4	9,4	15	8	20
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l					11	5,3	5,5
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/l	0,017	0,83	0,049	0,43	0,052	0,88	0,03
Potassium (K)	mg/l					3,2	1,9	4,7
Cuivre (Cu)	µg/l	11	10	3,2	9,3	<3	3,5	<3
Magnésium (Mg)	mg/l					3,6	1,8	2
Manganèse (Mn)	µg/l	<5	15	<5	12	<5	17	<5
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sodium (Na)	mg/l					11	8	4,3
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l					5200	4900	8300
Strontium (Sr)	µg/l	16	61	99	15	140	65	83
Titane (Ti)	µg/l	<5	64	<5	<10	<5	12	<2
Vanadium (V)	µg/l	<2	2,5	<2	<2	<2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	2,5	<2	<2	<2
Zinc (Zn)	µg/l	40	33	11	10	<10	11	41
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l					0,28	0,15	0,55
Bromure (Br)	mg/l					<1	<1	<1
Chlorures (Cl)	mg/l					43	31	4
Nitrates (NO3)	mg/l					31	6	14
Sulfates (SO4)	mg/l					16	8	8
Nitrites (NO2)	mg/l					<0,01	0,02	0,02
DCO (homogénéisé)	mg/l							
Carbone organique total (COT)	mg/l							
MES	mg/l							
Cyanures totaux (CN)	mg/l							
Chrome (VI)	mg/l							
Mercure (Hg)	mg/l							
Fluorures (F)	mg/l							
pH		6,5	6,77	6,44	7,42			
Conductivité	µS/cm	40	120	120	40			
Débit	m^3/h	0,13	0,03	0,04	1			
Température	°C	13,7	16,7	13,6	11,4			

Eaux liées aux travaux miniers souterrains

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_LS01	AUZ_LS03	AUZ_LS03B
Aluminium (Al)	µg/l	31	<10	76
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	170	27	49
Baryum (Ba)	µg/l	22	13	14
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	<5	<5	<5
Bore (B)	µg/l	<5	<5	<5
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l	29	37	
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/l	4,9	0,11	1,2
Potassium (K)	mg/l	2	2,4	
Cuivre (Cu)	µg/l	<3	<3	<3
Magnésium (Mg)	mg/l	9,7	8,5	
Manganèse (Mn)	µg/l	1600	560	520
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2
Sodium (Na)	mg/l	8	12	
Nickel (Ni)	µg/l	7,9	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l	17000	12000	
Strontium (Sr)	µg/l	110	160	160
Titane (Ti)	µg/l	<5	<5	8,3
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	7,3	<2	<2
Zinc (Zn)	µg/l	110	<10	<10
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l	<0,03	0,06	
Bromure (Br)	mg/l	<1	<1	
Chlorures (Cl)	mg/l	12	51	
Nitrates (NO3)	mg/l	<1	2	
Sulfates (SO4)	mg/l	75	10	
Nitrites (NO2)	mg/l	<0,01	<0,01	
DCO (homogénéisé)	mg/l	<15	<15	
Carbone organique total (COT)	mg/l		0,8	
MES	mg/l			
Cyanures totaux (CN)	mg/l			
Chrome (VI)	mg/l			
Mercure (Hg)	mg/l			
Fluorures (F)	mg/l			
pH		6.75		7,01
Conductivité	µS/cm	370		400
Débit	m^3/h	≈5		
Température	°C	11.8		12,6

AUZ_LS01 et AUZ_LS03 : eaux filtrées
AUZ_LS03B : eau brute

Eaux superficielles dédiées à l'évaluation de l'environnement local témoin (eaux filtrées)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_L01	AUZ_L11	AUZ_L05	AUZ_L14	AUZ_L16	AUZ_L12	AUZ_L13	AUZ_L15	AUZ-L-19 (non analysé)
Aluminium (Al)	µg/l	45	76	32	43	13	72	22	50	
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Arsenic (As)	µg/l	56	45	40	<10	26	51	14	76	
Baryum (Ba)	µg/l	7,6	<5	6,4	180	21	12	22	36	
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Plomb (Pb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	12	
Bore (B)	µg/l	29	<10	<5	28	8,7	8,8	11	<10	
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
Calcium (Ca)	mg/l	5,2	2,8	3,5		8,4	2,8			
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Fer (Fe)	mg/l	0,17	0,15	0,15	0,46	0,19	0,17	0,093	1,5	
Potassium (K)	mg/l	2,5	0,6	1,2		3,2	2,5			
Cuivre (Cu)	µg/l	3,5	<3	3,5	<3	3,4	6,3	<3	<3	
Magnésium (Mg)	mg/l	1,4	0,73	0,95		2,7	1,1			
Manganèse (Mn)	µg/l	5,2	6,3	5,7	17	12	<5	<5	330	
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Sodium (Na)	mg/l	6,7	5,3	4,9		12	4			
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Silicium (Si)	µg/l	7700	7400	7800		8600	6700			
Strontium (Sr)	µg/l	37	18	29	110	89	29	120	72	
Titane (Ti)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
Zinc (Zn)	µg/l	10	28	16	<10	<10	11	<10	15	
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
o-Phosphate (PO4)	mg/l	0,15	0,06	0,12	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,15	
Bromure (Br)	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Chlorures (Cl)	mg/l	6	<5	5	13	18	<5	12	8,7	
Nitrates (NO3)	mg/l	5	2,4	5	1,5	3,1	5,6	14	<1	
Sulfates (SO4)	mg/l	5	<5	4	4,1	6,4	<5	9,8	5,1	
Nitrites (NO2)	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
DCO (homogénéisé)	mg/l	<15	<15	<15			<15			
Carbone organique total (COT)	mg/l	3,6	5,3	3,6		5,7	5,2		10	
MES	mg/l	<5		<5					<5	
Cyanures totaux (CN)	mg/l									
Chrome (VI)	mg/l									
Mercure (Hg)	mg/l									

Eaux superficielles dédiées à l'évaluation de l'environnement local témoin (eaux brutes)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_L01B	AUZ_L11B	AUZ_L05B	AUZ_L14B	AUZ_L16B	AUZ_L12B	AUZ_L13B	AUZ_L15B	AUZ-L-105	AUZ-L-110
Aluminium (Al)	µg/l	170	80	110	180	41	270	640	460	110	200
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	58	45	50	10	26	61	35	79	53	100
Baryum (Ba)	µg/l	9	<5	7	200	21	13	30	37	16	11
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	<5	<5	6,7	<5	<5	<5	5,3	<5	<5	<5
Bore (B)	µg/l	13	<10	<5	21	7,2	8,1	18	<10	<5	<5
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l									2,2	3,3
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/l	0,41	0,16	0,56	1,4	0,25	0,5	1,3	2,7	0,33	1,1
Potassium (K)	mg/l									1,6	1,4
Cuivre (Cu)	µg/l	4,4	<3	<3	<3	<3	9,8	<3	<3	5,3	<3
Magnésium (Mg)	mg/l									1	1
Manganèse (Mn)	µg/l	13	<5	22	130	9,1	11	29	170	6,6	40
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sodium (Na)	mg/l									4,2	8
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l									6300	1200
Strontium (Sr)	µg/l	34	17	30	110	91	29	130	69	28	38
Titane (Ti)	µg/l	13	<10	<10	14	<5	19	81	52	<5	17
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,8	2,2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Zinc (Zn)	µg/l	18	21	23	<10	<10	17	<10	<10	<10	<10
Étain (Sn)	µg/l	6,3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l									0,03	<0,03
Bromure (Br)	mg/l									<1	<1
Chlorures (Cl)	mg/l									<5	9,5
Nitrates (NO3)	mg/l									5,2	<1
Sulfates (SO4)	mg/l									<5	<5
Nitrites (NO2)	mg/l									<0,01	<0,01
DCO (homogénéisé)	mg/l										
Carbone organique total (COT)	mg/l										
MES	mg/l										
Cyanures totaux (CN)	mg/l										
Chrome (VI)	mg/l										
Mercure (Hg)	mg/l										
pH		7,55	7,56	7,54		7,16	7,39	7,13	6,65		
Conductivité	µS/cm	80	40	70		140	60	150	150		
Débit	m^3/h	120	≈5 à 10*			62	≈5 à 10*	0,22			
Température	°C	15,2	9,9	14,9		12,3	12,7	12,3	12,3		

** : difficile à estimer du fait de la végétation importante du ruisseau*

Eaux superficielles potentiellement impactées par l'ancienne activité minière (eaux filtrées)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_L02	AUZ_L03	AUZ_L04	AUZ_L06	AUZ_L07	AUZ_L08	AUZ_L10	AUZ_L17	AUZ_L18
Aluminium (Al)	µg/l	30	20	20	26	16	17<	13	16	26
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	57	42	12	44	35	34	34	35	40
Baryum (Ba)	µg/l	8,1	8,5	7,6	9,3	28	28	25	21	17
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	5,8	19	<5	49	10	11	13	19	33
Bore (B)	µg/l	6,8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	16	7,7
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l				6,1				7,6	6,3
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/l	0,37	0,14	0,29	0,21	0,12	0,13	0,55	0,19	0,21
Potassium (K)	mg/l				2,4				2,5	2,6
Cuivre (Cu)	µg/l	4,3	4,2	3,4	3,3	3,4	<3	3	3,3	3,5
Magnésium (Mg)	mg/l				1,8				2,2	1,7
Manganèse (Mn)	µg/l	93	72	100	20	6	24	13	11	12
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<5
Sodium (Na)	mg/l				5,2				8,1	5,9
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	7,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l				6700				8100	8000
Strontium (Sr)	µg/l	37	37	46	36	51	50	54	63	49
Titane (Ti)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Zinc (Zn)	µg/l	53	97	110	71	19	23	11	35	52
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l	0,12	0,12	<0,03	<0,03	0,31	0,28	0,92	0,02	0,01
Bromure (Br)	mg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Chlorures (Cl)	mg/l	6	6	3	8	12	10	10	9,8	8,3
Nitrates (NO3)	mg/l	4	4	<1	5	5	4	<1	4,2	4,4
Sulfates (SO4)	mg/l	9	9	21	8	13	9	8	8,4	8,7
Nitrites (NO2)	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,04	0,1	0,05
DCO (homogénéisé)	mg/l	<15	<15	<15	19	<15			16	15
Carbone organique total (COT)	mg/l	3,4	4,6	3,7	5.2	3,7	4,1	5,2	6,3	5
MES	mg/l	<5	<5							
Cyanures totaux (CN)	mg/l		<0,01				<0,01	<0,01		
Chrome (VI)	mg/l					<0,01	<0,01	<0,01		
Mercure (Hg)	mg/l						<0,0001			

Eaux superficielles potentiellement impactées par l'ancienne activité minière (eaux brutes)

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_L02B	AUZ_L03B	AUZ_L04B	AUZ_L06B	AUZ_L07B	AUZ_L08B	AUZ_L10B	AUZ_L17B	AUZ_L18B	AUZ-L-103
Aluminium (Al)	µg/l	53	96	100	120	81	160	130	67	100	97
Antimoine (Sb)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	µg/l	66	65	72	59	37	38	45	36	43	40
Baryum (Ba)	µg/l	8,2	9,1	9,8	10	30	31	29	22	17	27
Béryllium (Be)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Plomb (Pb)	µg/l	13	100	49	95	15	19	20	27	44	17
Bore (B)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<15	<10	<10
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	0,67	0,87	<1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Calcium (Ca)	mg/l										6,7
Chrome (Cr)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cobalt (Co)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/l	0,49	0,6	3,8	0,54	0,26	0,41	1,1	0,29	0,36	0,32
Potassium (K)	mg/l										2,3
Cuivre (Cu)	µg/l	4,3	3,5	4,1	3,4	<3	<3	<3	3,1	3,2	<3
Magnésium (Mg)	mg/l										2
Manganèse (Mn)	µg/l	89	78	170	21	8,5	21	55	8,2	12	6,3
Molybdène (Mo)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sodium (Na)	mg/l										6,5
Nickel (Ni)	µg/l	<5	<5	9,2	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Argent (Ag)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Silicium (Si)	µg/l										7400
Strontium (Sr)	µg/l	38	38	47	36	53	51	53	63	50	46
Titane (Ti)	µg/l	<5	8,5	<10	10	12	19	13	5,8	12	12
Vanadium (V)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tungstène (W)	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Zinc (Zn)	µg/l	71	130	160	86	19	34	<10	34	52	16
Étain (Sn)	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
o-Phosphate (PO4)	mg/l										0,09
Bromure (Br)	mg/l										<1
Chlorures (Cl)	mg/l										8,7
Nitrates (NO3)	mg/l										4
Sulfates (SO4)	mg/l										9,3
Nitrites (NO2)	mg/l										<0,01
DCO (homogénéisé)	mg/l										
Carbone organique total (COT)	mg/l										
MES	mg/l										
Cyanures totaux (CN)	mg/l										
Chrome (VI)	mg/l										
Mercure (Hg)	mg/l										
pH		7,42	7,49	7,3	7,45	7,48	7,54		7,25	7,3	
Conductivité	µS/cm	100	100	120	100	120	120		110	100	
Débit	m^3/h	120	130	très faible		700	750		600		
Température	°C	15,3	14,5	13,4	14,5	15,6	15,7		13,3	13,5	

Sols dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_S55	AUZ_S58	AUZ_S57	AUZ_S56	AUZ_S52	AUZ_S51	AUZ-S-105-0-10	AUZ-S-104-0-10	AUZ-S-106-0-30	AUZ-S-100-0-30
Aluminium (Al)	mg/kg MS	21000	17000	30000	19000	25000	24000	27000	23000	20000	14000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	99	29	140	23	400	86	510	330	380	39
Baryum (Ba)	mg/kg MS	170	910	110	180	63	93	110	110	210	150
Béryllium (Be)	mg/kg MS	4,5	1,8	2,7	1,5	1,8	1,5	1,7	1,3	1,2	0,89
Plomb (Pb)	mg/kg MS	36	65	22	22	54	71	100	78	150	55
Bore (B)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5,9	5,9	12	<10
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,41	<0,4	<0,4	<0,4	0,62	<0,4	<1	0,73	0,9	<0,4
Chrome (Cr)	mg/kg MS	27	22	10	26	31	47	46	40	38	24
Cobalt (Co)	mg/kg MS	11	6,4	4,6	7,3	7,8	9,8	12	10	8,5	6,5
Fer (Fe)	mg/kg MS	32000	20000	16000	21000	23000	30000	31000	28000	24000	18000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	22	12	9,2	13	20	24	43	33	40	11
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	1000	340	300	450	560	370	460	500	630	470
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1,1	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	16	10	7,8	12	14	29	23	20	17	10
Argent (Ag)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	33	22	5,5	20	7,6	26	17	20	41	13
Titane (Ti)	mg/kg MS	1500	1400	470	1700	1300	1500	1200	1200	1700	1200
Vanadium (V)	mg/kg MS	43	34	13	39	37	53	55	47	42	31
Tungstène (W)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	2,4	<2	3,1	3,6	<2	<2
Zinc (Zn)	mg/kg MS	110	120	120	93	400	260	170	150	160	79
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	5,5	<5	7,8	7,7	7,1	<5
Matière sèche	% mass MB							65,6	74,6	79,9	74,7
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS							24000	27000	29000	30000
pH								5,9 à 20°C	6,9 à 20°C	6,9 à 20°C	5,6 à 20°C

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-S-101-0-30	AV2-S-115-0-10	AUZ-S-14-0-10	AUZ-S-110-0-3	AUZ-S-111-0-3	AUZ-S-107-0-10	AV2-S-109-3-10	AUZ-S-102-0-30	AUZ-S-35-0-3	AUZ S35 0-20
Aluminium (Al)	mg/kg MS	27000	35000	6200	27000	31000	24000	20000	20000	26000	32000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	11	<5	<5	<5	6,8	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	360	150	16	380	340	190	390	940	410	440
Baryum (Ba)	mg/kg MS	180	160	94	78	74	67	40	99	88	87
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,7	2,6	0,71	2,4	2,7	2,3	1,5	1,3	1,7	2
Plomb (Pb)	mg/kg MS	83	23	21	58	63	83	69	250	64	57
Bore (B)	mg/kg MS	<10	5,5	5,7	8,1	<10	<20	5,5	<5	6,1	<5
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,76	<0,4	<0,4	0,77	0,91	<0,5	<0,4	0,99	<0,4	0,41
Chrome (Cr)	mg/kg MS	36	46	11	43	47	77	29	30	41	47
Cobalt (Co)	mg/kg MS	10	10	3	8,7	10	17	7,3	9	10	11
Fer (Fe)	mg/kg MS	31000	33000	7600	23000	27000	23000	26000	26000	31000	35000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	62	15	5,8	17	19	18	28	52	31	34
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	890	450	250	500	840	360	280	540	440	400
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	16	18	4,8	16	18	36	16	16	21	25
Argent (Ag)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	37	16	20	8,9	11	18	8,2	18	12	9,6
Titane (Ti)	mg/kg MS	1700	3400	380	1600	1700	750	910	780	1200	1400
Vanadium (V)	mg/kg MS	50	57	15	38	44	42	39	38	53	60
Tungstène (W)	mg/kg MS	4	<2	<2	<2	<2	<2	2,2	10	4,3	4,6
Zinc (Zn)	mg/kg MS	170	100	44	130	150	110	120	190	130	150
Étain (Sn)	mg/kg MS	13	7,8	<5	7,1	6	<5	<5	6,3	6	<5
Matière sèche	% mass MB	80,3	88,9	82				87,2	73,8		
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	24000	12000	31000				44000	26000		
pH		6,9 à 20°C							4,8 à 20°C		

Sols potentiellement impactés par l'ancienne activité minière

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_S54	AUZ_S50	AUZ-S-114-0-10	AUZ-S-29-0-10	AUZ-S -10-0-30	AUZ-S-27-0-10	AUZ-S-33-0-10	AUZ-S-34-0-30	AUZ-S-41-0-10
Aluminium (Al)	mg/kg MS	16000	15000	19000	13000	31000	19000	20000	14000	8600
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	29	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	56	710	97	38	470	110	52	63	62
Baryum (Ba)	mg/kg MS	150	39	85	120	170	220	340	200	81
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,6	1,6	1,7	1,4	1,9	1,8	2,2	1,9	0,86
Plomb (Pb)	mg/kg MS	150	5700	31	210	170	710	44	96	440
Bore (B)	mg/kg MS	<5	<5	6,9	8	5,2	5,8	5,2	7,6	6,8
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,57	0,81	<0,4	<0,5	0,91	<2	<0,4	0,65	0,58
Chrome (Cr)	mg/kg MS	31	24	31	20	42	36	40	37	17
Cobalt (Co)	mg/kg MS	7,8	11	7,9	5,6	12	10	9,4	8	4,7
Fer (Fe)	mg/kg MS	19000	24000	21000	15000	34000	26000	24000	19000	13000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	24	36	18	8,6	47	17	9	20	7,3
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	490	1000	560	340	610	560	430	450	230
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	4,1	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	15	12	14	9,2	18	19	17	22	9,7
Argent (Ag)	mg/kg MS	<5	13	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	16	7,8	13	20	22	24	24	18	14
Titane (Ti)	mg/kg MS	1200	730	1500	880	1800	1600	1200	1200	740
Vanadium (V)	mg/kg MS	33	26	37	28	57	44	46	33	20
Tungstène (W)	mg/kg MS	<2	11	47	2,7	2,8	3,7	<2	2,1	2,5
Zinc (Zn)	mg/kg MS	160	380	92	78	170	220	85	140	150
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	5,2	<5	<5	9,8	5,9	<5	19	<5
Matière sèche	% mass MB			83,8	78,5	86,8	69,9		85,5	
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS			24000	21000	12000	22000	35000	15000	13000
pH						4,9 à 20°C				

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-S-30-0-3	AUZ-S-30bis-0-3	AUZ-S-39-0-10	AUZ-S-23-0-3	AUZ-S-108-0-3	AUZ-S-37 0-20	AUZ-S-36-0-10	AUZ-S-113-0-3	AUZ-S-112-0-30
Aluminium (Al)	mg/kg MS	15000	13000	14000	15000	25000	19000	32000	28000	24000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	<5	9,6	15	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	100	62	240	420	290	310	120	250	200
Baryum (Ba)	mg/kg MS	130	120	64	67	85	110	170	140	160
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,3	1,2	1,9	2	2	1,9	2,5	1,9	1,4
Plomb (Pb)	mg/kg MS	730	180	2000	4700	260	310	49	100	130
Bore (B)	mg/kg MS	6,5	<5	7,9	<10	9,4	<5	7,4	10	<10
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,95	<0,4	1,5	3,1	<1	1	0,6	0,62	<0,5
Chrome (Cr)	mg/kg MS	27	23	27	29	35	29	44	46	44
Cobalt (Co)	mg/kg MS	7,2	6,3	7,2	8,5	9,4	9,2	11	11	9,7
Fer (Fe)	mg/kg MS	20000	18000	21000	25000	26000	24000	30000	29000	28000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	14	10	21	32	25	29	19	23	24
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	430	380	460	610	660	830	540	650	610
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	15	11	17	19	17	17	18	21	20
Argent (Ag)	mg/kg MS	<5	<5	<5	6,8	<5	<5	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	17	12	16	20	18	30	16	21	24
Titane (Ti)	mg/kg MS	1200	1200	1100	870	1800	1300	3400	2300	2000
Vanadium (V)	mg/kg MS	33	29	30	32	41	37	53	47	44
Tungstène (W)	mg/kg MS	3,7	9,7	18	22	7,2	19	<2	2,4	2,1
Zinc (Zn)	mg/kg MS	220	110	310	450	180	150	98	140	140
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	<5	6,4	5,2	6,5	7,8	6,3	6,2	7,2
Matière sèche	% mass MB				68,8				80,3	78,9
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS				20000					34000
pH					5,6 à 20°C					

Sédiments dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_SED01	AUZ_SED05	AUZ_SED15
Aluminium (Al)	mg/kg MS	13000	23000	34000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	310	610	42
Baryum (Ba)	mg/kg MS	63	130	390
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,9	5,5	3,4
Plomb (Pb)	mg/kg MS	53	78	27
Bore (B)	mg/kg MS	<10	<10	19
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	1,6	5,5	0,53
Chrome (Cr)	mg/kg MS	19	26	57
Cobalt (Co)	mg/kg MS	7,2	15	15
Fer (Fe)	mg/kg MS	19000	32000	40000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	27	48	23
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	460	1300	1600
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	12	19	26
Argent (Ag)	mg/kg MS	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	19	57	53
Titane (Ti)	mg/kg MS	680	700	2900
Vanadium (V)	mg/kg MS	23	33	71
Tungstène (W)	mg/kg MS	22	47	<2
Zinc (Zn)	mg/kg MS	130	570	110
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	5,8	6
Matière sèche	% mass MB		26,6	
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS		23000	

Sables dédiés à l'évaluation de l'environnement local témoin

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_SED01G	AUZ_SED05G	AUZ_SED11G	AUZ_SED15G
Aluminium (Al)	mg/kg MS	6800	5000	7700	9700
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	150	83	140	23
Baryum (Ba)	mg/kg MS	30	21	21	59
Béryllium (Be)	mg/kg MS	0,84	0,73	1,6	0,98
Plomb (Pb)	mg/kg MS	26	16	53	7,4
Bore (B)	mg/kg MS	<10	<10	7,9	8,6
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,57	0,43	1,7	<0,4
Chrome (Cr)	mg/kg MS	11	6,8	6,3	19
Cobalt (Co)	mg/kg MS	3,3	2,7	4,2	5,4
Fer (Fe)	mg/kg MS	11000	8500	10000	15000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	15	9,2	4,6	8
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	200	190	330	240
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	7,1	5,2	5,4	12
Argent (Ag)	mg/kg MS	<10	<10	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	8,5	6,2	8	9,9
Titane (Ti)	mg/kg MS	390	230	250	790
Vanadium (V)	mg/kg MS	14	8,4	8,1	24
Tungstène (W)	mg/kg MS	37	5,3	<2	<2
Zinc (Zn)	mg/kg MS	58	48	130	43
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5
Matière sèche	% mass MB			93,1	
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS			3200	

Sédiments potentiellement impactés par l'ancienne activité minière

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_SED02	AUZ_SED03	AUZ_SED03J	AUZ_SED07	AUZ_SED08	AUZ_SED09	AUZ_SED10	AUZ_SED10-120	AUZ_SED17	AUZ_SED18	AUZ_SED01B *
Aluminium (Al)	mg/kg MS	16000	15000	4700	16000	17000	30000	13000	16000	17000	19000	540
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	25	31	32	<5	6,7	8,9	<5	<5	<5	7,8	22
Arsenic (As)	mg/kg MS	790	660	340	100	280	260	43	70	110	200	13000
Baryum (Ba)	mg/kg MS	83	63	19	170	190	300	98	150	140	150	390
Béryllium (Be)	mg/kg MS	3,2	3	1,1	1,9	2,8	3,9	2,2	2,8	2,4	2,8	18
Plomb (Pb)	mg/kg MS	7900	12000	8200	600	2400	2000	74	110	520	2000	1700
Bore (B)	mg/kg MS	<10	<10	<10	<5	5,4	6,5	<5	5,5	12	12	<10
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	6,8	6,2	5,1	1,6	4,9	4,7	<1	0,93	1,6	3,5	37
Chrome (Cr)	mg/kg MS	25	25	11	36	31	100	24	53	28	35	<2
Cobalt (Co)	mg/kg MS		8,6	3,8	9,2	9,3	14	6,3	9,2	8,8	9,5	31
Fer (Fe)	mg/kg MS	28000	25000	10000	23000	23000	39000	17000	22000	22000	25000	250000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	45	48	20	14	30	39	17	28	15	25	4,4
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	1000	580	330	550	550	490	320	350	560	550	31000
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3,9
Nickel (Ni)	mg/kg MS	21	20	13	18	21	31	13	18	16	20	72
Argent (Ag)	mg/kg MS	11	12	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	31	24	11	22	31	32	17	20	23	25	45
Titane (Ti)	mg/kg MS	720	650	220	1200	1400	2100	710	1000	1200	1600	20
Vanadium (V)	mg/kg MS	29	27	10	35	34	60	23	32	34	40	2,3
Tungstène (W)	mg/kg MS	17	19	3,9	4,7	8	7,3	<2	3,1	3,9	9,4	270
Zinc (Zn)	mg/kg MS	840	740	670	270	430	560	110	210	300	450	6700
Étain (Sn)	mg/kg MS	5,5	6,4	<5	5,2	<5	9,3	<5	5,7	11	9,5	<5
Matière sèche	% mass MB		36,8		85,4	29.3		26.6				
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS		22000									

*: *oxyhydroxydes de fer prélevés en sortie de la résurgence minière de la Molette*

Sédiments potentiellement impactés par l'ancienne activité minière (analyses HAP)

N° d'échantillon	Unité	AUZ_SED08	AUZ_SED10
Naphthalène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Acénaphtylène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Acénaphtène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Fluorène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Phénanthrène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,06	0,38
Pyrène	mg/kg MS	<0,05	0,3
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Chrysène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Benzo(b)fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,06	0,3
Benzo(k)fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Benzo(a)pyrène (*)	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Benzo(ghi)pérylène (*)	mg/kg MS	<0,05	<0,05
Indéno(123-cd)pyrène (*)	mg/kg MS	<0,05	<0,06
Somme des HAP	mg/kg MS	-/-	0,98

Sables potentiellement impactés par l'ancienne activité minière

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_SED02G	AUZ_SED03G	AUZ_SED07G	AUZ_SED08G	AUZ_SED17G	AUZ_SED18G	AUZ_SED30F	AUZ_SED30M	AUZ_SED100	AUZ_SED101
Aluminium (Al)	mg/kg MS	3300	3200	7000	3600	5800	5700	6400	4400	5800	7000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	62	42	<5	<5	<5	<5	<5	81	6,6	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	630	600	55	55	39	110	89	420	190	110
Baryum (Ba)	mg/kg MS	18	19	79	48	50	61	44	27	27	80
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,5	1	0,86	0,5	0,95	0,78	0,73	2,3	1	0,9
Plomb (Pb)	mg/kg MS	16000	9500	220	230	140	450	520	26000	1200	510
Bore (B)	mg/kg MS	<10	<10	<5	<5	8	8,8	<10	<10	5,3	5,8
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	16	7,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,58	0,56	120	1,2	<1
Chrome (Cr)	mg/kg MS	15	10	17	7,9	11	12	12	14	11	13
Cobalt (Co)	mg/kg MS	6,1	4,4	4,7	2,6	3,5	3,1	3,7	10	4	3,8
Fer (Fe)	mg/kg MS	9900	9400	11000	6800	9600	9500	11000	8300	9600	11000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	42	23	5,6	3,7	5,4	7,6	6,5	47	10	8,6
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	460	310	240	130	210	170	200	370	300	200
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	29	20	10	6,2	6,1	7,9	7,5	65	9,1	9,1
Argent (Ag)	mg/kg MS	26	23	<5	<5	<5	<5	<5	40	<5	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	13	12	11	8,3	8,8	7,7	8,5	14	8,8	11
Titane (Ti)	mg/kg MS	60	110	720	330	460	490	480	38	370	550
Vanadium (V)	mg/kg MS	11	8,6	17	9,3	15	14	14	8,8	13	16
Tungstène (W)	mg/kg MS	<2	2,6	<2	3,7	3,5	2,3	4,3	2,4	6,5	14
Zinc (Zn)	mg/kg MS	1900	910	89	66	66	120	140	4000	210	120
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	6,6	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5
Matière sèche	% mass MB							73	78,1	81,4	75
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS							<1400	<1400	2700	2800

Résidus miniers de la Molette

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_S08-3-6	AUZ_SOL04 BIS	AUZ_S07-5-10	AUZ_S08BIS-0-30	AUZ_S07-0-3	AUZ_S04-0-3	AUZ_S07 BIS-10-25	AUZ_S06-0-3	AUZ_S06-3-30
Aluminium (Al)	mg/kg MS	9100	2700	5900	1100	4000	2800	4100	2600	5000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	91	140	67	200	100	86	280	57	73
Arsenic (As)	mg/kg MS	1000	570	2000	1000	1800	780	1500	360	530
Baryum (Ba)	mg/kg MS	42	20	46	19	26	17	59	15	25
Béryllium (Be)	mg/kg MS	1,5	1,5	0,65	<0,5	0,54	1,3	0,54	0,7	1
Plomb (Pb)	mg/kg MS	15000	48000	16000	75000	21000	26000	42000	10000	17000
Bore (B)	mg/kg MS	<10	<10	<10	5,1	<5	<5	<5	<5	<5
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	1,7	120	0,64	2,4	0,5	13	2,5	<0,4	0,85
Chrome (Cr)	mg/kg MS	18	11	15	3,2	9,5	11	8,6	6,1	12
Cobalt (Co)	mg/kg MS	2,4	11	4,9	<2	2	3,7	<2	<2	<2
Fer (Fe)	mg/kg MS	21000	9100	54000	17000	27000	13000	26000	6200	10000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	54	54	120	77	56	62	70	14	26
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	120	630	85	16	50	400	45	32	59
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	<2	3,3	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	10	95	12	<3	6,2	21	6,8	3,3	5,2
Argent (Ag)	mg/kg MS	40	74	32	170	52	43	150	36	38
Strontium (Sr)	mg/kg MS	11	9,8	12	18	12	11	19	6,1	8,2
Titane (Ti)	mg/kg MS	310	36	360	38	200	37	370	56	100
Vanadium (V)	mg/kg MS	16	6	16	4,1	9,3	7,4	12	5	9,3
Tungstène (W)	mg/kg MS	3,8	2,1	4,2	<2	3,1	<2	3,9	7,4	2,4
Zinc (Zn)	mg/kg MS	1000	5000	430	760	500	1600	830	190	320
Étain (Sn)	mg/kg MS	5,7	5,5	7,5	10	5,3	<5	5,9	<5	<5
Matière sèche	% mass MB									
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS									
pH	MB									

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_S42-0-3	AUZ_S08-6-30bis	AUZ_S44-0-3	AUZ_S42BIS-0-20	AUZ_S48-0-3	AUZ_S08-6-30	AUZ_S08TER-0-30	AUZ_S05TER-15-35
Aluminium (Al)	mg/kg MS	2200	14000	2200	2900	2000	9100	6600	5000
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	58	150	66	59	88	110	120	<5
Arsenic (As)	mg/kg MS	340	1600	760	550	640	1200	890	100
Baryum (Ba)	mg/kg MS	14	62	12	14	15	46	41	40
Béryllium (Be)	mg/kg MS	<0,5	1,9	1,3	<0,5	<0,5	1,4	2,4	0,7
Plomb (Pb)	mg/kg MS	17000	29000	23000	13000	18000	23000	17000	570
Bore (B)	mg/kg MS	<5	<5	<5	<5	<5	<10	8	<10
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	<0,4	2,9	14	1,5	<0,5	1,9	5	0,63
Chrome (Cr)	mg/kg MS	5,1	24	10	9,3	5,2	17	21	9,1
Cobalt (Co)	mg/kg MS	<2	3,1	5,7	<2	<2	2,5	2,6	2,9
Fer (Fe)	mg/kg MS	5700	30000	10000	9900	8100	24000	17000	9200
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	14	78	54	24	24	57	33	5,8
Manganèse (Mn)	mg/kg MS	31	150	460	42	14	110	200	140
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	<2	2,1	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nickel (Ni)	mg/kg MS	<3	13	37	4	<3	10	13	7,5
Argent (Ag)	mg/kg MS	41	67	36	35	46	49	54	<5
Strontium (Sr)	mg/kg MS	7,4	15	12	7	8,5	12	13	8,8
Titane (Ti)	mg/kg MS	45	340	30	110	38	300	110	360
Vanadium (V)	mg/kg MS	4,3	22	5,5	7,6	4	17	14	12
Tungstène (W)	mg/kg MS	<2	4,4	<2	<2	2,3	3,9	4,3	3,4
Zinc (Zn)	mg/kg MS	210	1100	1600	560	350	1200	770	120
Étain (Sn)	mg/kg MS	<5	7,4	<5	<5	<5	6,3	7,9	<5
Matière sèche	% mass MB							64,5	71,2
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS								
pH	MB								

Résidus miniers de la Molette (analyses HAP)

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ_S08Ter-0-30	AUZ_S05Ter-15-35	AUZ_S-07-5-10
Naphthalène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Acénaphtylène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Acénaphtène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Fluorène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Phénanthrène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	0,16
Anthracène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Pyrène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Chrysène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	0,047
Benzo(b)fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Benzo(k)fluoranthène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Benzo(a)pyrène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Benzo(ghi)pérylène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Indéno(123-cd)pyrène (*)	mg/kg MS	<0,03	<0,03	<0,03
Somme des HAP	mg/kg MS	-/-	-/-	0,21

Végétaux (1)

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-VEG-102-POIR-F	AUZ-VEG-102-POIR-T	AUZ-VEG-102-BRO	AUZ-VEG-102-CAR	AUZ-VEG-102-CORN	AUZ-VEG-102-SAL	AUZ-VEG-102-BE
Mercure (Hg)	mg/kg MB	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimoine (Sb)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsenic (As)	mg/kg MB	0,24	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	0,89	0,46
Plomb (Pb)	mg/kg MB	0,085	0,037	0,029	0,14	<0,02	0,49	0,54
Cadmium (Cd)	mg/kg MB	0,11	0,15	0,03	0,088	<0,01	0,21	0,12
Chrome (Cr)	mg/kg MB	2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cobalt (Co)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fer (Fe)	mg/kg MB	25	3,9	7,8	3,6	1,9	36	4,7
Cuivre (Cu)	mg/kg MB	0,73	0,64	0,47	0,42	0,29	0,72	1,2
Nickel (Ni)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	0,44	0,24	<0,2	0,21	0,21
Argent (Ag)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tungstène (W)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (Zn)	mg/kg MB	2,8	4,4		2,3	<1	2,6	13
Masse sèche	g/100 g MB	9,2	12	13	9,5	4,2	4,8	11
Eau	g/100 g MB	91	88	87	91	96	95	90

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-VEG-02-SAL	AUZ-VEG-02-COU	AUZ-VEG-02-TOM	AUZ-VEG-02-CIT	AUZ-VEG-01-H	AUZ-VEG-17-H	AUZ-VEG-11-H	AUZ-VEG-16-H
Mercure (Hg)	mg/kg MB	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimoine (Sb)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsenic (As)	mg/kg MB	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,78	0,24	0,3	0,12
Plomb (Pb)	mg/kg MB	0,039	<0,02	<0,02	<0,02	29	2,2	4,2	0,44
Cadmium (Cd)	mg/kg MB	0,068	<0,01	0,02	0,051	0,16	0,21	0,088	0,039
Chrome (Cr)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cobalt (Co)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fer (Fe)	mg/kg MB	8,4	2,5	2,3	5	63	67	67	66
Cuivre (Cu)	mg/kg MB	0,47	0,28	0,4	0,99	1,1	1,7	2,3	1,5
Nickel (Ni)	mg/kg MB	0,28	<0,2	<0,2	0,28	0,49	0,32	0,28	0,35
Argent (Ag)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tungstène (W)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (Zn)	mg/kg MB	2,3	1,7	<1	5,6	17	11	12	8,5
Masse sèche	g/100 g MB	4,3	3,7	6,5	24	12	15	23	26
Eau	g/100 g MB	96	96	94	76	88	85	77	74

Végétaux (2)

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-VEG-100-CAR	AUZ-VEG-100-PDT-B	AUZ-VEG-100--PDT-R	AUZ-VEG-100-CHOU	AUZ-VEG-100-POIR-F	AUZ-VEG-100-POIR-T	AUZ-VEG-100-SAL
Mercure (Hg)	mg/kg MB	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimoine (Sb)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsenic (As)	mg/kg MB	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	0,63	<0,1	0,23
Plomb (Pb)	mg/kg MB	0,32	0,02	0,029	0,04	0,54	0,041	0,13
Cadmium (Cd)	mg/kg MB	0,044	0,012	0,016	0,013	<0,01	0,016	0,059
Chrome (Cr)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cobalt (Co)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fer (Fe)	mg/kg MB	11	10	12	13	60	5,1	26
Cuivre (Cu)	mg/kg MB	0,32	0,79	1	0,38	0,72	0,87	0,48
Nickel (Ni)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Argent (Ag)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tungstène (W)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (Zn)	mg/kg MB	2,4	1,9	2,2	3,1	1,6	3,1	1,9
Masse sèche	g/100 g MB	8,8	19	19	9,6	8,8	13	4,8
Eau	g/100 g MB	91	81	81	90	91	87	95

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-VEG-12-POIR-T	AUZ-VEG-12-POIR-F	AUZ-VEG-12-CAR	AUZ-VEG-105-H	AUZ-VEG-106-BLE-T	AUZ-VEG-106-BLE-F
Mercure (Hg)	mg/kg MB	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimoine (Sb)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsenic (As)	mg/kg MB	<0,1	<0,1	<0,1	0,34	<0,1	<0,1
Plomb (Pb)	mg/kg MB	0,088	0,16	0,22	0,14	0,2	0,2
Cadmium (Cd)	mg/kg MB	0,19	0,1	0,12	0,055	<0,01	0,014
Chrome (Cr)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cobalt (Co)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fer (Fe)	mg/kg MB	13	22	6,4	35	7,1	19
Cuivre (Cu)	mg/kg MB	0,91	0,91	0,36	1,3	0,47	0,91
Nickel (Ni)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Argent (Ag)	mg/kg MB	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tungstène (W)	mg/kg MB	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (Zn)	mg/kg MB	12	7,1	7,2	2,8	<1	2
Masse sèche	g/100 g MB	13	9,1	8,3	13	5,8	5,6
Eau	g/100 g MB	87	91	92	87	94	94

Analyses granulométriques

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-S-114-0-10	AUZ-S-29-0-10	AUZ-S-109-3-10	AUZ-S-115-0-10	AUZ-S-105-0-10	AUZ-S-104-0-10	AUZ-S-106-0-30	AUZ-S-102-0-30	AUZ-S-10-0-30	AUZ-S-100-0-30	AUZ-S-101-0-30
Sables grossiers	g/kg	430	460	610	640	320	450	560	460	610	370	450
Sables fins	g/kg	240	220	150	170	180	130	130	140	140	140	130
Limons grossiers	g/kg	78	70	48	86	120	85	77	87	56	97	90
Limons fins	g/kg	120	110	100	52	210	170	120	180	78	220	170
Argile	g/kg	140	140	94	45	170	160	120	140	120	180	160

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-S-23-0-3	AUZ-S-112-0-30	AUZ-S-14-0-10	AUZ-S-27-0-10	AUZ-S-33-0-10	AUZ-S-34-0-30	AUZ-S-36-0-10	AUZ-S-107-0-10	AUZ-S-108-0-3	AUZ-S-110-0-3	AUZ-S-111-0-3
Sables grossiers	g/kg	450	410	600	410	350	650	520	280	500	410	390
Sables fins	g/kg	380	150	160	300	140	120	160	190	130	130	130
Limons grossiers	g/kg	63	89	44	71	110	55	89	110	83	79	73
Limons fins	g/kg	48	180	67	86	200	76	120	200	130	180	200
Argile	g/kg	63	170	130	130	190	100	110	220	160	200	210

Désignation d'échantillon	Unite	AUZ-S41-0-10	AUZ-S-30-0-3	AUZ-S-35-0-3	AUZ-S-07-5-10	AUZ_SED 30F	AUZ_SED 30M	AUZ_SED 03G	AUZ_SED 05G	AUZ_SED 01G	AUZ_SED 02G	AUZ_SED 07G
Sables grossiers	g/kg	670	510	400	550	910	860	910	910	930	660	910
Sables fins	g/kg	200	350	160	190	41	83	41	61	44	240	51
Limons grossiers	g/kg	43	52	88	72	11	16	11	15	6	27	5
Limons fins	g/kg	25	42	190	110	4	4	6	2	9	29	5
Argile	g/kg	56	49	160	89	30	32	32	13	7	46	26

Désignation d'échantillon	Unité	AUZ_SED 08G	AUZ_SED 11G	AUZ_SED 100	AUZ_SED 101	AUZ_SED 07G	AUZ_SED 11G
Sables grossiers	g/kg	920	920	860	750	910	920
Sables fins	g/kg	43	56	90	190	51	56
Limons grossiers	g/kg	14	6	12	21	5	6
Limons fins	g/kg	3	7	8	8	5	7
Argile	g/kg	19	11	29	29	26	11

Incertitudes analytiques

SOL	Substance	Incertitude
METAUX ET METALLOIDES	Ag	15%
	Sb	20%
	As	15%
	Cd	15%
	Cr	15%
	Cu	15%
	Co	15%
	Fe	20%
	Hg	20%
	Ni	15%
	Pb	15%
	W	20%
	Zn	20%

SOL	Substance	Incertitude
METAUX ET METALLOIDES	Al	13%
	Sb	24%
	Ag	24%
	As	12%
	Ba	23%
	Be	23%
	B	10%
	Cd	21%
	Cr	12%
	Co	24%
	Cu	13%
	Sn	24%
	Fe	26%
	Mn	23%
	Mo	24%
	Ni	12%
	Pb	13%
	Sr	23%
	Ti	24%
	V	24%
	W	-
	Zn	12%
CATIONS MAJEURS	Ca	22%
	Mg	25%
	K	24%
	Si	-
	Na	25%
PARAM. PHYS.	pH	11%
	COT	26%
GRANULOMETRIE	Sables grossiers	10%
	Sables fins	10%
	Limons grossiers	10%
	Limons fins	10%
	Argile	10%

SOL	Substance	Incertitude
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES	N	17%
	Acyl	17%
	Ace	16%
	Fle	29%
	Phen	26%
	Anthr	19%
	F	24%
	Pyr	21%
	B[a]A	23%
	Chrys	18%
	B[b]	22%
	B[k]F	28%
	B[a]P	33%
	DB[ah]A	32%
	B[ghi]P	25%
	I[cd]P	32%

EAU	Substance	Incertitude
METAUX et METALLOIDES	Al	17%
	Sb	19%
	Ag	23%
	As	15%
	Ba	15%
	Be	14%
	B	-
	Cd	25%
	Cr	15%
	Co	16%
	Cu	15%
	Sn	19%
	Fe	22%
	Fe II	-
	Fe III	-
	Mn	16%
	Mo	19%
	Ni	15%
	Pb	15%
	Sr	15%
	Ti	15%
	V	16%
	W	-
	Zn	22%
ANIONS	Br	11%
	Cl	9%
	CO3	-
	HCO3	-
	NO3	8%
	NO2	24%
	PO4	-
	SO4	8%
CATIONS	Ca	22%
	Mg	22%
	K	22%
	Si	-
	Na	22%
	NH4	26%
PARAM. PHYS. CHIMIQUES	pH	-
	Cond.	-
	DCO	22%
	COT	12%
	MES	17%

SEDIMENTS	Substance	Incertitude
METAUX ET METALLOIDES	Al	13%
	Sb	24%
	Ag	24%
	As	12%
	Ba	23%
	Be	23%
	B	10%
	Cd	21%
	Cr	12%
	Co	24%
	Cu	13%
	Sn	24%
	Fe	26%
	Mn	23%
	Mo	24%
	Ni	12%
	Pb	13%
	Sr	23%
	Ti	24%
	V	24%
	W	15%
	Zn	12%
PARAM. PHYS.	pH	11%
	COT	26%
GRANULOMETRIE	Sables grossiers	10%
	Sables fins	10%
	Limons grossiers	10%
	Limons fins	10%
	Argile	10%

VEGETAUX	Substance	Incertitude
METAUX ET METALLOIDES	Ag	15%
	Sb	20%
	As	15%
	Cd	15%
	Cr	15%
	Cu	15%
	Co	15%
	Fe	20%
	Hg	20%
	Ni	15%
	Pb	15%
	W	20%
	Zn	20%

Désignation d'échantillon	N° d'échantillon	"type" de végétaux	végétaux	Masse sèche	Eau	Argent (Ag)	Antimoine (Sb)	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Cobalt (Co)	Fer (Fe)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Tungstène (W)	Zinc (Zn)
			Unités	g/100 g MB	g/100 g MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB	mg/kg MB
			limite de quantification (*)			*0,2*	*0,2*	*0,1*	*0,01*	*0,2*	*-*	*0,2*	*-*	*0,005*	*0,2*	*0,02*	*0,2*	*1*
			incertitude (**)			*15%*	*20%*	*15%*	*15%*	*15%*	*15%*	*15%*	*20%*	*20%*	*15%*	*15%*	*20%*	*20%*
AUZ-VEG-102-SAL	12-116733-06	légume feuilles	salade	4,8	95	<0,2	<0,2	0,89	0,21	<0,2	0,72	<0,2	36	<0,005	0,21	0,49	<0,2	2,6
AUZ-VEG-102-POIR-F	12-116733-01	légume feuilles	feuilles de poireau	9,2	91	<0,2	<0,2	0,24	0,11	2	0,73	<0,2	25	<0,005	<0,2	0,085	<0,2	2,8
AUZ-VEG-102-POIR-T	12-116733-02	légume tige	tiges/blancs de poireau	12	88	<0,2	<0,2	0,13	0,15	<0,2	0,64	<0,2	3,9	<0,005	<0,2	0,037	<0,2	4,4
AUZ-VEG-102-BE	12-116733-07	légume racine	betteraves	11	90	<0,2	<0,2	0,46	0,12	<0,2	1,2	<0,2	4,7	<0,005	0,21	0,54	<0,2	13
AUZ-VEG-102-CAR	12-116733-04	légume racine	carottes	9,5	91	<0,2	<0,2	<0,1	0,088	<0,2	0,42	<0,2	3,6	<0,005	0,24	0,14	<0,2	2,3
AUZ-VEG-102-BRO	12-116733-03	légume fleur	brocoli	13	87	<0,2	<0,2	<0,1	0,03	<0,2	0,47	<0,2	7,8	<0,005	0,44	0,029	<0,2	
AUZ-VEG-102-CORN	12-116733-05	légume fruits	cornichon	4,2	96	<0,2	<0,2	<0,1	<0,01	<0,2	0,29	<0,2	1,9	<0,005	<0,2	<0,02	<0,2	<1
AUZ-VEG-12-POIR-F	12-117602-02	légume feuilles	feuilles de poireau	9,1	91	<5	<0,2	<0,1	0,1	<0,2	0,91	<0,2	22	<0,005	<0,2	0,16	<0,2	7,1
AUZ-VEG-12-POIR-T	12-117602-01	légume tige	tiges/blancs de poireau	13	87	<5	<0,2	<0,1	0,19	<0,2	0,91	<0,2	13	<0,005	<0,2	0,088	<0,2	12
AUZ-VEG-12-CAR	12-117602-03	légume racine	carottes	8,3	92	<5	<0,2	<0,1	0,12	<0,2	0,36	<0,2	6,4	<0,005	<0,2	0,22	<0,2	7,2
AUZ-VEG-106-BLE-F	12-117602-06	légume feuilles	feuilles de blettes	5,6	94	<5	<0,2	<0,1	0,014	<0,2	0,91	<0,2	19	<0,005	<0,2	0,2	<0,2	2
AUZ-VEG-106-BLE-T	12-117602-05	légume tige	tiges/blancs de blettes	5,8	94	<5	<0,2	<0,1	<0,01	<0,2	0,47	<0,2	7,1	<0,005	<0,2	0,2	<0,2	<1
AUZ-VEG-02-SAL	12-116727-01	légume feuilles	salade	4,3	96	<0,2	<0,2	<0,1	0,068	<0,2	0,47	<0,2	8,4	<0,005	0,28	0,039	<0,2	2,3
AUZ-VEG-02-COU	12-116727-03	légume fruit	courgettes	24	76	<0,2	<0,2	<0,1	<0,01	<0,2	0,28	<0,2	2,5	<0,005	<0,2	<0,02	<0,2	1,7
AUZ-VEG-02-TOM	12-116727-04	légume fruit	tomates	3,7	96	<0,2	<0,2	<0,1	0,02	<0,2	0,4	<0,2	2,3	<0,005	<0,2	<0,02	<0,2	<1
AUZ-VEG-02-CIT	12-116727-02	légume fruit	citrouille	6,5	94	<0,2	<0,2	<0,1	0,051	<0,2	0,99	<0,2	5	<0,005	0,28	<0,02	<0,2	5,6
AUZ-VEG-100-CAR	12-116719-01	légume racine	carottes	8,8	91	<0,2	<0,2	<0,1	0,044	<0,2	0,32	<0,2	11	<0,005	<0,2	0,32	<0,2	2,4
AUZ-VEG-100-PDT-B	12-116719-02	tubercule	pommes de terre (Belle Fontenai)	19	81	<0,2	<0,2	<0,1	0,012	<0,2	0,79	<0,2	10	<0,005	<0,2	0,02	<0,2	1,9
AUZ-VEG-100-PDT-R	12-116719-03	tubercule	pommes de terre (rouges Roseval)	19	81	<0,2	<0,2	<0,1	0,016	<0,2	1	<0,2	12	<0,005	<0,2	0,029	<0,2	2,2
AUZ-VEG-100-CHOU	12-116719-04	légume feuille	choux	9,6	90	<0,2	<0,2	0,12	0,013	<0,2	0,38	<0,2	13	<0,005	<0,2	0,04	<0,2	3,1
AUZ-VEG-100-SAL	12-116719-07	légume feuille	salade	4,8	95	<0,2	<0,2	0,23	0,059	<0,2	0,48	<0,2	26	<0,005	<0,2	0,13	<0,2	1,9
AUZ-VEG-100-POIR-F	12-116719-05	légume feuille	feuilles de poireau	8,8	91	<0,2	<0,2	0,63	<0,01	<0,2	0,72	<0,2	60	<0,005	<0,2	0,54	<0,2	1,6
AUZ-VEG-100-POIR-T	12-116719-06	légume tige	tiges/blancs de poireau	13	87	<0,2	<0,2	<0,1	0,016	<0,2	0,87	<0,2	5,1	<0,005	<0,2	0,041	<0,2	3,1
AUZ-VEG-01-H	12-116719-08	herbes de prairie	herbes de prairie	12	88	<0,2	<0,2	0,78	0,16	<0,2	1,1	<0,2	63	<0,005	0,49	29	<0,2	17
AUZ-VEG-17-H	12-118401-01	herbes de prairie	herbes de prairie	15	85	<0,2	<0,2	0,24	0,21	<0,2	1,7	<0,2	67	<0,005	0,32	2,2	<0,2	11
AUZ VEG 11 H	12-117587-01	herbes de prairie	herbes de prairie	23	77	<0,2	<0,2	0,3	0,088	<0,2	2,3	<0,2	67	<0,005	0,28	4,2	<0,2	12
AUZ VEG 16 H	12-117587-02	herbes de prairie	herbes de prairie	26	74	<0,2	<0,2	0,12	0,039	<0,2	1,5	<0,2	66	<0,005	0,35	0,44	<0,2	8,5
AUZ-VEG-105-H	12-117602-04	herbes de prairie	herbes de prairie	13	87	<5	<0,2	0,34	0,055	<0,2	1,3	<0,2	35	<0,005	<0,2	0,14	<0,2	2,8

Légende	
MB	matière brute
< X	concentration inférieure à la limite de quantification de X
(*)	" - " : toutes les concentrations sur les borderaux étant supérieures à la LQ, cette dernière n'est pas reprécisée dans les bordereaux
(**)	valeur d'incertitude calculée avec la méthode GUN, valeur identique aux incertitudes level2, level3, level4, level5

ANNEXE 7

Généralités sur les calculs de risques sanitaires

1.1. Evaluation de la toxicité et valeurs toxicologiques de référence

Généralités

L'évaluation de la toxicité regroupe les deux étapes suivantes détaillées ci-après :

- l'identification du potentiel dangereux des substances, c'est-à-dire les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Ces effets pour des expositions aiguës ou chroniques peuvent être de différents types : effets locaux, systémiques, non cancérigènes, cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques. La connaissance d'informations sur les effets toxiques identiques sur un même organe peut s'avérer nécessaire lors de la quantification du risque pour décider du cumul ou non des risques liés aux substances à seuil. Cette étape comporte également la recherche de la classification des substances pour leurs effets cancérigène et génotoxique, qui provient principalement des banques de données suivantes : Union Européenne avec l'inventaire EINECS (European Inventory of Existing Commercial Substances) ; site web : http://ecb.jrc.it/existing-chemicals/ ; IARC / CIRC (International Agency for Research on Cancer / Centre International de Recherche sur le Cancer) ; site web : http://www.monographs.iarc.fr/FR/classification/index.php ; US EPA (United States Environmental Protection Agency) et son programme IRIS (Integrated Risk Information System) ; site web : http://www.epa.gov/iris/ ;
- la définition des relations dose-effets et dose-réponse, c'est-à-dire définir une relation quantitative entre la dose ingérée ou la concentration inhalée et l'incidence de l'effet délétère. Cette relation est traduite par la valeur toxicologique de référence (VTR), dont la dénomination dépend de l'organisme élaborateur. Les VTR « à seuil de dose » sont construites dans le cas de substances provoquant au-delà d'une certaine dose, des dommages dont la gravité augmente avec la dose absorbée. Les VTR « sans seuil de dose » sont construites dans le cas de substances pour lesquelles l'effet apparaît quelle que soit la dose reçue et où la probabilité de survenue augmente avec la dose.

La VTR d'une substance est établie à partir des données disponibles sur l'effet de la substance (http://www.sante-environnement-travail.fr ; 2008). Elle est spécifique d'un effet, d'une voie et d'une durée d'exposition. Ainsi, une substance chimique pourra disposer de plusieurs VTR : une pour l'inhalation et une pour l'ingestion par exemple. La VTR s'appuie sur des données animales issues d'études d'expérimentales ou, lorsqu'elles existent, sur des données humaines issues d'études épidémiologiques. Les VTR sont établies par des organismes sanitaires nationaux ou internationaux. Les étapes et les hypothèses nécessaires à leur élaboration à partir de résultats de tests toxicologiques sont différentes pour les effets considérés comme à seuil de dose et pour ceux sans seuil de dose.

Les VTR se définissent comme suit :

– *Effets à seuil et VTR associée (voir le glossaire pour les abréviations et acronymes).*

Pour les effets à seuil, il est supposé l'existence d'un seuil de dose en deçà duquel la probabilité d'occurrence de l'effet néfaste chez l'homme est considérée comme nulle. Il est fait l'hypothèse que les mécanismes d'action toxique conduisant à ces effets néfastes surviennent eux-mêmes avec un seuil. Les effets cancérogènes résultant d'un mécanisme non génotoxique appartiennent à cette catégorie. Les effets cancérogènes ont longtemps été considérés comme des effets sans seuil. Depuis quelques années, seuls les effets cancérogènes génotoxiques suivent cette hypothèse d'absence de seuil. Il peut ainsi exister pour un composé des VTR à seuil pour les effets cancérogènes, coexistantes avec d'autres VTR à seuil (effets non cancérogènes) et des VTR cancérogènes sans seuil.

Pour les substances à effet à seuil, les VTR ont comme démarche d'élaboration la détermination de l'effet critique, la détermination d'une dose ou d'une concentration critique (No Observed Adverse Effect Level - NOAEL, LOAEL, BMD) et l'utilisation de facteurs d'incertitude. Cette démarche est majoritairement issue d'études sur des animaux. Pour l'obtenir, la valeur de la dose seuil estimée sans effet sur l'animal est divisée par un certain nombre de ces facteurs, dits d'incertitude, Uncertainty Factor, UF. Ces derniers ont généralement des valeurs comprises entre 1 et 10 000, par exemple pour :

- la variation inter-espèces (la transposition à l'homme d'un seuil obtenu sur l'animal, sachant que les effets qualitatifs observés chez l'animal seront considérés identiques pour l'homme ; 3 à 10),
- la variation de sensibilité inter-individus au sein d'une même espèce (3 à 10),
- l'utilisation d'un LOAEL (3 à 10),
- l'utilisation d'une BMD/BMC (benchmark dose ou concentration) : rapprochement d'une dose sans effet (3),
- l'extrapolation temporelle souvent nécessaire pour passer d'un résultat issu d'une expérience réalisée sur une durée moyenne à une valeur protectrice sur le long terme,
- la prise en compte de la durée de l'étude (subchronique - chronique : 3 à 10), de la sévérité de l'effet (3 à 10), de la fiabilité des données (3 à 10).

Les noms attribués aux VTR et leurs définitions varient en fonction de l'organisme qui les ont établies, dont les principales sont : DJA, DJT / Tolerable Concentration in Air (TCA) pour l'OMS, Oral Reference dosis (RfD) / Reference concentration (RfC) pour l'US EPA, MRL pour l'ATSDR, DJA / CA pour Health Canada, Tolerable Daily Intake (TDI) / TCA pour le RIVM définies dans le glossaire. Ces VTR sont exprimées respectivement pour la voie orale et la voie inhalation en (mg/kg/j) ou en (mg/m^3).

– *Effets sans seuil et VTR associée (voir le glossaire pour les abréviations et acronymes)*

Pour les effets sans seuil, l'hypothèse est qu'il n'y a pas de seuil de toxicité : toute dose peut produire l'effet toxique avec une probabilité donnée. Aussi l'objectif est de disposer d'informations quantitatives permettant de déterminer une dose pour laquelle il est estimé que cette probabilité de survenue de l'effet est "acceptable". Les effets cancérogènes résultant d'un mécanisme génotoxique appartiennent à cette catégorie.

La VTR associée à des effets sans seuil est la probabilité d'observer un effet néfaste lié à une substance par unité de dose.

La VTR est obtenue à partir d'une extrapolation de la relation dose-réponse observée lors d'une expérimentation sur des animaux ou pour de fortes expositions humaines (le plus souvent professionnelles) vers les faibles ou très faibles valeurs de risque correspondant aux doses des expositions environnementales.

Pour l'US EPA, cette probabilité est souvent exprimée par un excès de risque unitaire. Pour Health Canada, il s'agit de DT0,05 et CT0,05, la dose totale ou concentration générale dans l'air qui induit une augmentation de 5 % de l'indice des tumeurs ou de la mortalité attribuable à des tumeurs. Les VTR s'expriment en mg/kg/j ou en mg/m^3. Health Canada propose de diviser ces valeurs par 5 000 et 50 000 pour assurer une protection similaire à celle donnée par l'ERU. Ces particularités techniques rendent son utilisation moins immédiate, car nécessitant la connaissance de la valeur spécifique à chaque substance étudiée.

En effet elles ne sont pas assimilées par Health Canada à des ERU directement utilisables dans une EQRS. Pour le CR du RIVM, la VTR s'exprime comme la quantité ou la concentration de substance induisant un excès de risque cancérogène (souvent de l'ordre de 10^{-4}, soit 1 cas de cancer additionnel pour 10.000 individus) ; le CRo est exprimé en mg/kg/j et le CRi en mg/m^3.

A la VTR associée, les noms attribués aux VTR et leurs définitions varient en fonction de l'organisme qui les ont établies : ERU / Slope Factor - Sf (US EPA (IRIS) / OMS) / URF, CPF (OEHHA), qui correspondent à la probabilité par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose ou de concentration de la substance cancérogène. Ces VTR sont exprimées en $(mg/kg/j)^{-1}$ ou en $(mg/m^3)^{-1}$.

Démarche générale d'analyse et de sélection de VTR

De manière générale, les VTR élaborées à partir d'études épidémiologiques sont privilégiées. Une analyse de la qualité de chaque étude clef est pratiquée ainsi que celle des différents paramètres servant à l'élaboration de chaque VTR : effet critique, dose ou concentration critique, méthode de calcul et choix des facteurs d'incertitude. Seule la VTR la plus pertinente est alors retenue.

Les extrapolations voie à voie ne sont pas conseillées pour des effets à seuil et seront donc rarement retenues pour les VTR élaborées pour ce type d'effet. En revanche, l'extrapolation voie à voie peut être retenue pour les VTR élaborées pour des effets sans seuil, dans la mesure où le nombre d'études disponibles permettant l'établissement d'une VTR est souvent très limité. Cette extrapolation n'est alors envisageable que sous réserve qu'il soit clairement démontré que des effets cancérigènes sont observés pour les deux voies d'exposition considérées.

Les valeurs proposées par les organismes précités dans des documents non finalisés, en version projet (DRAFT) ne sont pas retenues dans les choix.

Les valeurs provisoires sont analysées au même titre que les autres VTR, la notion de « provisoire » étant alors considérée comme une limite de confiance émise par l'organisme qui l'élabore. De ce fait, ces valeurs provisoires sont rarement préférées lorsque d'autres valeurs sont disponibles. Les valeurs identifiées dans des tableaux récapitulatifs et non justifiées par les organismes qui les proposent, ne sont pas prises en considération dans le présent choix.

Les valeurs guides long terme de l'OMS et l'ANSES ne sont retenues que dans la mesure où elles sont construites selon le même principe que les VTR.

Si une seule valeur est disponible, l'analyse critique de sa validité est réalisée.

Si la ou les valeurs disponibles sont jugées de faible qualité mais qu'au regard des risques pour les populations exposées il est indispensable de disposer d'une valeur, celle-ci est malgré tout retenue mais la mention « par défaut » permettra d'alerter sur les limites de sa qualité.

En l'absence de valeur disponible, il n'est pas proposé de valeur.

Cette approche de choix approfondi réalisé par l'INERIS ne déroge pas à la circulaire de la DGS (circulaire DGS/SD n°2006-234 de mai 2006), tenant compte de la meilleure approche au vu des connaissances disponibles.

Classification disponibles pour les substances étudiées

L'annexe 8 reprend les différentes classifications de cancérogénicité proposées par les trois organismes suivants, l'Union Européenne, le CIRC-IARC et l'US EPA), les informations sont extraites des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques INERIS disponibles pour les substances étudiées.

VTR retenues pour une exposition chronique et pour la voie orale

L'annexe 9 reprend les éléments de détails, issus pour certains des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques INERIS mise à dispositions sur le site Internet de l'INERIS.

1.2. Evaluation des expositions

Généralités et rappels méthodologiques

L'exposition est le contact entre un organisme vivant et une situation ou un agent dangereux présent dans un ou des milieux potentiellement contaminés. La dose d'exposition est la quantité de cette substance présentée à la barrière biologique de l'individu exposé (dose externe) ou l'ayant traversé (dose interne), par unité de poids corporel et par unité de temps, par exemple dans le cas de la voie d'exposition par ingestion.

L'évaluation de l'exposition consiste, d'un côté, à identifier les personnes exposées (âge, sexe, caractéristiques physiologiques, budgets espace temps, etc.) et les voies d'exposition / de pénétration des substances. De l'autre, elle doit quantifier la fréquence, la durée et l'intensité de l'exposition à ces substances et est exprimée par une dose moyenne journalière ou, pour l'inhalation, par une concentration moyenne dans l'air - pour chaque voie pertinente.

L'exposition à une substance chimique dépend :

– de sa concentration dans les milieux,
– de son comportement physico-chimique,
– des voies et des niveaux d'exposition des populations avec les milieux concernés.

L'étape d'évaluation de l'exposition consiste à quantifier l'exposition des populations sur la base du schéma conceptuel correspondant à l'étude.

Le paragraphe suivant rappelle l'expression du calcul d'une Dose Journalière d'Exposition (DJE), avec les paramètres d'exposition associés.

Les expositions potentielles aux substances étudiées sont directement proportionnelles à la concentration de ces substances dans les milieux considérés et caractéristiques de l'exposition (durée, fréquence).

L'équation permettant de calculer une DJE pour la voie d'exposition par ingestion est donnée ci-après, ainsi que les paramètres associés.

$$DJE_{ij} = \frac{C_i \times Q_{ij} \times F \times T}{P \times Tm}$$

avec

Symbole	Paramètres	Dimensions
DJE_{ij}	dose d'exposition moyenne sur la période d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j	$M\ M^{-1}T^{-1}$
C_i	concentration d'exposition relative au milieu i (sol, aliments, eau...)	$M\ M^{-1}$
Q_{ij}	quantité de milieu i, c'est-à-dire de sol, d'eau… administrée par la voie j par unité de temps d'exposition (exprimée par rapport à la concentration dans le sol)	$M\ T^{-1}$
F	fréquence d'exposition : fraction du nombre annuel d'unités de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année	
P	poids corporel de la personne	M
T	durée d'exposition	T
Tm	période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée ; pour une substance à effet à seuil T = Tm et pour une substance à effet sans seuil, Tm est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)[20]	T

1.3. Caractérisation des risques

Généralités et rappels méthodologiques

Pour chaque substance et voie d'exposition, le risque est quantifié respectivement pour les effets à seuil, sous la forme d'un quotient de danger (QD) et pour les effets sans seuil, sous la forme d'excès de risque individuel (ERI). Les formules de calcul sont rappelées ci-après pour la voie ingestion, la seule retenue.

- Pour les effets à seuil

$$QD = \frac{DJE}{VTR\ (ingestion)}$$

- Pour les effets sans seuil

$$ERI = DJE \times VTR\ (ingestion)$$

[20] Cette distinction repose sur l'hypothèse d'un mécanisme d'action différent dans chacun des deux cas. Pour les effets à seuil, le risque est associé au dépassement d'une dose donnée pendant la période d'exposition. Pour les effets sans seuil, il est considéré que l'effet de chaque dose reçue isolément s'ajoute sans aucune perte et que la survenue de la réponse cancéreuse est fonction de la somme totale des doses reçues ; une forte dose sur une courte période produit le même effet qu'une plus faible dose reçue sur une période plus longue. Dans ce cas, le risque s'exprime sous la forme d'une probabilité d'occurrence qui augmente avec la dose reçue tout au long de la vie.

avec :

QD	quotient de danger[21]	-
ERI	excès de risque individuel	-
DJE	dose journalière d'exposition orale	$M\ M^{-1}\ T^{-1}$
VTR pour les effets à seuil	valeur toxicologique de référence (correspondant à une concentration dans le cas de la voie d'inhalation et à une dose dans le cas de la voie orale)	$M\ L^{-3}$ ou $M\ M^{-1}\ T^{-1}$
VTR pour les effets sans seuil	valeur toxicologique de référence (correspondant à l'inverse d'une concentration dans le cas de la voie d'inhalation et à l'inverse d'une dose dans le cas de la voie orale)	$(M\ L^{-3})^{-1}$ ou $(M\ M^{-1}\ T^{-1})^{-1}$

2. BIOACCESSIBILITE

Les données concernant la biodisponibilité/bioaccessibilité sont encore éparses, peu nombreuses et pas toujours adaptées au contexte étudié, notamment au contexte d'un ancien site minier. En effet, au regard des éléments bibliographiques actuellement disponibles, apparaissent d'importantes variabilités des gammes de valeurs de bioaccessibilité notamment dans les sols issus de différents contextes, ainsi que des gammes de valeurs rencontrées pour un historique donné qui peuvent être également très larges. Aussi, il est difficile aujourd'hui d'intégrer ces données sur la base des seules valeurs émanant de la littérature.

C'est pourquoi, la mesure de la fraction bioaccessible sur les sols et les végétaux provenant de la zone étudiée peut être nécessaire car, par rapport à la mesure de la concentration totale des polluants dans les sols et les végétaux, elle :

- reflète de manière plus pertinente les concentrations d'exposition pour la voie d'exposition directe qu'est l'ingestion de terre et celle de végétaux ;
- permet d'intégrer la spéciation de ces éléments.

Le rapport InVS et INERIS (2012) indique la démarche à suivre pour tenir compte de la bioaccessibilité relative mesurée avec le test BARGE en termes d'évaluation des expositions et des risques.

L'INERIS a conduit des travaux sur l'As et le Cd qui permettent de proposer un calcul de Biodisponibilité relative ($BD_{relative}$) (Caboche, 2009). Il a en effet été démontré, pour l'As et le Cd, l'égalité des absorptions de chacun de ces éléments, qu'il soit issu du sol contaminé ou d'eau de boisson, matrice de référence pour l'établissement des VTR pour ces deux éléments. Il en résulte que la fraction absorbée de la substance extraite de la matrice terre (fa_{TERRE}) est égale la fraction absorbée de la substance extraite de la matrice de référence (fa_{VTR}).

[21] Egalement appelé indice de risque avant les textes du 8 février 2007 du MEDD.

Dans ce cas, l'équation générale présentée dans le rapport précité peut alors être simplifiée de la manière suivante :

$$DJE_{ajustée} = DJEx\frac{BA_{TERRE}}{BA_{VTR}}$$

Enfin, toujours pour l'As et le Cd, il a été démontré que les Bioaccessibilités Absolues (BA) en phase gastrique de ces éléments dans l'eau de boisson sont proches de 100 %, soit BA_i = 1 (Caboche, 2009). Ce résultat permet la nouvelle simplification :

$$DJE_{ajustée} = DJEx\,BA_{TERRE}$$

Ainsi, dans le cas du Cd et de l'As, la mesure de la bioaccessibilité de ces éléments suffit à ajuster la DJE.

Le même document présentait également une formulation pour le plomb mais tenant compte de la VTR proposée par l'OMS. Or dans le cadre de la présente étude, la VTR proposée par l'ANSES récemment, qui est dérivée d'une plombémie, a été retenue ne permettant plus l'utilisation de la formulation proposée dans la référence précitée

ANNEXE 8

Définitions des classes de cancérogénicité de l'UE, l'US EPA, du CIRC/IARC

Classement des substances étudiées

Définitions des classes de cancérogénicité de l'UE, l'US EPA, du CIRC/IARC

Les définitions des classes de cancérogénicité de l'UE, l'US EPA, du CIRC/IARC sont indiquées ci-après.

- La classification de l'US EPA prend en compte toutes les données humaines et animales, qu'elles soient positives ou négatives. Six classes sont définies :
  - Classe A : substance cancérigène pour l'homme.
  - Classe B1 : substance probablement cancérigène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles.
  - Classe B2 : substance probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuve chez l'homme.
  - Classe C : cancérigène possible pour l'homme.
  - Classe D : substance non classifiable quant à la cancérogénicité pour l'homme.
  - Classe E : substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérogénicité pour l'homme.

- La classification du CIRC ne retient que les données positives humaines ou animales. Cinq classes sont définies :
  - Groupe 1 : l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme.
  - Groupe 2A : l'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme : indices limités de cancérogénicité chez l'homme et indices suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire.
  - Groupe 2B : l'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme : indices limités de cancérogénicité chez l'homme et indices pas tout à fait suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire.
  - Groupe 3 : l'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme.
  - Groupe 4 : l'agent (ou le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

- L'Union Européenne (Communauté Européenne, 1993) classe les substances, en vue de leur étiquetage, en 3 catégories :
  - première catégorie : substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme : on dispose de suffisamment d'éléments pour établir une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et l'apparition d'un cancer ;
  - deuxième catégorie : substances devant être assimilées à des substances cancérogènes pour l'homme : on dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut provoquer un cancer ;
  - troisième catégorie : substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation suffisante.

Les symboles et les phrases de risques particuliers ci-après s'appliquent :

- Pour les première et deuxième catégories :
  - symbole T (toxique)
  - phrase R45 (peut provoquer le cancer)

ou phrase R49 (peut provoquer le cancer par inhalation)

- Pour la troisième catégorie :
  - symbole Xn (nocif)
  - phrase R40 (possibilité d'effets irréversibles)

Classement des substances étudiées

Les informations ci-dessous sont extraites des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques INERIS.

Antimoine

Union Européenne

Le trioxyde d'antimoine est classé dans la catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles) (JOCE, 1994).

Le trichlorure d'antimoine (JOCE, 1998), le pentachlorure d'antimoine (JOCE, 2004) et les composés de l'antimoine à l'exception du tétroxyde (Sb_2O_4), du pentoxyde (Sb_2O_5), du trisulfure (Sb_2S_3), du pentasulfure (Sb_2S_5) et de ceux nommément cités dans l'annexe (JOCE, 2004) ont été examinés mais ne sont pas classés par l'Union européenne.

CIRC – IARC (1989)

Le trioxyde d'antimoine est classé dans le groupe 2B (l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme).

Le trisulfure d'antimoine est classé dans le groupe 3 (l'agent ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme).

US EPA (IRIS)

L'antimoine ne fait pas l'objet d'une classification par l'US EPA.

Arsenic

Union Européenne

Compte tenu du nombre important de dérivés de l'arsenic, seuls sont pris en considération les dérivés les plus courants ayant fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

Pentoxyde d'arsenic (JOCE, 1998), trioxyde d'arsenic (JOCE, 1998), arséniate de plomb (JOCE, 1998), l'acide arsénique et ses sels (JOCE, 1998) : première catégorie : « substances que l'on sait être cancérogènes pour l'homme ».

Arsenic : non classé cancérigène (JOCE, 2004).

CIRC – IARC

Arsenic et ses composés : Groupe 1 : l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme (1987).

Cette classification s'applique à l'ensemble du groupe mais pas nécessairement à chacun des agents.

US EPA (IRIS)

Arsenic : Classe A : substance cancérigène pour l'homme (1998).

Cadmium

Union Européenne

Cadmium : catégorie 2 : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme (JOCE, 2004).

Chlorure de cadmium : catégorie 2 : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme (JOCE, 2004).

Oxyde de cadmium : catégorie 2 : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme (JOCE, 2004).

Sulfate de cadmium : catégorie 2 : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme (JOCE, 2004).

Sulfure de cadmium : catégorie 2 : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme (JOCE, 2004).

CIRC – IARC

Groupe 1 : l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme (1993).

US EPA (IRIS)

Classe B1 : substance probablement cancérigène pour l'homme (1987).

Cuivre

Union Européenne

Le chlorure cuivreux (JOCE, 1998), l'oxyde cuivreux (JOCE, 2004), le sulfate de cuivre (JOCE, 1998) ont été examiné par l'Union Européenne mais non pas été classés cancérigène.

CIRC – IARC

Classe 3 : le 8-hydroxyquinoléate de cuivre ne peut être classée pour sa cancérogénicité pour l'homme (1987).

Pour le cuivre et autres composés, il n'existe pas de classification.

US EPA (IRIS)

Classe D : substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme (1991).

Plomb

Union Européenne

Chromates, acétate de plomb, sulfochromates et sulfochromates molybdates de plomb : Catégorie 3.

CIRC – IARC

Plomb et dérivés inorganiques :
Groupe 2A.

US EPA (IRIS)

Plomb et dérivés inorganiques :
Classe B2 (1993).

Zinc

Union Européenne

Zinc poudre : non classé (JOCE, 2004).

Chlorure de zinc : non classé (JOCE, 2004).

Oxyde de zinc : non classé (JOCE, 2004).

Phosphate de zinc : non classé (JOCE, 2004).

Sulfate de zinc : non classé (JOCE, 2004).

Pour information, les chromates de zinc sont classés en catégorie 1 : substances que l'on sait être cancérogènes pour l'homme". Ces composés sont des dérivés du chrome VI et nous renvoyons donc à la fiche du chrome pour de plus amples renseignements.

CIRC – IARC

Le zinc et ses dérivés n'ont pas fait l'objet d'une classification par l'IARC.

US EPA (IRIS)

Zinc et ses dérivés : Classe D : substances non classifiables quant à leur cancérogénicité pour l'homme (1991).

ANNEXE 9

Choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Les choix de VTR présentés ci-après sont des choix INERIS tenant compte de la méthodologie présentée précédemment, et pour certains mentionnés dans les fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS actuellement disponibles sur Internet.

Antimoine

Effets à seuil

La VTR retenue pour une exposition chronique par voie orale à l'antimoine est la valeur de 4.10^{-4} $mg.kg^{-1}.j^{-1}$ de l'US EPA (1991).

Trois VTR sont proposées par l'OMS, l'US EPA et le RIVM.

La valeur de l'US EPA est construite à partir d'une étude chronique réalisée avec du tartrate d'antimoine (Schroeder et *al.,* 1970) et portant sur des effets critiques biochimiques (glucose sanguin et cholestérol). Un facteur d'incertitude de 1 000 (10 x 10 x 10) a été utilisé pour tenir compte des paramètres inter- et intra-espèces ainsi que de l'utilisation d'un LOAEL.

L'OMS se base sur une étude sub-chronique plus récente, utilisant du tartrate d'antimoine et de potassium mais pour laquelle les effets critiques sont le gain de poids corporel et la diminution de la prise alimentaire. Le RIVM reprend en 2009 intégralement la valeur de l'OMS.

Ces deux études sont sensiblement équivalentes mais la durée de l'étude sélectionnée par l'US EPA est plus adaptée et les effets critiques retenus pour la construction de la VTR de l'US EPA sont cohérents par rapport au profil toxicologique de la substance.

Arsenic

Effets à seuil

La VTR retenue pour une exposition chronique à l'arsenic par voie orale est la valeur du FoBIG (2009) de $4,5.10^{-4}$ $mg.kg^{-1}.j^{-1}$.

Plusieurs organismes proposent des valeurs pour des expositions chroniques par voie orale.

Les VTR chroniques proposées par l'US EPA et l'ATSDR pour la voie orale sont identiques. Les mêmes études clefs ont été retenues et le même raisonnement a été suivi.

La valeur établie par le RIVM est basée sur la VTR provisoire de l'OMS en 1996, sans aucune mention des études sources. Or, dans son nouveau rapport de 2008, l'OMS ne propose plus de VTR pour l'arsenic.

L'OEHHA (2008) a élaboré une VTR, à partir d'études épidémiologiques récentes (Wasserman et *al.,* 2004 ; Tsai et *al.,* 2003). L'effet critique correspond à une diminution des capacités intellectuelles et des altérations du comportement chez 200 enfants âgés de 10 ans, exposés depuis leur naissance *via* l'eau de boisson. Cette population constituant une population sensible est très intéressante mais de taille limitée pour une étude épidémiologique. Ces effets apparaissent pour des doses très faibles, inférieures à celles entraînant des effets cutanés. Cette VTR est de bonne qualité mais probablement un peu trop sécuritaire du fait de la population retenue dans l'étude clef.

Enfin en 2009, le Forschungs und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (FoBiG) a dérivé une VTR à partir d'une étude transversale de plus de 10 000 personnes (Ahsan et *al.,* 2006), dans laquelle les variations des lésions cutanées observées, en fonction du sexe et du statut nutritionnel, ont été prises en compte dans l'élaboration de la relation dose/réponse. Une $BMDL_{05}$ a de plus été calculée et prise comme point de départ à l'élaboration de la VTR. Cette VTR est donc la plus solide et prend en compte les données épidémiologiques les plus récentes ainsi que la population la plus représentative.

Habituellement, l'INERIS ne regarde pas de manière systématique les valeurs proposées par le FoBiG, toutefois, compte tenu de la qualité de l'étude sur laquelle repose cette VTR et de la qualité de sa construction, l'INERIS préconise de retenir cette VTR dans le cas d'une exposition chronique par voie orale.

Effets sans seuil

La VTR retenue pour une exposition chronique à l'arsenic par voie orale est la valeur proposée par l'OEHHA (2009) et l'US EPA (1998) qui est de 1,5 $(mg.kg^{-1}.j^{-1})^{-1}$.

La valeur établie par Santé Canada présente des contradictions entre le texte explicatif et le tableau de valeurs utilisées.

L'OEHHA et l'US EPA proposent la même valeur. Cette valeur a été établie à partir d'une relation dose-effet pour les cancers cutanés (Tseng et al., 1968 et Tseng, 1977). Un modèle multi-étapes de type linéaire et quadratique basé sur la prédiction de l'apparition des cancers cutanés en fonction de la dose et de l'âge a été utilisé pour l'extrapolation aux faibles doses.

Cadmium

Effets à seuil

La VTR retenue pour une exposition chronique par voie orale au cadmium est la valeur de l'EFSA de $3{,}6.10^{-4}$ $mg.kg^{-1}.j^{-1}$.

Plusieurs organismes proposent des valeurs : l'ATSDR, l'OMS, l'OEHHA, l'US EPA, le RIVM, Santé Canada mais également l'European Food Safety Autority (EFSA).

Compte tenu du manque de transparence de l'élaboration de la valeur de Santé Canada, celle-ci n'est pas retenue.

La VTR de l'ATSDR est basée sur les atteintes rénales à partir du dosage de la β_2-microglobinurie.

L'US EPA, le RIVM, l'OEHHA et l'OMS proposent une VTR basée sur le même critère d'effet : l'apport de cadmium ne doit pas dépasser 1.10^{-3} mg $Cd.kg^{-1}.j^{-1}$. Les informations prises en compte dans la littérature sont de bonne qualité et le même raisonnement a été tenu pour établir les facteurs de sécurité. Les valeurs proposées par l'OEHHA et le RIVM peuvent être retenues car elles prennent un facteur de sécurité de 2 supplémentaire par rapport à l'US EPA. Par ailleurs, la valeur établie par l'OMS est provisoire. L'INERIS conseille en général de ne pas retenir les valeurs provisoires.

Enfin, la valeur de l'EFSA est basée sur le dosage de la β2-microglobinurie mais prend en compte les méta-analyses et les apports journaliers. Il s'agit donc de la valeur la plus récente qui tient compte de l'ensemble des données disponibles. La démarche parait recevable et la valeur proposée est proche des autres, c'est donc cette valeur que l'INERIS retient.

Cuivre

Effets à seuil

La VTR retenue pour des expositions chroniques par voie orale au cuivre est la valeur de 140 $\mu g.kg^{-1}.j^{-1}$ du RIVM.

La valeur du RIVM est la seule valeur établie pour des expositions autres que celle par l'eau de boisson. Elle est basée sur une étude chronique chez la souris et retient comme critère d'effet la diminution de l'espérance de vie (Massie et Aiello, 1984). Cette valeur prend également en compte les résultats des études chez l'homme ce qui modifie les critères habituels d'application des facteurs d'incertitude. Le RIVM considère que sa valeur est de fiabilité moyenne. La démarche est claire et cohérente. L'INERIS propose de retenir cette valeur.

Plomb

Effets à seuil

La VTR retenue pour des expositions chroniques au plomb inorganique par voie orale est la valeur proposée récemment par l'ANSES (2013) de 0,63 µg/kg/j. Cette valeur correspond à une plombémie de 15 µg/l tant pour l'enfant que pour l'adulte.

Effets sans seuil

Seul l'OEHHA (2009) propose une VTR sans seuil de 0,0085 $(mg.kg^{-1}.j^{-1})^{-1}$, qui est actuellement retenue.

Zinc

Effets à seuil

La VTR retenue pour des expositions chroniques au zinc par voie orale est la valeur de l'US EPA et de l'ATSDR de 3.10^{-1} $mg.kg^{-1}.j^{-1}$.

Quatre VTR sont proposées par l'ATSDR, l'US EPA, le RIVM et l'OMS pour des expositions chroniques au zinc par voie orale. La valeur de l'OMS est une valeur provisoire ancienne. La valeur proposée par le RIVM prend en compte un facteur d'incertitude de 2, valeur non conventionnelle qui n'est pas justifiée par l'organisme. Les valeurs de l'US EPA et de l'ATSDR sont élaborées à partir de la même étude épidémiologique (Yadrick et *al.*, 1989) et retiennent comme effet critique les effets sur la biochimie sanguine (diminution de l'hématocrite, de la ferritine sanguine et de l'activité de la superoxyde dismutase érythrocytaire). Le même facteur d'incertitude de 3 a été appliqué car l'étude concerne une population sensible et également car le zinc est un nutriment essentiel. Il est cohérent par rapport à cette étude.