

Document à accès réservé
Jusqu'au 16 décembre 2030

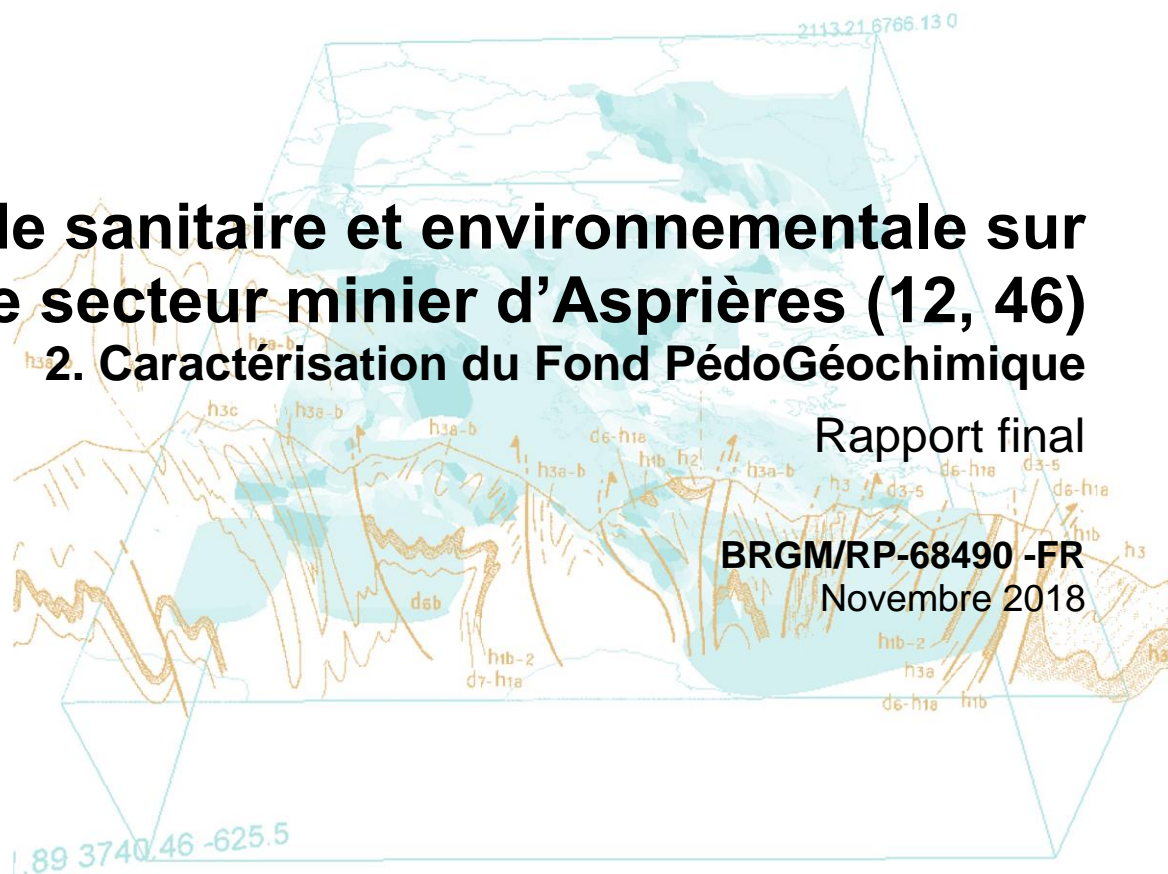
Étude sanitaire et environnementale sur le secteur minier d'Asprières (12, 46)

2. Caractérisation du Fond Pédogéochimique

Rapport final

BRGM/RP-68490 -FR

Novembre 2018



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès réservé
Jusqu'au 16 décembre 2030

Étude sanitaire et environnementale sur le secteur minier d'Asprières (12, 46)

2. Caractérisation du Fond Pédogéochimique

Rapport final

BRGM/RP-68490-FR
Novembre 2018

V. Laperche et J. Melleton
en collaboration avec
B. Lemiere, G. Bentivegna et M. Respault

Vérificateur :

Nom : Gaël BELLENFANT

Fonction : Responsable scientifique
de programme

Date : 03/04/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : Christopher BRYAN

Fonction : Responsable d'unité

Date : 03/04/2019

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Avertissement

Le rapport est « à accès réservé » en lien avec le devoir d'alerte sur les risques sanitaires potentiels des sites investigués. Cette action est centralisée par le client **GEODERIS** auprès des autorités compétentes après la réunion finale (prise de décisions).

Date de fin de confidentialité : 16/12/2030.

*Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur : **GEODERIS**, en 2 exemplaires et un CD de données conformément au cahier des charges.*

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait, et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Mots-clés : FPG, Asprières, Métaux, Zinc, Plomb, Géologie.

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

Laperche V. et Melleton J. en collaboration avec **Lemiere B., Bentivegna G. et Respault M.** (2018) - Étude sanitaire et environnementale sur le secteur minier d'Asprières (12, 46), 2. Caractérisation du Fond PédoGéochimique. Rapport final. BRGM/RP-68490-FR, 98 p., 35 ill., 4 ann.

Lexique

Al : Aluminium ou Al_2O_3 : oxyde d'aluminium

As : Arsenic

ASPITET : programme INRA-ADEME intitulé Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Éléments Traces.

Bi : Bismuth

Ca : Calcium ou CaO : oxyde de calcium

Cd : Cadmium

Co : Cobalt

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

Fe : Fer ou Fe_2O_3 : oxyde de fer

Ge : Germanium

FPG : Fond Pédo Géochimique

HCl : Acide chlorhydrique

ICP-AES : Spectrométrie d'Émission Atomique à Plasma à Couplage Inductif

K : Potassium

LD ou LQ : Limite de Détection ou Limite de Quantification (utilisée pour l'ICP)

LOD ou LD : Limite Of Detection (limite de détection) utilisée pour le pXRF

Métamorphique : transformation à l'état solide des roches sédimentaires, magmatiques ou encore métamorphiques, en raison des modifications des paramètres physico-chimiques du milieu dans lequel elles évoluent (notamment la pression et la température). Cette transformation, désignée sous le terme de métamorphisme, se traduit par une modification de la texture, de l'assemblage minéralogique à l'équilibre ou de la composition chimique de la roche.

Mg : Magnésium ou MgO : oxyde de magnésium

Na : Sodium ou Na_2O : oxyde de sodium

Ni : Nickel

pXRF : Spectrométrie de Fluorescence X portable

RMQS : Réseau de Mesures de la Qualité des Sols.

Sb : Antimoine

Si : Silicium ou SiO_2 : Silice

V : Vanadium

Varisque : ou hercynienne (appelé aussi cycle varisque ou cycle hercynien) est un cycle orogénique paléozoïque qui a débuté au Dévonien et s'est terminé avec le Permien, formant la chaîne varisque.

W : Tungstène

Zn : Zinc

Synthèse

Le présent rapport constitue une caractérisation du fond pédogéochimique (FPG) des anciens sites miniers dans le secteur d'Asprières pour le compte de GEODERIS. Cette caractérisation a été effectuée suivant la méthodologie validée avec GEODERIS.

Afin de permettre une densité de mesures suffisante, la technique pXRF (fluorescence X portable) a été retenue pour les mesures sur site. En complément, des analyses de laboratoire ont été effectuées permettant l'élaboration de droites de calibration.

Le plan d'échantillonnage a été élaboré en concertation entre le BRGM et GEODERIS.

Les campagnes de terrain pour la caractérisation du FPG se sont déroulées en avril 2017 et 2018. Elles ont débuté par une reconnaissance des zones autour des secteurs impactés puis par des campagnes de mesures des différentes formations géologiques.

L'étude du contexte géologique local à partir des données existantes :

- géologie et répartition spatiale des minéralisations connues ;
- contenu minéralogique des minéralisations => identification des marqueurs géochimiques ;
- données géochimiques disponibles (Inventaire minier, études environnementales, thèses, etc...);

a permis de proposer un premier regroupement des formations géologiques. Puis le croisement avec les données pXRF a permis d'affiner et de proposer un regroupement définitif des formations.

Une gamme de valeurs, pour les éléments retenus et pour les autres éléments d'intérêt, a été proposée pour chaque regroupement lithologique.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Contexte et objectifs..... | 11 |
| 1.1. CONTEXTE | 11 |
| 1.1.1. Origine de la démarche..... | 11 |
| 1.1.2. Programmation globale de l'étude..... | 12 |
| 1.2. OBJECTIF | 12 |
| 2. Matériels et méthodes analytiques..... | 13 |
| 2.1. SPECTROMÈTRE DE FLUORESCENCE X PORTABLE (pXRF)..... | 13 |
| 2.2. APPAREIL UTILISÉ..... | 13 |
| 2.2.1. Conditions opératoires | 14 |
| 2.2.2. Traitement des données inférieures aux limites de quantification..... | 14 |
| 2.2.3. Analyses en laboratoire | 15 |
| 3. Caractérisation du Fond PédoGéochimique..... | 17 |
| 3.1. GÉOLOGIE DE LA ZONE ÉTUDIÉE..... | 17 |
| 3.2. GÎTOLOGIE DES MINÉRALISATIONS RENCONTRÉES..... | 21 |
| 3.3. DONNÉES GÉOCHIMIQUES DISPONIBLES..... | 23 |
| 3.4. DÉROULEMENT DES CAMPAGNES DE TERRAIN | 27 |
| 3.5. COMPARAISON DES ANALYSES pXRF ET ANALYSES DE LABORATOIRE | 28 |
| 3.5.1. Impact de l'humidité | 28 |
| 3.5.2. Analyse par spectrométrie ICP..... | 28 |
| 3.5.3. Comparaison analyses pXRF et analyse par ICP | 29 |
| 3.6. DÉTERMINATION DES FPG PAR FORMATIONS LITHOLOGIQUES | 33 |
| 3.6.1. Analyses statistiques multivariées..... | 33 |
| 3.6.2. Tri des données pour établir les FPG..... | 38 |
| 3.6.3. Détermination des FPG par élément..... | 40 |
| 4. Conclusion | 51 |
| 5. Bibliographie..... | 53 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|---|----|
| Illustration 1 : | Spectromètres pXRF NITON® XL3t980..... | 13 |
| Illustration 2 : | Proposition de regroupement lithologique pour les formations plutoniques et magmatiques. | 18 |
| Illustration 3 : | Proposition de regroupement lithologique pour les formations métamorphiques. | 19 |
| Illustration 4 : | Proposition de regroupement lithologique pour les formations sédimentaires et superficielles. | 20 |
| Illustration 5 : | Composition minéralogique symptomatique pour les différents indices du secteur (d'après Pierrot <i>et al.</i> , 1977 ; 1982) | 22 |
| Illustration 6 : | Concentrations en mg/kg de quelques métaux et métalloïdes dans la galène et la sphalérite du filon de La Vidale (extrait de Bossi, 1972). | 23 |
| Illustration 7 : | Teneurs moyennes en mg/kg de certains éléments pour des formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude (extrait de Bossi, 1972). | 23 |
| Illustration 8 : | Localisation des prélèvements réalisées par la SNEAP pour la géochimie sur sédiments de ruisseaux dans le cadre de l'Inventaire minier. | 24 |
| Illustration 9 : | Données géochimiques de l'Inventaire minier pour l'arsenic. | 24 |
| Illustration 10 : | Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le baryum..... | 25 |
| Illustration 11 : | Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le plomb..... | 26 |
| Illustration 12 : | Données géochimiques de l'Inventaire minier pour l'antimoine. | 26 |
| Illustration 13 : | Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le zinc. | 27 |
| Illustration 14 : | Tableau des analyses des échantillons de la campagne de 2017 par spectrométrie ICP de 34 éléments et perte au feu à 450°C, LQ : Limite de quantification. | 30 |
| Illustration 15 : | Tableau des analyses des échantillons de la campagne de 2018 par spectrométrie ICP de 34 éléments et perte au feu à 450°C, LQ : Limite de quantification. | 31 |
| Illustration 16 : | Comparaison des pXRF de terrain et de spectrométrie ICP (le trait rouge délimite la limite de détection du pXRF quand elle est connue). | 32 |
| Illustration 17 : | Matrice de corrélation de Pearson..... | 33 |
| Illustration 18 : | Analyse en composante principale pour 15 éléments. Comparaison facteurs F1 vs. F2, F1 vs F3, F1 vs F4, F2 vs. F3..... | 34 |
| Illustration 19 : | Dendrogramme issu de la classification ascendante hiérarchique appliquée sur les mesures de 15 éléments dans le fond pédogéochimique du secteur d'Asprières. | 35 |
| Illustration 20 : | Composition des centroïdes de chaque classe obtenue de la classification ascendante hiérarchique appliquée sur les mesures de 15 éléments dans le fond pédogéochimique du secteur d'Asprières. Les cases en bleu signalent plutôt une signature appauvrie alors que celles en jaune sont plutôt enrichies. | 36 |
| Illustration 21 : | Cartographie sur les fonds de carte géologique au 1/ 50 000 des différentes classes obtenues par classification ascendante hiérarchique..... | 37 |
| Illustration 22 : | Position des points de mesure (bleu) et des zones impactées par les activités minières (bleues et hachurés). | 38 |
| Illustration 23 : | Tableau des données pour l'ensemble des mesures de terrain et commentaires explicatifs pour l'exclusion de certaines données..... | 39 |
| Illustration 24 : | Carte des points échantillonnés pour le Pb. | 41 |
| Illustration 25 : | Tableau de statistiques simples de Pb : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du plomb pour chaque formation géologique. | 42 |

| | |
|---|----|
| Illustration 26 : Carte des points échantillonnés pour le Zn. | 43 |
| Illustration 27 : Tableau de statistiques simples de Zn : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du zinc pour chaque formation géologique. | 43 |
| Illustration 28 : Carte des points échantillonnés pour le As. | 44 |
| Illustration 29 : Tableau de statistiques simples de As : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum de l'arsenic pour chaque formation géologique. | 45 |
| Illustration 30 : Carte des points échantillonnés pour le Cu. | 46 |
| Illustration 31 : Tableau de statistiques simples de Cu : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du cuivre pour chaque formation géologique. | 46 |
| Illustration 32 : Carte des points échantillonnés pour le V. | 48 |
| Illustration 33 : Tableau de statistiques simples de V : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du vanadium pour chaque formation géologique. | 48 |
| Illustration 34 : Carte des points échantillonnés pour le Fe. | 49 |
| Illustration 35 : Tableau de statistiques simples de Fe : nombre de mesure (N), nombre de mesure > LOD (Nb), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du fer pour chaque formation géologique. | 50 |

Liste des annexes

| | |
|---|----|
| Annexe 1 : Rapport d'analyses | 55 |
| Annexe 2 : Description de l'ensemble des échantillons | 87 |
| Annexe 3 : Concentration moyenne des éléments dans les sols et la croûte terrestre (Sposito, 1989) | 91 |
| Annexe 4 : Tableaux des teneurs de l'ensemble des mesures pXRF faites sur site, position GPS (WGS84 et lambert) | 95 |

1. Contexte et objectifs

1.1. CONTEXTE

1.1.1. Origine de la démarche

Le secteur minier d'Asprières se trouve à la frontière du Lot et de l'Aveyron, entre les villes de Capdenac-Gare et de Decazeville. Il comprend les titres miniers d'Asprières (plomb-zinc), de Bouillac (plomb-zinc), de la Diège (plomb argentifère) et des Escauffages (fluorine). Dans le cadre d'un inventaire des dépôts miniers requis par l'article 20 de la Directive européenne 2006/21/CE (Directive sur les déchets issus de l'industrie extractive ou « DDIE »), les quatre titres miniers ont été investigués par GEODERIS en 2010-2011. Vingt-six dépôts miniers ont alors été cartographiés et référencés sur le secteur. À l'issue de cet inventaire, le secteur d'Asprières a obtenu une classe égale à C+. Une étude d'orientation a donc été réalisée par GEODERIS en 2013-2014 et s'est concentrée sur les sites de Gasquié, de la laverie de Bouillac, de Bréziès/La Vidale et de la laverie de Gazeau. Cette étude a donné lieu aux rapports GEODERIS N2014/005DE-142420 et N2015/006DE-14NAT24202. Les nouveaux éléments alors acquis ont été présentés et discutés le 15 janvier 2014 en réunion « Avis d'experts » 2013.

En 2014, une étude détaillée des aléas mouvements de terrain a par ailleurs été programmée par GEODERIS.

En 2016, GEODERIS a mis en exergue des divergences importantes entre la cartographie des sources de pollution établies lors de l'étude d'orientation 2013-2014 et celle réalisée lors de l'étude détaillée des aléas mouvements de terrain.

Afin de comprendre ces différences, GEODERIS a étudié en 2016 les archives minières de la DREAL, de la DRAC et des Archives départementales. En collaboration avec le BRGM, GEODERIS a ensuite réalisé des investigations de terrain du 29 mars au 8 avril 2016, afin de mettre à jour la cartographie des sources de pollution. Lors de cette campagne de terrain, 169 mesures par fluorescence X portable et 72 prélèvements ont été réalisés. La situation du secteur minier a ainsi pu être précisée. Il ressort que le secteur est :

- très étendu, avec une emprise de 150 km² environ, à géologie et gîtologie variables ;
- concerné par un historique complexe (travaux romains, reprise intense au Moyen-Âge, travaux modernes aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, exploitations contemporaines) ;
- caractérisé par des dépôts miniers d'étendue très importante (dont trois dépôts reconnus sur une dizaine d'hectares) et des dépôts miniers diffus difficiles à retrouver sous la végétation ou sous une faible épaisseur de sols, et pourtant très chargés en éléments potentiellement contaminants (plomb, arsenic, cadmium, antimoine).

D'après les estimations de GEODERIS, la campagne de terrain réalisée en 2016 n'aura permis de reconnaître que la moitié des dépôts miniers (au nombre de 25 actuellement) et des zones impactées présents sur le secteur, certaines zones exploitées n'ayant pu être investiguées dans le cadre de l'étude de 2016. Les dépôts anciens présentent des zones d'influence importantes (sur plusieurs centaines de mètres parfois). Les teneurs au droit des zones contaminées dépassent régulièrement le pourcent en plomb et peuvent même atteindre 10 pourcents. De nombreuses zones concernées par des usages (d'habitation, agricoles ou d'élevage) sont vraisemblablement impactées par l'activité minière. Dans ce cadre, une dizaine de « maisons sur dépôt » ont déjà été mises en évidence, impliquant la mise en œuvre d'une étude sanitaire et environnementale sur ce secteur, en ciblant le plus possible les zones à enjeux.

1.1.2. Programmation globale de l'étude

L'étude sanitaire et environnementale sur le secteur minier d'Asprières a démarré en 2017. Elle consiste en un diagnostic approfondi des risques pour la santé humaine et de l'impact environnemental. Elle se fait en plusieurs étapes :

- la description et la caractérisation des sources de pollution minières connues et de leur zone d'influence ;
- l'identification détaillée des zones à enjeux et usages, appuyée par des enquêtes auprès des collectivités locales et des riverains ;
- la réalisation de campagnes de terrain, comprenant la mise en œuvre de mesures sur site et de prélèvements, pour quantifier l'état des milieux et leur degré de contamination.
- l'interprétation des résultats acquis puis l'analyse des risques sanitaires et de l'impact.

C'est dans ce cadre que des investigations de terrain spécifiques ont été consacrées à l'étude du fond pédogéochimique (zones hors influence minière). La variabilité des contextes géologiques, géomorphologiques et pédologiques du secteur requiert en effet la mise en œuvre d'un volet dédié, dans le but de déterminer les gammes de valeurs en éléments traces et majeurs dans les sols à l'état naturel et en tenant compte des lithologies.

1.2. OBJECTIF

L'étude du fond pédogéochimique a pour objectif de déterminer la qualité chimique des sols situés hors de l'influence minière et au droit de chaque formation géologique majeure.

Pour ce faire, le BRGM a étudié les cartes géologiques disponibles sur le secteur minier d'Asprières (Figeac n° 858 et Decazeville n° 859) et en a déduit une liste des principales formations lithologiques représentatives de l'emprise concernée. Le BRGM a analysé les sols de ces formations par fluorescence X portable (pXRF).

Dans la mesure du possible, l'horizon de surface des sols investigués doit être homogène (5 à 10 cm de profondeur en moyenne) et se situer hors des zones à usages car l'échantillonnage des milieux « Environnement Local Témoin » du volet sanitaire est pris en charge par l'INERIS sur la base des travaux du BRGM.

Les résultats de pXRF ont été vérifiés afin d'éliminer les mesures considérées comme non exploitables et non fiables. Des droites de calibration « mesures pXRF vs analyses ICP » ont été réalisées. Le nombre d'analyses est à la discrétion du BRGM (GEODERIS considérant que la réalisation de prélèvements au droit de 10 % des sols sur lesquels des mesures par pXRF ont été réalisées semble raisonnable). Les analyses portent *a minima* sur sept métaux (arsenic, antimoine, cadmium, cuivre, fer, plomb et zinc). Chaque point de mesure a été géo-référencé et est disponible dans une table, en format .tab et .shp (utilisable tant sous MapInfo® que sous QGIS®). Pour chacun de ces mêmes points, le matériau sur lequel a été effectuée la mesure a fait l'objet d'une description macroscopique sommaire (granulométrie, type de matériau, couleur, référence de la photographie associée, etc....) précisée dans la table des mesures. À terme, il est attendu que le BRGM fournisse des gammes de valeurs pour les substances retenues (arsenic, antimoine, cadmium, cuivre, fer, plomb et zinc) et pour les autres substances analysées et d'intérêt, et ce, pour chaque formation géologique majeure.

2. Matériels et méthodes analytiques

2.1. SPECTROMÈTRE DE FLUORESCENCE X PORTABLE (pXRF)

Cette technique est désignée dans le cahier des charges de l'étude sous le nom du constructeur des appareils utilisés habituellement (NITON®). Elle peut être mise en œuvre avec tout spectromètre pXRF de performances comparables à ceux de ce constructeur. Le spectromètre pXRF possède deux modes de mesure :

- mode « Sol » : la plupart des éléments « lourds » sont analysés dans les gammes de teneurs en traces : depuis la limite inférieure de quantification (LQ, notée LOD dans les fichiers NITON®), qui varie entre 5 et 500 mg/kg selon l'élément et la matrice, et la limite supérieure, de l'ordre de quelques % ;
- mode « Minerai » : plus adapté aux teneurs majeures entre quelques % et quelques dizaines de %, il convient mieux aussi pour les éléments « légers » (Si, Al, P, S ...). Ce mode peut être utilisé aussi pour les traces dans de nombreux cas.

2.2. APPAREIL UTILISÉ

L'appareil utilisé est un NITON® XL3t980 (Illustration 1) équipé d'un tube émetteur X 50 kV et d'un détecteur GOLDD+ (Geometrically Optimized Large Area Drift Detector), disposant des modes sol et minerai. Il peut détecter ou analyser les éléments de numéro atomique entre le soufre et l'uranium pourvu que leur teneur soit suffisante et qu'il n'y ait pas d'interférences.



Illustration 1 : Spectromètres pXRF NITON® XL3t980.

2.2.1. Conditions opératoires

Les mesures sont effectuées en mode sol après calibration interne. Le temps de comptage est de 30 secondes pour chacun des 3 filtres (NITON®), ce qui fait un temps total d'environ 90 secondes. Lorsque les teneurs mesurées sont élevées (usuellement à partir du %), une mesure en mode minerai est également effectuée, pour préciser la teneur. Ces deux modes correspondent à une calibration spécifique du spectromètre, adaptée aux gammes de teneur à mesurer. La réponse de fluorescence X n'est pas totalement linéaire sur la large gamme de teneurs couverte. On considère ici comme élevées :

- des teneurs supérieures à 1 % pour les éléments habituellement en traces ;
- des teneurs supérieures à 10 % pour les éléments majeurs lorsqu'une abondance particulière est susceptible d'affecter la mesure des autres éléments par un effet de matrice.

La mesure en mode minerai est nécessaire pour quantifier les sources et les impacts. Elle n'est pas nécessaire pour la détermination précise des valeurs de fond pédogéochimique, sauf lorsque des teneurs élevées en fer sont observées.

Le prélèvement se fait sous le couvert végétal sur une surface de 20 à 30 cm² suivant la profondeur maximale de 10 cm. Dans le cas où le sol est développé sur de la roche ou que l'horizon de surface est peu épais, la zone de prélèvement est plus étendue pour pouvoir prélever suffisamment de sol. Le sol est tamisé à 2 mm et homogénéisé avant d'être analysé par pXRF. Environ 500 g d'échantillon sont conservés en sac si besoin pour des analyses au laboratoire.

La météorologie ayant été très différente entre la première semaine (très chaud 30 °C et sec) et la seconde semaine (froid 5 °C et pluvieux), certains échantillons n'ont pu être tamisés sur site. Afin de vérifier l'impact de l'humidité sur la mesure sur site, ces échantillons ont été prélevés bruts pour être ré-analysés par pXRF au laboratoire après séchage.

2.2.2. Traitement des données inférieures aux limites de quantification

La détermination des fonds pédogéochimiques (FPG) des éléments pour chaque formation géologique a été effectuée à partir des données de terrain. Certaines valeurs sont < à la limite de détection de l'appareil, il est donc nécessaire de faire un choix pour le traitement statistique de ces données. Quand l'appareil donne une valeur < LOD, celle-ci est accompagnée d'une valeur numérique qui est en fait la teneur maximale pouvant être détectée au moment de la mesure. Cette valeur est dépendante des caractéristiques de l'appareil, de la matrice de l'échantillon et du temps de mesure (Potts, 2008). Il a été décidé de prendre cette valeur. Les autres choix auraient été de ne pas prendre en compte les échantillons présentant des valeurs < LOD ce qui augmente les moyennes ou de remplacer les valeurs < LOD par 0, ce qui diminue les moyennes. C'est donc une solution intermédiaire qui a été sélectionnée pour faire les calculs.

L'ensemble des données est comparé à des valeurs moyennes rencontrées dans les sols (Sposito, 1989) et non aux valeurs des bases de données comme ASPITET, RMQS... Contrairement à ces bases de données qui traitent seulement des principaux polluants (Pb, Zn, Cu, Cd, As, Hg...), le travail de compilation de Sposito (1989) permet d'avoir des valeurs moyennes de tous les éléments (à l'exception des gaz rares et des éléments de numéro 50 éléments permet de pouvoir comparer les résultats obtenus dans cette étude à des valeurs moyennes des éléments traces mais aussi des éléments majeurs.

2.2.3. Analyses en laboratoire

Les 67 échantillons prélevés ont été mis à sécher dans une étuve à 40 °C jusqu'à poids constant. Les 8 échantillons bruts ont été tamisés à 2 mm. L'ensemble a été ré analysé par pXRF. À partir des analyses de terrain et de celles obtenues au laboratoire, il a été possible de sélectionner 40 échantillons représentatifs des différents faciès et gamme de concentration en éléments chimiques.

La campagne de terrain s'étant déroulée en deux fois sur des formations géologiques différentes (ajouts de nouvelles formations lors de la seconde campagne) ; le nombre d'échantillons envoyés à l'analyse a dû être doublé.

Les 40 échantillons sélectionnés ont été broyés à 80 µm, puis la perte au feu a été déterminée à 450 °C. Une mise en solution complète a été effectuée par frittage au peroxyde de sodium et reprise dans 30 % HCl, ce qui évite les risques de digestion incomplète propres aux mises en solution acide. L'analyse des 34 éléments a ensuite été déterminée par spectrométrie ICP-AES par les laboratoires du BRGM en mode multi-élémentaire. (Résultats en annexe 1).

3. Caractérisation du Fond PédoGéochimique

3.1. GÉOLOGIE DE LA ZONE ÉTUDIÉE

La zone d'étude est couverte par les cartes géologiques au 1/50 000 de Figeac (858) et de Decazeville (859).

Elle se localise entre les extrémités sud-est du Limousin et nord-ouest du Rouergue, constituées de formations du socle varisque, et est limitée à l'ouest par les formations sédimentaires mésozoïques et cénozoïques du bassin aquitain et à l'est par les formations du bassin carbonifère et permien du détroit de Rodez.

Les formations du socle varisque sont principalement constituées de roches métamorphiques et de roches plutoniques. Les roches métamorphiques sont principalement constituées de schistes sériciteux et/ou chloriteux, de quartzites micacées, graphiteuses, et ou feldspathiques. Ces formations sont recoupées localement par des niveaux d'amphibolites d'assez faible extension, qui ne sont que partiellement cartographiés à l'échelle du 1/50 000. Les formations plutoniques qui se sont mises en place au sein de ces formations métamorphiques, correspondent à un granite, le granite de Villefranche, qui s'étend sur toute la partie sud de la zone d'étude, et à une diorite quartzite, qui affleure sur toute la partie ouest de la zone d'étude.

Les formations sédimentaires mésozoïques et cénozoïques ne concernent que la carte de Figeac. Du Trias à dominance détritique, elles évoluent vers des formations carbonatées, plus ou moins dolomitiques au début du Lias, puis des alternances marno-carbonatées à franchement marneuses au Lias moyen et supérieur. Le Dogger est à dominance calcaire, avec des formations pouvant former des barres plus ou moins puissantes. Le Malm et le Crétacé ne sont pas présents dans la zone d'étude, et la sédimentation reprend en discordance à l'Éocène, avec le dépôt d'une formation détritique évoluant vers des calcaires lacustres et des marnes.

Les formations superficielles cartographiées sont restreintes aux différentes vallées traversant la zone, mise à part des argiles à galets recouvrant les formations de l'Éocène dans le secteur sud-ouest.

À noter que des formations volcano-détritiques du bassin carbonifère et permien du détroit de Rodez affleurent en bordure orientale de la zone d'étude, mais celles-ci n'ont pas été investiguées dans ce travail.

Afin de simplifier la démarche, les formations représentées sur les cartes géologiques au 1/50 000 ont été regroupées en un nombre plus restreint d'ensembles, sur la base des contrastes lithogéochimiques attendus. L'argumentation justifiant ces regroupements est présentée dans les Illustrations de 2 à 4.

D'un point de vue structurale, la faille de Villefranche est une structure majeure dans la zone d'étude, car elle limite deux domaines de socles franchement distincts et a peut-être un lien avec les minéralisations rencontrées. Bossi (1972) note que celles-ci sont limitées à l'est par cette faille. Celle-ci se caractérise par une zone mylonitique d'une puissance de 50 à 150 m.

| Feuille de Decazeville (859) | Feuille de Figeac (858) | Description | Regroupement proposé | Arguments |
|---|-------------------------|---|----------------------|---|
| Domaine de socle - Roches plutoniques et magmatiques | | | | |
| $p\gamma^{3M}$ | γ^3 | Granite à grain moyen, de teinte rosée à grisâtre sur une cassure fraîche, équiaxiale ou porphyroïde. Composition : quartz, feldspath potassique, plagioclase, biotite et accessoires (muscovite, zircon, apatite et tourmaline). | γ | Choix de regrouper les granites au vue d'une différence de composition minéralogique qui ne parait a priori pas conséquente pour un fond pédolithogéochimique |
| $ca\gamma^{1-2}$ | | Granite à teinte claire (jaunâtre à rosée) et très déformé. Le grain est moyen à fin, irrégulier, non porphyroïde. Composition : feldspaths potassiques très abondants et de plagioclase, quartz, des micas peu abondants (biotite, muscovite). | | |
| $o\zeta^3$ | | Orthogneiss ocellés. Composition : Feldspath potassique, quartz + accessoires : albite, muscovite, biotite, chlorite | | |
| | η^2 | Diorite quartzique (Figeac). Composition : quartz, plagioclase de type andésine, hornblende et biotite avec de nombreux minéraux accessoires (épidote, sphène, calcite, zircon, apatite et opaques) | η | Roche particulière à l'échelle de la carte et qui risque de présenter un fond pédolithogéochimique contrasté |

Illustration 2 : Proposition de regroupement lithologique pour les formations plutoniques et magmatiques.

| Feuille de Decazeville (859) | Feuille de Figeac (858) | Description | Regroupement proposé | Arguments |
|---|-------------------------|--|----------------------|---|
| Domaine de socle - Roches métamorphiques | | | | |
| $\alpha\xi^1$ | S1-2 | Schistes satinés séricitieux / Séricitoschistes quartzeux. Deux faciès principaux : l'un essentiellement micacé, l'autre quartzo-micacé. La composition minéralogique comporte : muscovite \pm biotite, chlorite, quartz et plagioclase, avec en accessoires tourmaline, zircon et opaques. | ξ | Regroupée avec les séricitoschistes, quartzites et chloritoschistes |
| ξ^1 a-b | | Chloritoschistes à albite-tourmaline. Composition : quartz + chlorite + micas blancs + albite + tourmaline (2 %) + magnétite | | Regroupée car composition minérale très similaire aux formations environnantes sauf pour un probable enrichissement en B (non mesuré en pXRF), Fe et Mg |
| ξ^2 -3 | | Séricitoschistes feldspathiques. Composition : séricite constitue de 10 à 30 % de la roche. Accompagnée par feldspath potassique, quartz, albite, chlorite, biotite et muscovite, et minéraux opaques (ilménite notamment). | | Composition minéralogique très proche que les formations précédentes. Présence de feldspath plus importante pourrait apporter une signature légèrement enrichie en K et Na. |
| χ^1 Ca | | Quartzites micacés à calcite correspond à la base des séricitoschistes siliceux (passage progressif). Alternance millimétrique de lits quartzeux et micacés. Composition : principalement quartz, mica blanc et chlorite. | | Vraisemblable équivalence avec niveau de quartzites non cartographiables des séricitoschistes |
| | ξ^1 - χ^2 | Unité de Pomas (quartzites feldspathiques noirs à biotite, micaschistes à biotite et grenat) ; à l'Est, en position inférieure, l'unité de Bouillac (micaschistes à biotite et grenat, quartzites feldspathiques). Compo quartzites: Quartz (40 à 60 %), plagioclase (30 à 50 %), biotite (10 à 30 %), grenat + accessoire : muscovite, chlorite, tourmaline, opaques. Compo Micaschistes : Quartz (20 à 40 %), plagioclase (0 à 10 %), biotite et muscovite (50 à 70 %), grenat, staurolite + accessoires : chlorite, apatite, tourmaline, opaques. | | Possible regroupement avec ensemble précédent |
| χ G | | Microquartzites graphiteux. Présence de quartz (90 %), graphite, mica blanc (quelques paillettes), rutile, apatite, pyrite, magnétite. | χ G | Nécessité de conserver cette lithologie du fait d'une signature lithogéochimique vraisemblablement contrastée => présence de sulfures et de matière organique |
| λ^3 -4 | λ^3 -4 | Gneiss leptyniques et amphiboles. Composition : Quartz (30 à 50 %), plagioclases (20 à 60 %), biotite, chlorite, muscovite. Niveaux amphibolites sont composés de hornblende. | λ - δ | Nécessité de conserver cette lithologie du fait d'une signature lithogéochimique vraisemblablement contrastée |
| δ^1 | | Amphibolites. Composition : hornblende et épidote | | Très faible extension |

Illustration 3 : Proposition de regroupement lithologique pour les formations métamorphiques.

| Feuille de Decazeville (859) | Feuille de Figeac (858) | Description | Regroupement proposé | Arguments |
|--|-------------------------|---|----------------------|--|
| Roches sédimentaires mésozoïques et cénozoïques | | | | |
| | t | Grès et argiles bariolés | t | |
| | I1 | Calcaires dolomitiques à argilites vertes (Hettangien inf.) | | |
| | I2 | Calcaires dolomitiques (Hettangien Sup.) | | |
| | I3-4 | Calcaires sublithographiques bleus à passées dolomitiques (Hettangien - Sinémurien) | | |
| | I5 | Alternances marno-calcaires du Carixien | | |
| | I6a | Argiles schisteuses (=> marnes) (Domérien) | | |
| | I6b | Calcaires bioclastiques roux (attention présente au sommet d'un niveau à pyrite) (Domérien) | | |
| | I7-8 | Marnes (Toarcien) | | |
| | j1 | Calcaires oolithiques ou recristallisés (Bajocien) | | |
| | j2a-b1 | Calcaires graveleux en bancs épais (Bathonien moyen) | | |
| | j2a | Calcaires sublithographiques et lignites (Bathonien inf.) | | |
| | e6-7 | Argiles à graviers localement micacées et conglomérats | | |
| | e7a | Calcaires lacustres crayeux | | |
| | e7b | Marnes vertes | | |
| | e7c | Calcaires d'Asprières | | |
| Roches des formations superficielles | | | | |
| Fz | Fz | Alluvions | | |
| Fx | Rf | Argiles à galets | F | Alluvions et formations superficielles allochtones |
| | | Formations alluviales | | |
| | | | e | Marno-calcaires éocènes |

Illustration 4 : Proposition de regroupement lithologique pour les formations sédimentaires et superficielles.

Bossi (1972) souligne que la pyrite est très fréquente dans les séries métamorphiques de la zone d'Asprières.

3.2. GÎTOLOGIE DES MINÉRALISATIONS RENCONTRÉES

D'après Bossi (1972), le champ filonien localisé au nord d'Asprières et à proximité de Bouillac serait constitué de quatre filons principaux, subparallèles et minéralisés principalement en galène, sphalérite et barytine : La Vidale, Saint-Benoit – Croiseur, Rucube et Saint-Louis. Ces filons sont sécants par rapport à la foliation métamorphique régionale.

Bossi (1972) a mis en évidence deux types de minéralisations au niveau du filon de La Vidale :

- une minéralisation à gangue barytique, sous forme de filons assez puissants et affleurant ;
- une seconde à gangue calcitique, sous formes de filonnets et qui n'a été observée qu'en galerie et dans les sondages.

Le filon de La Vidale a une orientation globalement NW-SE, pour une longueur d'environ 900 m et une puissance très variable mais pouvant atteindre 7 m. La structure interne est rubanée et plus ou moins symétrique. La barytine est plus ou moins intensément silicifiée, et les sulfures (sphalérite et galène principalement) sont intimement liés.

En revanche, les données sur les minéralisations encaissées dans le granite de Villefranche, à l'est de la faille du même nom (secteur de Peyrusses-le-Roc) et dans la diorite quartzite de Figeac (secteur de Sonnac) sont peu étendues.

D'après les données disponibles, le contenu minéralogique des diverses occurrences minéralisées connues sur la zone d'étude, bien que pouvant varier, semble assez homogène (Illustration 5).

Les minéraux présents suggèrent que les signatures géochimiques prévisibles comme marqueurs des minéralisations sont le plomb (galène, cérusite, anglésite, pyromorphite), le zinc (sphalérite), le baryum (barytine), le cuivre (chalcopyrite, covellite, cuivre natif, cuprite, malachite, azurite), et dans une moindre mesure, l'arsenic (arsénopyrite, pyrite, marcasite), l'antimoine (antimoine natif, galène, pyrite), l'argent (galène, argentite). La pyrite est aussi citée comme pouvant être nickélifère (Pierrot *et al.*, 1982).

| Minéral | Abondance | Description générale |
|-----------------|----------------------------|--|
| Anglésite | Fréquente | Provient de l'altération de la galène |
| Antimoine natif | Rare | Finement exprimé dans la galène |
| Azurite | Rare | En traînées dans les fissures du quartz |
| Barytine | Absente à très abondante | Massive ou en lames blanches dans la gangue. |
| Bourbonite | Fréquente | En très fine inclusion, associée à l'antimoine natif dans la galène. |
| Cérusite | Fréquente | En encroûtement gris pulvérulent sur la galène |
| Chalcocite | Absente à très abondante | Parfois associée à la covellite ou en grains éparses |
| Chalcopyrite | Rare à fréquente | Plutôt en cristaux éparses dans la gangue de quartz |
| Covellite | Rare à fréquente | Associée à la galène, la chalcopyrite et l'anglésite. |
| Galène | Abondante à très abondante | Xénomorphe dans une gangue siliceuse. |
| Malachite | Rare à fréquente | En croûte verte sur les sulfures de cuivre |
| Marcasite | Très abondante | Massive en agrégats polycristallins. |
| Pyrite | Rare | En agrégats inclus dans la galène ou indépendants |
| Pyromorphite | Absente à abondante | En encroûtements |
| Sphalérite | Abondante à très abondante | En assemblages automorphes à sub-automorphes |

Illustration 5 : Composition minéralogique symptomatique pour les différents indices du secteur (d'après Pierrot et al., 1977 ; 1982)

Les métaux et métalloïdes qui peuvent être aussi associés à ce type de minéralisation sont : Cd, As, Bi, Se (galène, cérusite, anglésite, sphalérite), Co, Hg, (sphalérite, pyrite) et Ge, In (sphalérite). Les données existantes, issues seulement d'analyses sur la galène et la sphalérite et sur une seule occurrence minéralisée (Illustration 6), indiqueraient que le bismuth et le germanium ne présenteraient pas de concentrations très élevées. Ces données confirment aussi la présence importante de Cd (dans la sphalérite principalement) et d'antimoine (dans la galène et la sphalérite).

| | Galène | | | | Sphalérite | | | | |
|----|--------|------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | 1000 | >1000 | >1000 | 140 | 280 | 560 | 320 | 320 |
| Ag | <10 | <10 | <10 | 30 | <10 | <10 | 30 | <10 | <10 |
| Bi | 100 | 100 | 300 | - | 4300 | 4100 | 5200 | 5200 | 4300 |
| Co | <10 | <10 | <10 | <10 | 550 | 280 | 670 | 450 | 440 |
| Cu | 300 | 230 | 380 | 350 | >1000 | >1000 | >1000 | >1000 | >1000 |
| Ge | - | - | - | - | 30 | 10-30 | 10-30 | 10-30 | 10-30 |
| Ni | 85 | 515 | 355 | <10 | 920 | 420 | 330 | 575 | 1500 |
| Sb | 1780 | 1630 | 1900 | 2040 | 785 | 1480 | 1170 | 1700 | 1070 |

Illustration 6 : Concentrations en mg/kg de quelques métaux et métalloïdes dans la galène et la sphalérite du filon de La Vidale (extrait de Bossi, 1972).

3.3. DONNÉES GÉOCHIMIQUES DISPONIBLES

Bossi (1972) présente quelques données sur les concentrations en certains métaux et métalloïdes des roches encaissantes de la minéralisation (Illustration 7). Bien qu'anciennes, ces données peuvent donner une indication sur les contrastes qui pourront être éventuellement observés dans les mesures de fond pédo-lithogéochimique réalisées au cours de cette étude.

| Roche | Formation carte géologique | Pb | Zn | Ba | Cu | Co | Ni | Cr |
|---------------------|----------------------------|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| Amphibolite | δ^{11} | 23 | 120 | 250 | 20 | 65 | 95 | 370 |
| Gneiss à hornblende | $\xi^{1-2}\chi^2$ | 5 | 75 | 850 | 15 | 35 | 65 | 170 |
| Gneiss à 2 micas | $\xi^{1-2}\chi^2$ | 50 | 200 | 700 | 40 | 35 | 65 | 100 |
| Gneiss à muscovite | $\xi^{1-2}\chi^2$ | 15 | 40 | 650 | 50 | 30 | 35 | 70 |
| Leptynites | λ^{3-4} | 5 | 65 | 150 | 30 | 70 | 45 | 45 |
| Micaschistes | $\xi^{1-2}\chi^2$ | 5 | 60 | 350 | 30 | 35 | 40 | 80 |
| Diorite | η^2 | 60 | 160 | 450 | 150 | 55 | 30 | 90 |
| Porphyrite | γ^3 | 40 | 60 | 450 | 10 | 35 | 45 | 150 |
| Schistes graphiteux | χ^G | 15 | 10 | 850 | 45 | 60 | 65 | 65 |

Illustration 7 : Teneurs moyennes en mg/kg de certains éléments pour des formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude (extrait de Bossi, 1972).

Les données de l'Inventaire minier (géochimie sur sédiments de ruisseaux) sont restreintes à la partie occidentale de la zone d'étude, à l'ouest de la faille de Villefranche (Illustration 8). Ces données sont issues des campagnes de la SNEAP (Société Nationale Elf Aquitaine Production). La méthode d'analyse utilisée est la spectrométrie d'émission sur poudre (quantomètre) (Lambert, 2005). La date de prélèvement n'est pas connue, mais se trouve vraisemblablement au cours des années 1980.

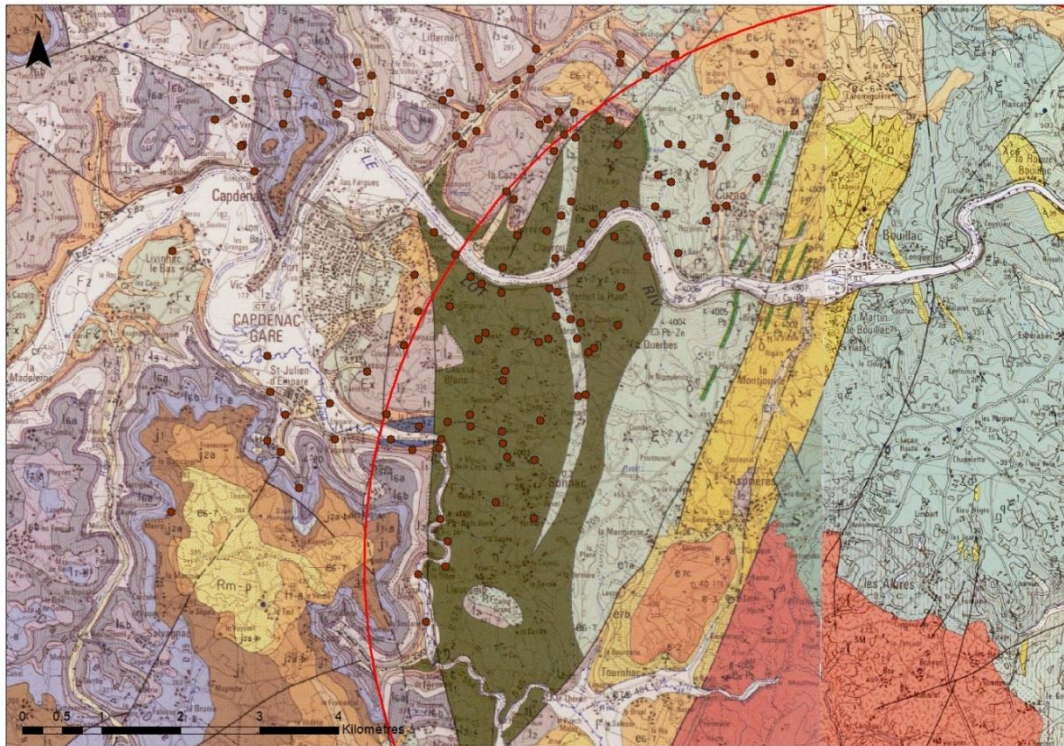


Illustration 8 : Localisation des prélèvements réalisés par la SNEAP pour la géochimie sur sédiments de ruisseaux dans le cadre de l'Inventaire minier.

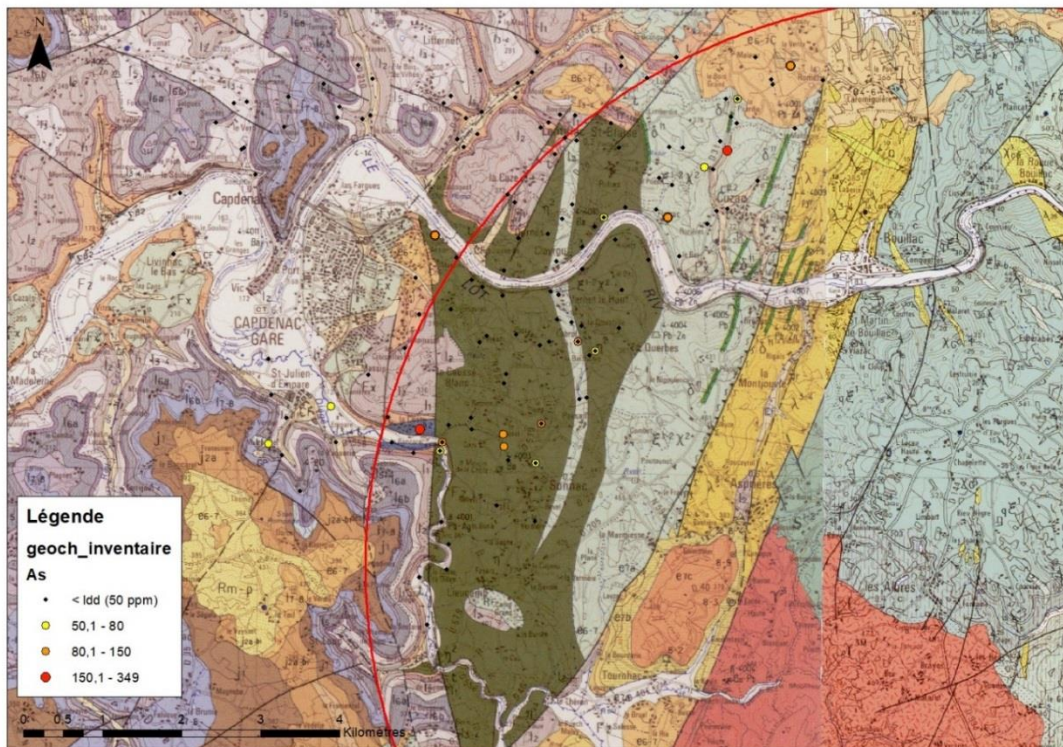


Illustration 9 : Données géochimiques de l'Inventaire minier pour l'arsenic.

L'arsenic est assez peu présente (Illustration 9), mais des fortes valeurs (> 80 mg/kg et pouvant atteindre 349 mg/kg) sont mises en évidence dans le talweg localisé au nord-ouest de Sonnac, et qui draine un indice à barytine marquée sur la carte géologique (n° 4-4003), et dans le secteur de Cuzac où plusieurs indices sont aussi connus.

Le baryum montre des concentrations qui peuvent être très élevées (jusqu'à 1 %) (Illustration 10), mais celles-ci sont réparties sur l'ensemble de la surface investiguée.

Le plomb présente des concentrations pouvant atteindre plus de 3 900 mg/kg. La répartition des plus fortes concentrations est assez bien corrélée avec les indices connus (Illustration 11).

L'antimoine est assez présente dans la zone échantillonnée (Illustration 12), avec des valeurs maximales dépassant les 1 000 mg/kg, et une majorité d'analyses supérieures à 279 mg/kg. Cela semblerait confirmer que cet élément est aussi un bon indicateur des minéralisations présentes dans le secteur.

Le zinc montre des concentrations bien contrastées, les valeurs maximales pouvant atteindre plus de 1 500 mg/kg (Illustration 13). Là aussi, celles-ci sont bien corrélées avec les minéralisations connues.

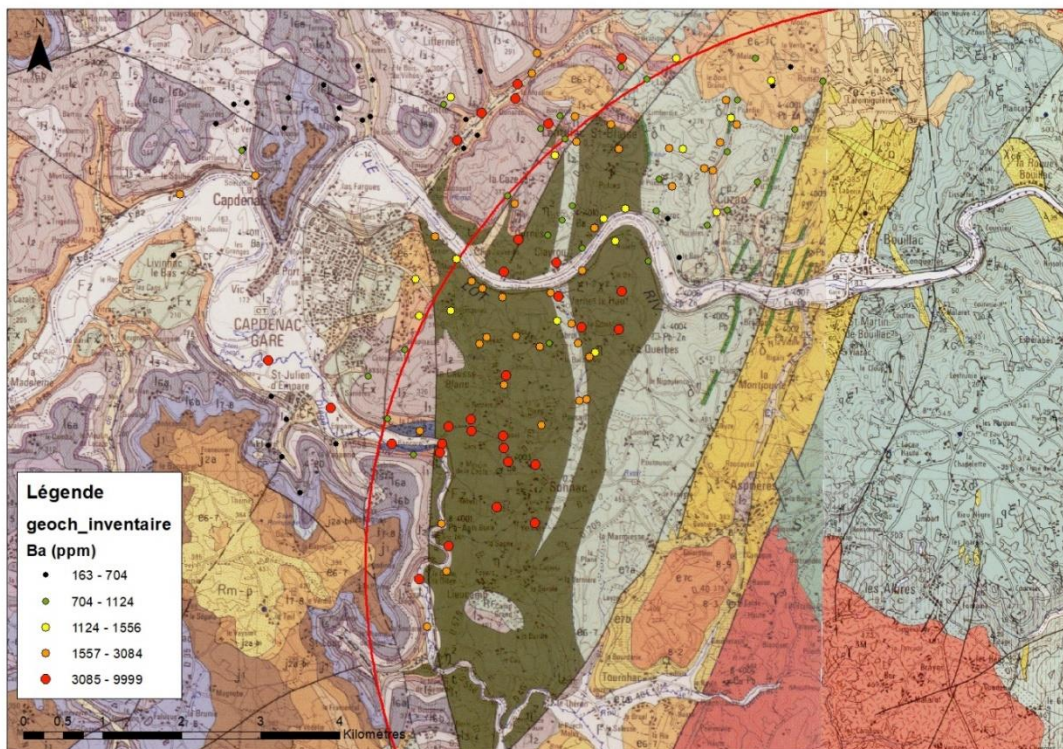


Illustration 10 : Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le baryum.

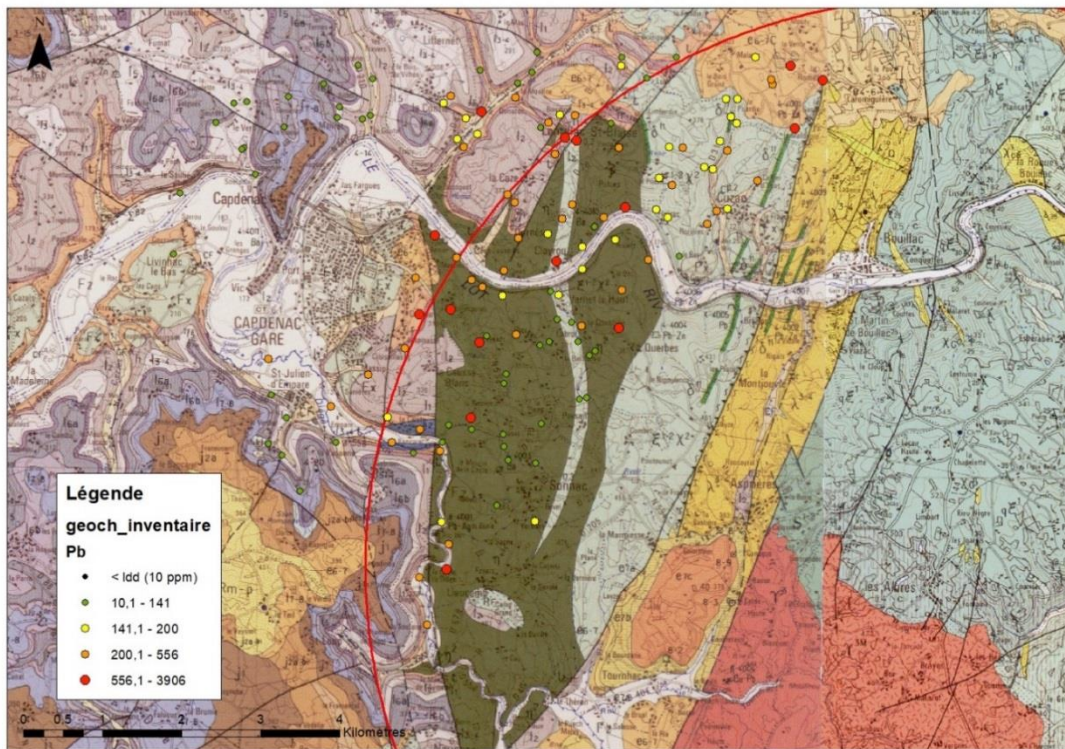


Illustration 11 : Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le plomb.

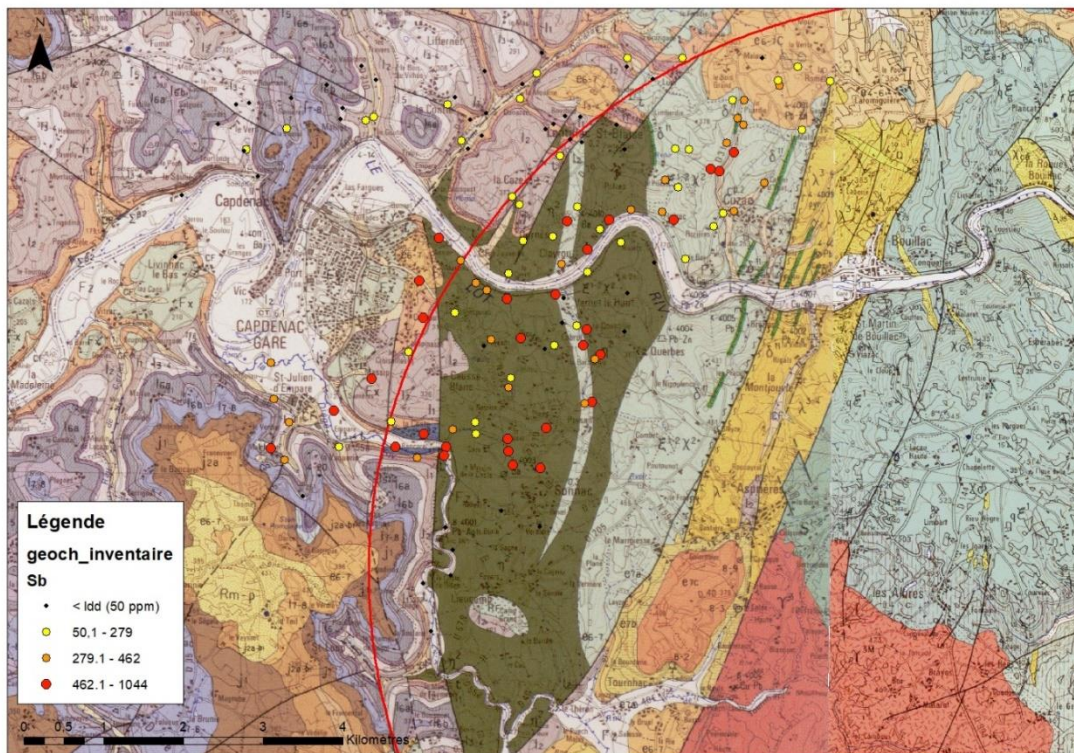


Illustration 12 : Données géochimiques de l'Inventaire minier pour l'antimoine.

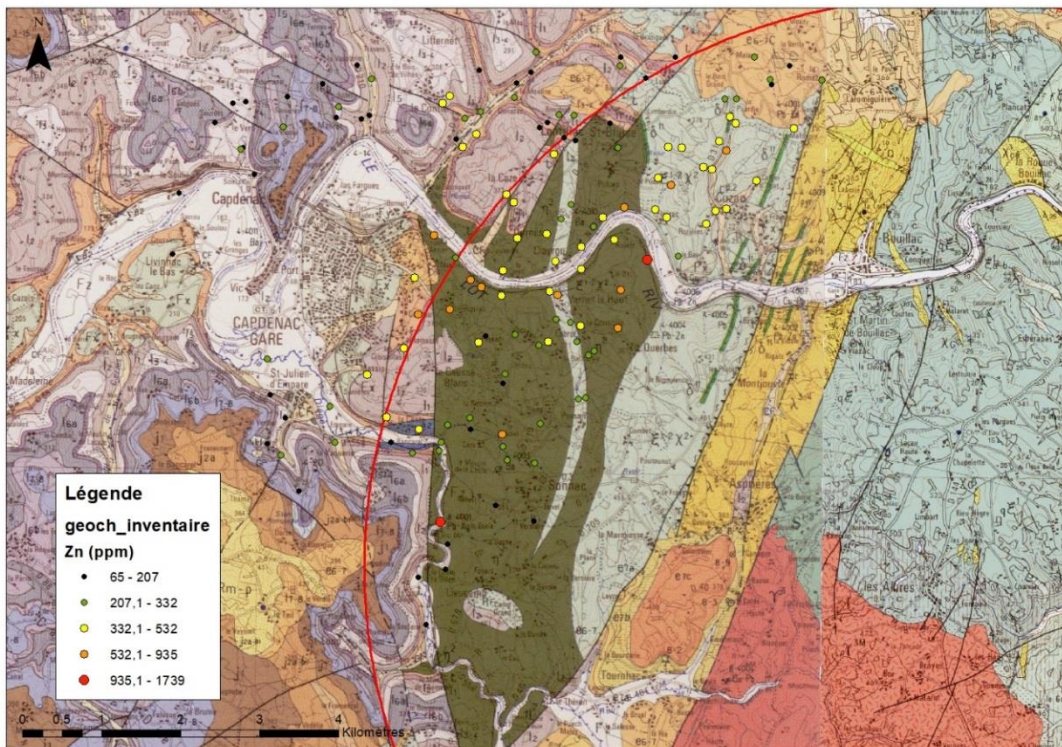


Illustration 13 : Données géochimiques de l'Inventaire minier pour le zinc.

3.4. DÉROULEMENT DES CAMPAGNES DE TERRAIN

Les campagnes de terrain se sont déroulées sur deux années en 2017 et 2018.

La campagne de 2017 s'est déroulée du 18 au 28 avril 2017. La première semaine a permis de reconnaître l'ensemble des différentes formations lithologiques, de faire 67 points de mesure et 22 prélèvements. Entre la première et seconde semaine, une journée a été consacrée à l'analyse des données recueillies lors de la première semaine pour vérifier la qualité des données (impact des zones anthropiques sur les données de l'FPG, nombre suffisant par formations lithologiques, pertinence des prélèvements effectués...). À partir de cette analyse, le plan d'échantillonnage pour la seconde semaine a pu être établi. Ainsi, 50 points de mesure et 24 prélèvements sont venus compléter le travail de la première semaine.

L'analyse de ces données et une étude plus approfondie de la géologie ont permis un nouveau regroupement des formations géologiques. À la suite de cette étude, une deuxième campagne de terrain a eu lieu du 23 au 27 avril 2018, 67 points de mesures ont été effectués et 21 prélèvements.

Au total, 190 mesures ont été effectuées dont 178 mesures sur des sols (67 prélèvements de sols tamisés et 8 de sols bruts). Dix mesures ont été faites sur des roches pour s'assurer de l'identification du faciès (ceci est possible par la détermination des ratios de certains éléments majeurs comme Ca, K et Fe) et 2 sur des sédiments en bords de berges. L'ensemble des descriptions des échantillons (sols, sédiments et roches) est rassemblé en Annexe 2.

3.5. COMPARAISON DES ANALYSES pXRF ET ANALYSES DE LABORATOIRE

3.5.1. Impact de l'humidité

Les teneurs en eau des échantillons sont comprises entre 1,2 à 26,0 % avec une moyenne à 11,3 %. Malgré les pluies de la seconde semaine, celle-ci a eu peu d'impact sur l'humidité des échantillons (même variabilité dans les teneurs en eau des échantillons) et les analyses XRF peuvent être traitées en un seul lot. En 2018, les teneurs en eau des échantillons sont comprises entre 7,2 et 35,4 % avec une moyenne à 20,1 %. La majorité des sols présentant des teneurs en eau élevées sont des sols forestiers. Malgré, la variabilité de l'humidité entre les deux années (de ~10 à ~20 %), les corrélations obtenues, entre les données terrain et celles de laboratoire (§ 3.5.), ne semblent pas trop impactées. Seuls 3 éléments (Fe, Ca et Zn) montrent que les teneurs en pXRF de 2018 sont plus faibles que celles de 2017 comparées aux concentrations déterminées par ICP (Illustration 16).

3.5.2. Analyse par spectrométrie ICP

L'analyse par spectrométrie ICP (Illustrations 14 et 15, Annexe 1), de 40 échantillons de sol sélectionnés en fonction de la gamme de teneurs en différents éléments chimiques rencontrés sur le terrain et donc représentatifs de la zone d'étude, montre que tous les échantillons de sols présentent des concentrations inférieures à la Limite de Détection (LD) en Bi (LD < 10 mg/kg) et Mo (LD < 5 mg/kg). Pour quelques éléments comme Nb (LD < 20 mg/kg), Sb (LD < 10 mg/kg), Sn (LD < 10 mg/kg) et W (LD < 10 mg/kg), entre 1 et 3 échantillons présentent une concentration égale ou légèrement supérieure à la LD.

Pour l'arsenic, 20 échantillons présentent des concentrations < LD (20 mg/kg). Pour les 20 autres, 3 montrent des concentrations > 200 mg/kg (ASP-412, ASP-436 et ASP-1044) ; ces échantillons présentent aussi des concentrations élevées en Cd et/ou Cu, Pb, Zn. Les autres échantillons ont des concentrations en As comprises entre 20 et 76 mg/kg.

Pour le cadmium, 33 échantillons présentent des concentrations < LD (2 mg/kg) et 2 égales à la LD ; les 5 derniers échantillons montrent des concentrations de 3 à 23 mg/kg. Ces 5 échantillons (LD ≥ 2 mg/kg) présentent des concentrations en Zn > 480 mg/kg sauf un (373 mg/kg en Zn).

Pour le cuivre, les concentrations mesurées sont inférieures ou proches des concentrations moyennes rencontrées dans les sols (25 mg/kg, Sposito, 1989, Annexe 3). Seuls 3 sols présentent des concentrations plus élevées (ASP-408, ASP-412 et ASP-1044) ; le premier a été prélevé dans une zone potentiellement impactée par des dépôts miniers pouvant expliquer des concentrations élevées en métaux. Les 2 derniers échantillons correspondent à la formation χG fortement minéralisée et susceptible de présenter de fortes teneurs en certains métaux.

Pour le plomb, les concentrations mesurées sont généralement supérieures aux concentrations moyennes rencontrées dans les sols (Sposito, 1989). Idem pour les concentrations en zinc.

Pour les autres éléments traces, les concentrations sont comprises entre les concentrations moyennes rencontrées dans les sols (Sposito, 1989) ou du même ordre de grandeur.

Pour les éléments majeurs, on ne peut pas se baser sur les valeurs moyennes données par Sposito (1989) puisqu'elles sont fortement variables en fonction des formations géologiques. Il y a une grande différence entre un granite à biotite et un calcaire, que ce soit pour Fe (1 à 8,1 % Fe_2O_3), Ca (< LD à 13,5 % CaO), Si (26,1 à 64,9 % SiO_2), Al (6,5 à 18,9 % Al_2O_3), Mg (< LQ à 7,5 % MgO), K (1,8 à 5,4 % K_2O) ...

Pour les éléments majeurs, les concentrations mesurées par spectrométrie ICP sont au-dessus des LD sauf pour le calcium et le magnésium où certaines concentrations sont < 1 %.

3.5.3. Comparaison analyses pXRF et analyse par ICP

Sur les 75 échantillons prélevés, 40 ont été sélectionnés pour être analysés par spectrométrie ICP (Illustrations 14 et 15). Ce choix tient compte des teneurs mesurées sur site comme précisé au paragraphe précédent mais aussi de la composition chimique des différentes formations lithologiques (alumino-silicatés, plus ou moins riches en carbonates...).

Pour la plupart des échantillons, les teneurs mesurées sont supérieures à la limite de quantification des deux techniques utilisées (ICP et pXRF), il est donc possible d'obtenir des corrélations satisfaisantes (Illustration 16). Par contre, pour le cuivre, la majorité des teneurs sont < 50 mg/kg et proches de la limite de quantification du pXRF (22 mg/kg), il est donc difficile d'avoir une droite de corrélation pour des concentrations < 50 mg/kg, on observe plutôt un nuage de points.

Pour le zinc, les concentrations entre 500 et 900 mg/kg sont dispersées autour de la droite de corrélation (Illustration 16). Les valeurs ayant servi pour établir les FPG sont comprises entre 40 et 350 mg/kg (sauf une valeur à 481 mg/kg), dans ce domaine, toutes les mesures sont parfaitement corrélées ($y = 0,96 \cdot x$ et $r^2 = 0,9077$).

Pour les majeurs comme le fer et le calcium, on se trouve dans deux situations différentes. Le fer a été analysé en mode sol car c'est le mode le plus adapté pour les analyses de métaux dans des sols mais il n'est pas correctement quantifié. Les teneurs en Fe sont donc qualitatives et données à titre indicatives pour différencier les formations lithologiques. Dans le cas de Ca, il est considéré comme un élément léger et donc plus difficilement quantifiable. Seules les formations riches en Ca (n = 14 sur 40) ont donné des valeurs > LOD, ces dernières sont bien corrélées aux mesures obtenues par ICP malgré le faible nombre de données et un peu de dispersion due certainement à la teneur en eau de certains échantillons.

| Elément | As | Sb | Cd | Cu | Fe2O3t | Pb | Zn | Al2O3 | CaO | K2O | MgO | MnO | SiO2 | TiO2 | P2O5 | Ba | Sr | PP à 450°C | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|------|--|
| Unité | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | % | mg/kg | mg/kg | % | % | % | % | % | % | % | mg/kg | mg/kg | mg/kg | 5 | 0,05 | |
| ASP-408 | 64 | <LQ | <LQ | 134 | 4,9 | 1107 | 216 | 12,6 | <LQ | 3,17 | 1,1 | 0,12 | 60,8 | 0,8 | 1150 | 544 | 55 | 5,02 | | |
| ASP-409 | 55 | <LQ | <LQ | 25 | 6,6 | 84 | 171 | 12,6 | 1,2 | 2,43 | 1,9 | 0,23 | 58,1 | 0,6 | 1156 | 301 | 53 | 7,33 | | |
| ASP-412 | 265 | <LQ | 2 | 99 | 5,2 | 398 | 534 | 14,3 | <LQ | 3,64 | <LQ | 0,19 | 57,1 | 0,84 | 3014 | 1216 | 65 | 6,02 | | |
| ASP-415 | <LQ | <LQ | 6 | 18 | 1 | 157 | 579 | 11,7 | <LQ | 4,03 | <LQ | 0,05 | 64,9 | 0,3 | 1137 | 420 | 78 | 3,65 | | |
| ASP-422 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 3,9 | 39 | 109 | 9,4 | 11,2 | 3,52 | 6,9 | 0,27 | 39,8 | 0,51 | 346 | 270 | 102 | 4,33 | | |
| ASP-429 | <LQ | <LQ | <LQ | 13 | 3,1 | 55 | 93 | 9,5 | 2,7 | 1,84 | <LQ | 0,15 | 60,9 | 0,9 | 748 | 346 | 56 | 8,33 | | |
| ASP-431 | <LQ | <LQ | <LQ | 29 | 6,2 | 223 | 183 | 12,6 | 1,1 | 2,6 | 1,9 | 0,14 | 59,5 | 1,04 | 1334 | 536 | 75 | 7,67 | | |
| ASP-436 | 385 | <LQ | 23 | 23 | 8,1 | 64 | 489 | 13,9 | <LQ | 3,52 | 3,5 | 0,26 | 48,6 | 0,64 | 1347 | 624 | 74 | 7,67 | | |
| ASP-439 | <LQ | <LQ | <LQ | 33 | 6,9 | <LQ | 54 | 18,9 | <LQ | 3,11 | <LQ | 0,06 | 48,5 | 0,85 | 927 | 535 | 61 | 9,67 | | |
| ASP-449 | <LQ | <LQ | <LQ | 40 | 6,2 | 589 | 208 | 12,2 | <LQ | 2,2 | 1,8 | 0,16 | 55,1 | 0,74 | 1371 | 574 | 62 | 11,67 | | |
| ASP-454 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,2 | 634 | 92 | 13,5 | <LQ | 4,94 | <LQ | 0,07 | 55,7 | 0,48 | 1393 | 769 | 267 | 8,7 | | |
| ASP-465 | <LQ | <LQ | <LQ | 12 | 4,3 | 152 | 82 | 13,1 | 2,5 | 2,56 | 1,6 | 0,12 | 53,4 | 0,67 | 911 | 985 | 225 | 10,67 | | |
| ASP-466 | <LQ | <LQ | 2 | 40 | 7,5 | 997 | 801 | 9,7 | 4,2 | 2,77 | 2 | 1,13 | 43,3 | 0,72 | 2288 | 1756 | 68 | 16,39 | | |
| ASP-480 | <LQ | <LQ | <LQ | 44 | 4,5 | 70 | 178 | 13,6 | <LQ | 2,98 | 1,3 | 0,16 | 60,3 | 0,73 | 1350 | 585 | 57 | 7,33 | | |
| ASP-482 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,1 | 84 | 117 | 12,4 | <LQ | 4,86 | <LQ | 0,07 | 59,1 | 0,52 | 987 | 961 | 248 | 7,64 | | |
| ASP-487 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,2 | 36 | 51 | 12,3 | <LQ | 5,44 | <LQ | 0,26 | 58,1 | 0,56 | 1495 | 5177 | 192 | 7,02 | | |
| ASP-490 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,3 | 81 | 112 | 11,4 | <LQ | 4,41 | <LQ | 0,09 | 62,1 | 0,8 | 758 | 1260 | 201 | 4,65 | | |
| ASP-502 | 34 | <LQ | <LQ | 19 | 4,8 | 24 | 81 | 14,3 | <LQ | 3,4 | <LQ | 0,08 | 55,7 | 1,04 | 533 | 522 | 54 | 5,98 | | |
| ASP-507 | <LQ | <LQ | <LQ | 28 | 5,3 | 61 | 108 | 14,4 | <LQ | 3,24 | <LQ | 0,87 | 52,4 | 0,87 | 2852 | 512 | 50 | 9,03 | | |
| ASP-510 | <LQ | <LQ | <LQ | 18 | 3,1 | 352 | 354 | 6,5 | 13,5 | 1,92 | 7,5 | 0,37 | 26,1 | 0,37 | 1709 | 500 | 85 | 13,29 | | |
| Elément | Ag | B | Be | Bi | Ce | Co | Cr | La | Li | Mo | Nb | Ni | Sn | V | W | Y | Zr | | | |
| Unité | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | | |
| LD | 0,2 | 10 | 2 | 10 | 10 | 5 | 10 | 20 | 10 | 5 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | | |
| Unité | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | | |
| ASP-408 | 0,8 | 76 | 2 | <LQ | 64 | 15 | 58 | 35 | 53 | <LQ | <LQ | 27 | <LQ | 90 | <LQ | 31 | 160 | | | |
| ASP-409 | <LQ | 75 | <LQ | <LQ | 32 | 17 | 129 | <LQ | 45 | <LQ | <LQ | 37 | <LQ | 124 | <LQ | 33 | 78 | | | |
| ASP-412 | 0,8 | 86 | 3 | <LQ | 85 | 21 | 68 | 44 | 56 | <LQ | <LQ | 38 | <LQ | 82 | <LQ | 28 | 165 | | | |
| ASP-415 | <LQ | 434 | 9 | <LQ | 37 | <LQ | 20 | <LQ | 43 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 47 | | | |
| ASP-422 | <LQ | 291 | <LQ | <LQ | 48 | 5 | 43 | 23 | 35 | <LQ | <LQ | 19 | <LQ | 57 | <LQ | <LQ | 87 | | | |
| ASP-429 | 0,2 | 110 | <LQ | <LQ | 79 | 16 | 59 | 31 | 40 | <LQ | <LQ | 19 | <LQ | 63 | <LQ | 22 | 179 | | | |
| ASP-431 | <LQ | 62 | <LQ | <LQ | 47 | 19 | 89 | 22 | 48 | <LQ | <LQ | 31 | <LQ | 133 | <LQ | 24 | 132 | | | |
| ASP-436 | <LQ | 86 | 3 | <LQ | 86 | 28 | 216 | 48 | 73 | <LQ | <LQ | 162 | <LQ | 96 | <LQ | 34 | 105 | | | |
| ASP-439 | <LQ | 91 | 2 | <LQ | 114 | 13 | 69 | 58 | 87 | <LQ | <LQ | 34 | <LQ | 99 | <LQ | 29 | 149 | | | |
| ASP-449 | <LQ | 45 | <LQ | <LQ | 43 | 17 | 92 | 26 | 69 | <LQ | <LQ | 35 | <LQ | 125 | <LQ | 29 | 82 | | | |
| ASP-454 | 1 | 55 | 4 | <LQ | 109 | <LQ | 19 | 56 | 43 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 43 | <LQ | <LQ | 106 | | | |
| ASP-465 | 0,2 | 49 | <LQ | <LQ | 34 | 10 | 25 | 28 | 61 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 98 | <LQ | <LQ | 111 | | | |
| ASP-466 | 2 | 87 | 2 | <LQ | 90 | 21 | 52 | 38 | 56 | <LQ | <LQ | 37 | <LQ | 104 | <LQ | 26 | 120 | | | |
| ASP-480 | <LQ | 63 | 2 | <LQ | 79 | 15 | 104 | 38 | 60 | <LQ | <LQ | 39 | <LQ | 85 | <LQ | 28 | 152 | | | |
| ASP-482 | 0,6 | 37 | 2 | <LQ | 82 | <LQ | 24 | 41 | 34 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 45 | <LQ | <LQ | 152 | | | |
| ASP-487 | 0,4 | 97 | 3 | <LQ | 118 | 5 | 22 | 64 | 38 | <LQ | <LQ | 15 | <LQ | 68 | <LQ | <LQ | 173 | | | |
| ASP-490 | 0,3 | 66 | <LQ | <LQ | 107 | <LQ | 32 | 59 | 51 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 56 | <LQ | <LQ | 251 | | | |
| ASP-502 | <LQ | 63 | 2 | <LQ | 87 | 14 | 63 | 47 | 34 | <LQ | <LQ | 24 | <LQ | 87 | <LQ | 32 | 159 | | | |
| ASP-507 | <LQ | 69 | 2 | <LQ | 72 | 9 | 76 | 36 | 104 | <LQ | <LQ | 24 | <LQ | 100 | <LQ | 43 | 172 | | | |
| ASP-510 | 1,2 | 59 | <LQ | <LQ | 30 | 9 | 34 | <LQ | 29 | <LQ | <LQ | 17 | <LQ | 61 | <LQ | <LQ | 41 | | | |

Illustration 14 : Tableau des analyses des échantillons de la campagne de 2017 par spectrométrie ICP de 34 éléments et perte au feu à 450°C, LQ : Limite de quantification.

| Elément | As | Sb | Cd | Cu | Fe2O3t | Pb | Zn | Al2O3 | CaO | Mo | Nb | Ni | MnO | SiO2 | TiO2 | P2O5 | Ba | Sr | PP à 450°C | |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|
| LD | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | % | mg/kg | mg/kg | % | % | mg/kg | mg/kg | mg/kg | % | % | % | mg/kg | mg/kg | mg/kg | % | |
| Unité | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,28 | 1622 | 115 | 14,9 | <LQ | 5,65 | <LQ | <LQ | <LQ | 63,9 | 0,58 | 1664 | 1328 | 376 | 6,64 | |
| ASP-1001 | 22 | <LQ | <LQ | <LQ | 2,43 | 65 | 54 | 11,9 | <LQ | 5,37 | <LQ | <LQ | 0,07 | 76,1 | 0,81 | 938 | 1345 | 296 | 2,00 | |
| ASP-1004 | 76 | <LQ | 3 | 48 | 8,08 | 212 | 779 | 13,9 | <LQ | 1,51 | 3,3 | 0,21 | 50,2 | 0,72 | 1312 | 308 | 66 | 17,73 | | |
| ASP-1009 | 29 | <LQ | <LQ | 26 | 6,82 | 24 | 87 | 14,2 | <LQ | 2,34 | 2 | 0,15 | 64,1 | 0,74 | 638 | 386 | 92 | 3,65 | | |
| ASP-1011 | 66 | <LQ | <LQ | 39 | 6,36 | 139 | 213 | 12,0 | 1,1 | 2,13 | 1,5 | 0,11 | 60,6 | 0,94 | 610 | 461 | 71 | 11,33 | | |
| ASP-1013 | 26 | <LQ | <LQ | 13 | 3,27 | 93 | 136 | 12,3 | 5,6 | 4,31 | 1,3 | 0,08 | 51,8 | 0,51 | 2189 | 852 | 259 | 13,62 | | |
| ASP-1014 | 20 | 12 | <LQ | 13 | 3,24 | 1060 | 163 | 14,6 | <LQ | 4,8 | <LQ | 0,09 | 65,2 | 0,92 | 1451 | 1259 | 239 | 6,69 | | |
| ASP-1020 | 30 | <LQ | <LQ | 14 | 5,55 | 77 | 141 | 11,5 | 2,4 | 3,58 | 1,9 | 0,24 | 59,4 | 0,78 | 1718 | 1000 | 98 | 10,33 | | |
| ASP-1024 | 24 | <LQ | <LQ | 23 | 4,73 | 136 | 421 | 6,1 | 19,2 | 1,63 | 7,3 | 0,42 | 23,7 | 0,34 | 1954 | 518 | 78 | 10,67 | | |
| ASP-1027 | 28 | <LQ | <LQ | 11 | 4,49 | 60 | 125 | 8,5 | 1,7 | 2,23 | <LQ | 0,24 | 68,4 | 0,74 | 1527 | 498 | 87 | 9,63 | | |
| ASP-1041 | 55 | <LQ | <LQ | 46 | 5,49 | 181 | 296 | 16,6 | <LQ | 4,46 | 1,3 | 0,07 | 57,9 | 0,91 | 1388 | 726 | 44 | 8,67 | | |
| ASP-1044 | 223 | 11 | 4 | 77 | 5,21 | 168 | 680 | 14,9 | <LQ | 4,47 | 1,2 | 0,16 | 60,2 | 0,77 | 4207 | 825 | 78 | 7,97 | | |
| ASP-1052 | <LQ | <LQ | <LQ | 30 | 6,54 | 226 | 485 | 13,8 | 1,2 | 4,81 | 1,8 | 0,26 | 55 | 0,89 | 2136 | 991 | 92 | 12,67 | | |
| ASP-1053 | <LQ | <LQ | <LQ | 25 | 9,31 | 60 | 168 | 19,7 | <LQ | 2,88 | 1,6 | 0,15 | 51,8 | 1,07 | 699 | 1993 | 54 | 8,00 | | |
| ASP-1057 | <LQ | <LQ | <LQ | 19 | 4,13 | 51 | 283 | 8,5 | 10,7 | 2,2 | 7,6 | 0,43 | 30,6 | 0,51 | 1484 | 322 | 59 | 17,67 | | |
| ASP-1058 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2 | 37 | 30 | 5,7 | <LQ | 1,51 | <LQ | 0,02 | 79,6 | 0,57 | 306 | 196 | 22 | 7,69 | | |
| ASP-1063 | 21 | <LQ | <LQ | 23 | 6,87 | 77 | 237 | 9,0 | 9,2 | 2,05 | 5,6 | 1,27 | 30,6 | 0,56 | 2083 | 1282 | 54 | 19,33 | | |
| ASP-1065 | 51 | <LQ | <LQ | 22 | 5,59 | 77 | 61 | 10,6 | 10,5 | 2,91 | 4,7 | 0,07 | 31,5 | 0,61 | 4136 | 168 | 111 | 13,43 | | |
| ASP-1066 | 22 | <LQ | 3 | 40 | 2,69 | 104 | 373 | 5,5 | 17,8 | 1,21 | <LQ | 0,11 | 21,9 | 0,36 | 5049 | 272 | 34 | 37,33 | | |
| ASP-1067 | 31 | <LQ | <LQ | 52 | 5,51 | 92 | 252 | 11,3 | 12,9 | 2,15 | <LQ | 0,26 | 41 | 0,71 | 7056 | 790 | 66 | 16,61 | | |
| Elément | Ag | B | Be | Bi | Ce | Co | Cr | La | Li | Mo | Nb | Ni | MnO | SiO2 | TiO2 | P2O5 | Ba | Sr | PP à 450°C | |
| LD | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| Unité | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 117 | 6 | 15 | 66 | 69 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 36 | <LQ | <LQ | <LQ | 223 | |
| ASP-1001 | 3,7 | 52 | 5 | <LQ | 117 | 6 | 15 | 66 | 69 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 36 | <LQ | <LQ | <LQ | 223 | |
| ASP-1004 | <LQ | 46 | <LQ | <LQ | 81 | 6 | 23 | 46 | 42 | <LQ | 21 | <LQ | <LQ | <LQ | 47 | <LQ | <LQ | <LQ | 365 | |
| ASP-1008 | <LQ | 20 | 3 | <LQ | 59 | 26 | 104 | 25 | 102 | <LQ | <LQ | 43 | 11 | 137 | <LQ | <LQ | 31 | 113 | 113 | |
| ASP-1009 | <LQ | 40 | <LQ | <LQ | 53 | 17 | 55 | 30 | 81 | <LQ | <LQ | 28 | <LQ | <LQ | 116 | <LQ | 38 | 159 | 159 | |
| ASP-1011 | <LQ | 25 | <LQ | <LQ | 40 | 18 | 56 | <LQ | 45 | <LQ | <LQ | 26 | <LQ | 124 | <LQ | <LQ | <LQ | 166 | 166 | |
| ASP-1013 | <LQ | 32 | 3 | <LQ | 87 | 9 | 18 | 47 | 53 | <LQ | <LQ | 12 | <LQ | 44 | <LQ | <LQ | <LQ | 177 | 177 | |
| ASP-1014 | 2,8 | 46 | 4 | <LQ | 118 | 8 | 25 | 60 | 75 | <LQ | 25 | <LQ | <LQ | 62 | <LQ | <LQ | 25 | 281 | 281 | |
| ASP-1020 | <LQ | 85 | 3 | <LQ | 85 | 17 | 43 | 39 | 74 | <LQ | <LQ | 29 | <LQ | <LQ | 101 | <LQ | 28 | 266 | 266 | |
| ASP-1024 | <LQ | 56 | 3 | <LQ | 41 | 7 | 20 | 20 | 45 | <LQ | <LQ | 20 | <LQ | 54 | <LQ | <LQ | <LQ | 101 | 101 | |
| ASP-1027 | <LQ | 63 | 2 | <LQ | 92 | 17 | 42 | 39 | 44 | <LQ | <LQ | 27 | <LQ | 73 | <LQ | <LQ | 38 | 305 | 305 | |
| ASP-1041 | <LQ | 46 | 3 | <LQ | 97 | 9 | 42 | 50 | 77 | <LQ | 22 | 20 | <LQ | 77 | <LQ | <LQ | 29 | 234 | 234 | |
| ASP-1044 | <LQ | 72 | 4 | <LQ | 86 | 22 | 36 | 45 | 66 | <LQ | 20 | 33 | <LQ | 71 | 11 | 11 | 29 | 177 | 177 | |
| ASP-1052 | <LQ | 133 | 3 | <LQ | 68 | 12 | 33 | 34 | 69 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 116 | <LQ | <LQ | 27 | 185 | 185 | |
| ASP-1053 | <LQ | 67 | 4 | <LQ | 59 | 22 | 58 | 31 | 103 | <LQ | <LQ | 25 | <LQ | 176 | <LQ | <LQ | 27 | 193 | 193 | |
| ASP-1057 | <LQ | 88 | 2 | <LQ | 58 | 15 | 29 | 25 | 84 | <LQ | <LQ | 25 | <LQ | 78 | <LQ | <LQ | 21 | 130 | 130 | |
| ASP-1058 | <LQ | 69 | <LQ | <LQ | 49 | 7 | 15 | 25 | 29 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 38 | <LQ | <LQ | <LQ | 185 | 185 | |
| ASP-1063 | 1,3 | 72 | 3 | <LQ | 68 | 14 | 32 | 29 | 57 | <LQ | <LQ | 34 | <LQ | 68 | <LQ | <LQ | 22 | 146 | 146 | |
| ASP-1065 | <LQ | 123 | <LQ | <LQ | 60 | 15 | 43 | 29 | 114 | <LQ | <LQ | 45 | <LQ | 91 | <LQ | <LQ | 26 | 109 | 109 | |
| ASP-1066 | <LQ | 49 | <LQ | <LQ | 41 | 8 | 24 | 20 | 31 | <LQ | <LQ | 17 | <LQ | 42 | <LQ | <LQ | 23 | 92 | 92 | |
| ASP-1067 | <LQ | 64 | 3 | <LQ | 79 | 15 | 67 | 42 | 62 | <LQ | <LQ | 36 | <LQ | 79 | <LQ | <LQ | 43 | 66 | 66 | |

Illustration 15 : Tableau des analyses des échantillons de la campagne de 2018 par spectrométrie ICP de 34 éléments et perte au feu à 450°C, LQ : Limite de quantification.

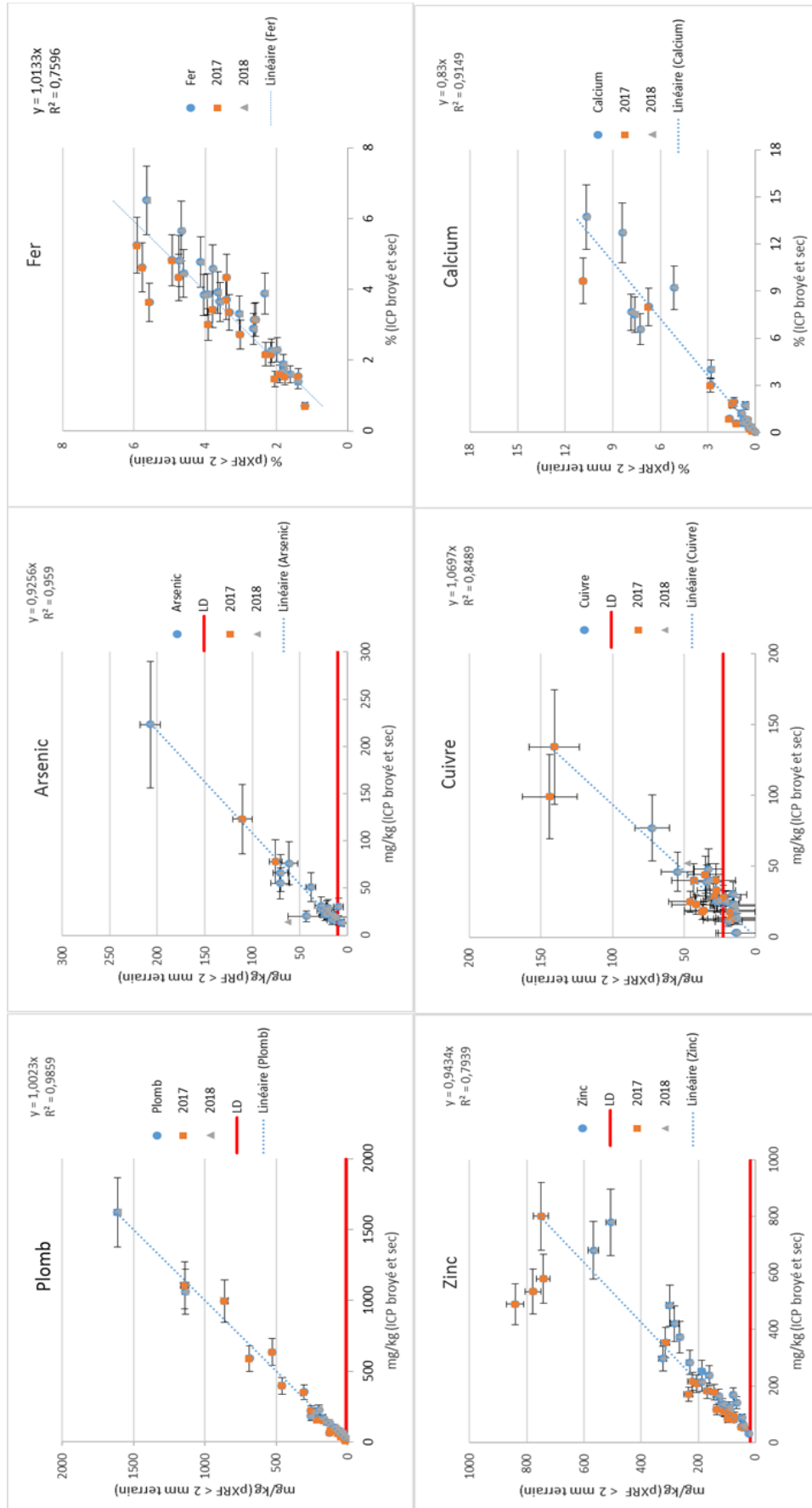


Illustration 16 : Comparaison des pXRF de terrain et de spectrométrie ICP (le trait rouge délimite la limite de détection du pXRF quand elle est connue).

3.6. DÉTERMINATION DES FPG PAR FORMATIONS LITHOLOGIQUES

Le nombre de points par formations dépend de sa surface et de son homogénéité et accessoirement de l'accessibilité à la zone à échantillonner. Dans un premier temps, certaines formations peu représentées dans la zone d'étude et en bordure d'autres formations plus accessible, ont été regroupées en tenant compte du type de roches et des teneurs mesurées. Au total, 9 formations ont été identifiées (Illustrations 2 à 4). Dans un second temps, les analyses statistiques multivariées ont confirmé ou non ces regroupements.

3.6.1. Analyses statistiques multivariées

Dans le but de vérifier la cohérence des données obtenues vis-à-vis du fond pédogéochimique, une analyse statistique multivariée relativement légère a été mise en œuvre par l'utilisation du complément Excel XLSTAT.

Les éléments pris en compte pour cette approche, sélectionnés en éliminant ceux dont la plupart des valeurs sont inférieures aux limites de détection ou majoritairement très proches de celles-ci, sont : Pb, As, Zn, Ni, Fe, Mn, V, Ti, Ca, K, Ba, Zr, Sr, Rb, Th, soit 15 éléments.

| | Pb | As | Zn | Ni | Fe | Mn | V | Ti | Ca | K | Ba | Zr | Sr | Rb | Th |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pb | 1 | 0.060 | 0.266 | 0.048 | -0.019 | 0.070 | -0.048 | 0.053 | -0.089 | 0.168 | 0.138 | 0.058 | 0.250 | 0.186 | 0.199 |
| As | 0.060 | 1 | 0.367 | 0.261 | 0.318 | 0.118 | 0.040 | -0.060 | -0.125 | 0.164 | -0.053 | 0.008 | -0.171 | 0.265 | 0.228 |
| Zn | 0.266 | 0.367 | 1 | 0.222 | 0.332 | 0.352 | 0.133 | -0.022 | 0.026 | 0.172 | 0.016 | -0.061 | -0.165 | 0.156 | -0.077 |
| Ni | 0.048 | 0.261 | 0.222 | 1 | 0.615 | 0.334 | 0.455 | 0.314 | -0.043 | 0.375 | 0.494 | 0.269 | 0.134 | 0.243 | 0.044 |
| Fe | -0.019 | 0.318 | 0.332 | 0.615 | 1 | 0.464 | 0.720 | 0.302 | -0.088 | 0.108 | 0.227 | 0.040 | -0.081 | 0.058 | -0.174 |
| Mn | 0.070 | 0.118 | 0.352 | 0.334 | 0.464 | 1 | 0.130 | -0.016 | 0.221 | -0.039 | 0.080 | -0.056 | -0.151 | -0.090 | -0.210 |
| V | -0.048 | 0.040 | 0.133 | 0.455 | 0.720 | 0.130 | 1 | 0.621 | -0.209 | 0.102 | 0.247 | 0.181 | 0.014 | -0.044 | -0.205 |
| Ti | 0.053 | -0.060 | -0.022 | 0.314 | 0.302 | -0.016 | 0.621 | 1 | -0.419 | 0.186 | 0.224 | 0.674 | 0.114 | 0.070 | 0.084 |
| Ca | -0.089 | -0.125 | 0.026 | -0.043 | -0.088 | 0.221 | -0.209 | -0.419 | 1 | -0.315 | -0.179 | -0.438 | -0.102 | -0.415 | -0.376 |
| K | 0.168 | 0.164 | 0.172 | 0.375 | 0.108 | -0.039 | 0.102 | 0.186 | -0.315 | 1 | 0.371 | 0.330 | 0.325 | 0.820 | 0.540 |
| Ba | 0.138 | -0.053 | 0.016 | 0.494 | 0.227 | 0.080 | 0.247 | 0.224 | -0.179 | 0.371 | 1 | 0.193 | 0.507 | 0.255 | 0.046 |
| Zr | 0.058 | 0.008 | -0.061 | 0.269 | 0.040 | -0.056 | 0.181 | 0.674 | -0.438 | 0.330 | 0.193 | 1 | 0.096 | 0.303 | 0.398 |
| Sr | 0.250 | -0.171 | -0.165 | 0.134 | -0.081 | -0.151 | 0.014 | 0.114 | -0.102 | 0.325 | 0.507 | 0.096 | 1 | 0.324 | 0.325 |
| Rb | 0.186 | 0.265 | 0.156 | 0.243 | 0.058 | -0.090 | -0.044 | 0.070 | -0.415 | 0.255 | 0.303 | 0.303 | 0.324 | 1 | 0.759 |
| Th | 0.199 | 0.228 | -0.077 | 0.044 | -0.174 | -0.210 | -0.205 | 0.084 | -0.376 | 0.540 | 0.046 | 0.398 | 0.325 | 0.759 | 1 |

Illustration 17 : Matrice de corrélation de Pearson.

Selon une matrice de corrélation de Pearson (Illustration 17), Ni est légèrement corrélé avec Fe, Fe avec V, Ti avec V et Zr, K assez fortement avec Rb, Ba avec Sr et Rb avec Th. Il n'y a pas d'anticorrélation nettement observable.

La réalisation d'une analyse en composante principale (ACP) donne les résultats principaux suivant (Illustration 18) :

- le facteur F1 (en fonction de tous les autres facteurs) oppose Ca avec la majorité des autres éléments analysés ;
- le facteur F2 (en fonction de F1) indiquerait une certaine similitude entre Zr, K, Rb, Th, Sr voir Pb, et à l'opposé entre Ni, V, Fe, Mn ;
- le facteur F3 (en fonction de F1) montre un comportement similaire entre As et Zn, et à moindre mesure avec Pb et Mn alors que Ti, Zr et V sont sensiblement similaires à l'opposé ;
- le facteur F4 (en fonction de F1) représente bien une certaine corrélation entre Ba et Sr.

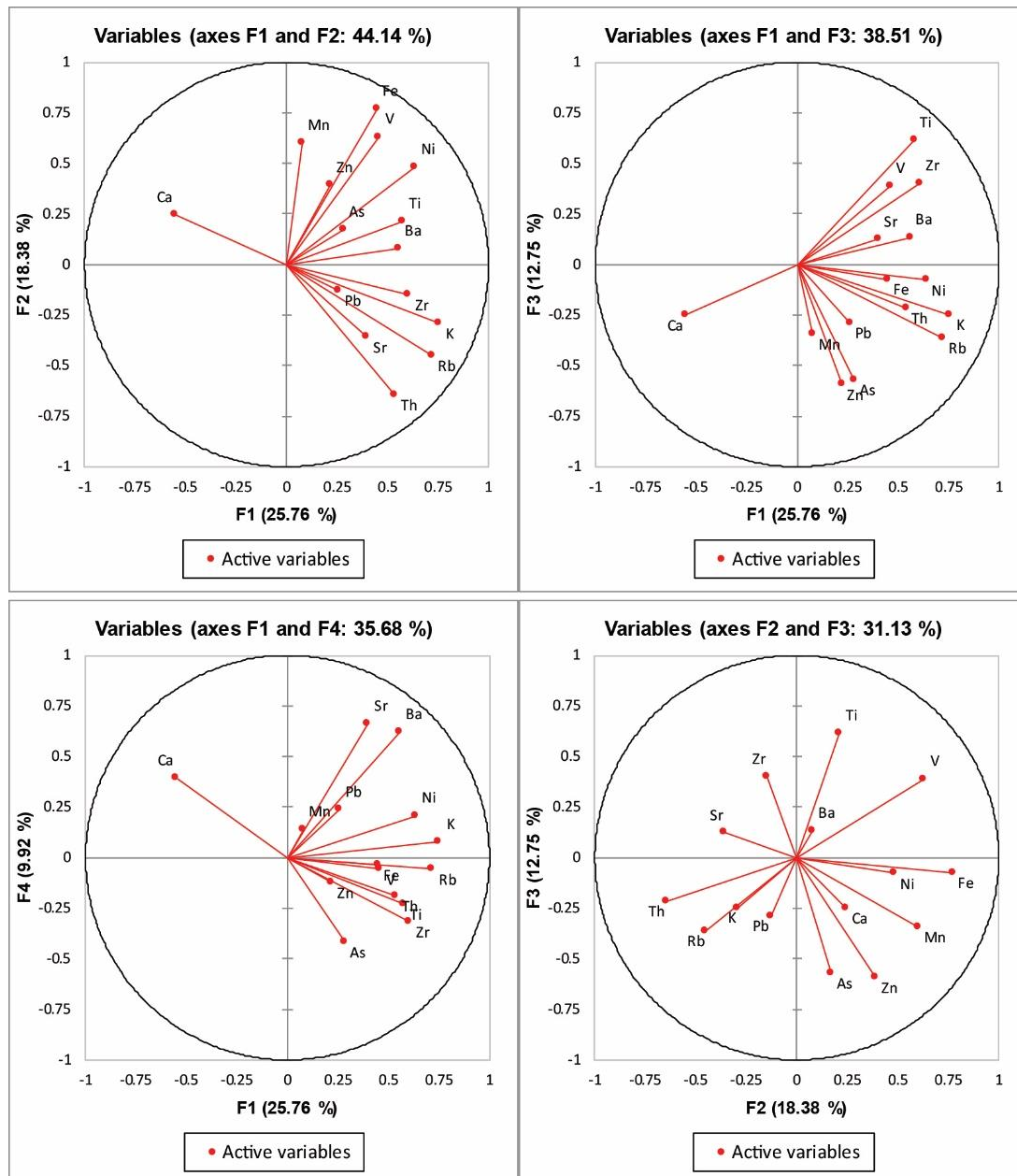


Illustration 18 : Analyse en composante principale pour 15 éléments. Comparaison facteurs F1 vs. F2, F1 vs F3, F1 vs F4, F2 vs. F3.

L'outil qui a ensuite été utilisé est une classification par ascendance hiérarchique (CAH), qui permet de repérer des classes (regroupements de points d'observation) naturelles au sein d'un ensemble d'analyses ainsi que les liens « hiérarchiques » entre ces groupes. Ainsi, celle-ci permet d'apprécier le degré de similarité entre les classes dans un dendrogramme (Illustration 19). Plus deux classes seront différentes, plus elles se sépareront tôt dans celui-ci.

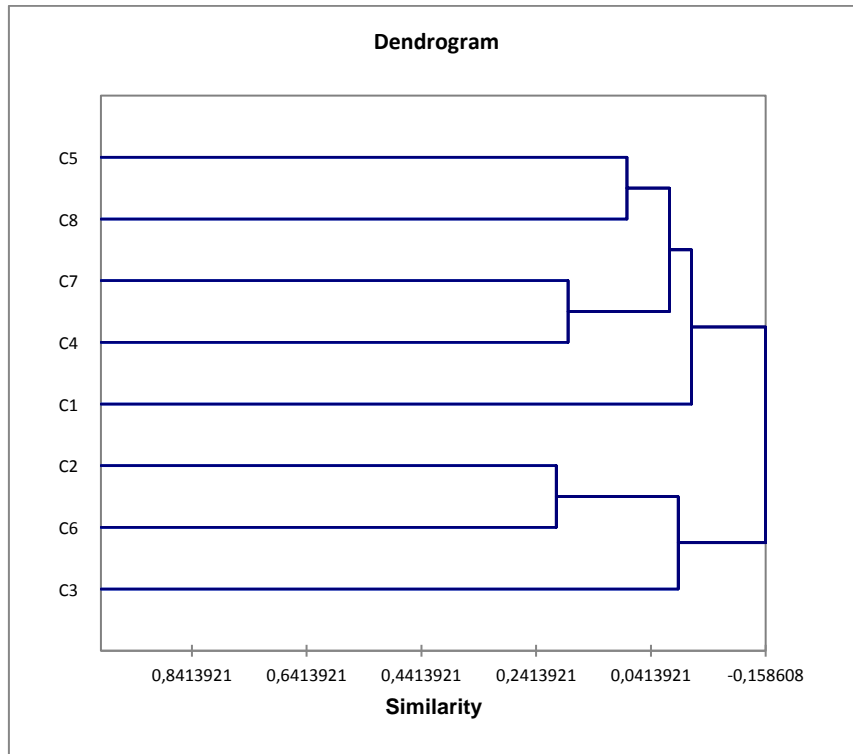


Illustration 19 : Dendrogramme issu de la classification ascendante hiérarchique appliquée sur les mesures de 15 éléments dans le fond pédogéochimique du secteur d'Asprières.

Dans le cas de la présente étude, le logiciel a défini 8 classes (arbitrairement définie après un premier test) en prenant la méthode basée sur la similarité de Pearson. Sans rentrer dans le détail, il est possible d'observer que les classes sont assez contrastées, avec par exemple les classes C1, C4, C5, C7 et C8 qui se détachent très tôt par rapport à un second groupe de classes composé de C2, C3 et C6.

L'outil donne aussi la composition du centroïde de chaque classe, ce qui permet d'en estimer la signature géochimique (Illustration 20). Ainsi la classe 1 présente une signature plutôt marquée en Ti et Zr et plutôt appauvrie en Pb et Ba, que l'on pourrait éventuellement rattacher à une lithologie granitique ou sédimentaire détritique grossière (grès, conglomérats). La classe 2 est marquée par Fe, V, Ti et de faibles valeurs de Th, que l'on pourrait rattacher à la diorite et/ou aux amphibolites. La classe 3 montre des valeurs assez riches en Mn et Ca et pauvres en Ti, K, Zr et Th et pourrait correspondre aux roches carbonatées du bassin méso-cénozoïque. La classe 4 se caractérise par Pb, Sr, Rb et Th et alors que Mn est appauvri, et pourrait être associée à la minéralisation ou à une contamination. La classe 5 possède une signature à As, Fe, K et Rb enrichis et Ca et Sr appauvris qui fait plutôt penser à des formations de socle (métamorphiques voir granitiques). La composition de la classe 6 correspond à de fortes valeurs en Pb, Ni, V, Ti, qui pourrait représenter la signature relative à la minéralisation. La classe 7 est enrichie en Ba et appauvrie en As, Zn, Ni, Fe, V et Ti, et pourrait peut-être indiquer l'influence d'une minéralisation barytique. La classe 8 montrent de fortes concentrations en As et Zn ainsi qu'un appauvrissement en Ni, et pourrait représenter un type de minéralisation zincifère.

| Class | Pb | As | Zn | Ni | Fe | Mn | V | Ti | Ca | K | Ba | Zr | Sr | Rb | Th |
|-------|-----|-----|-----|----|-------|------|-----|------|-------|-------|------|-----|-----|-----|----|
| 1 | 66 | 25 | 106 | 23 | 25711 | 1004 | 88 | 5668 | 7096 | 21564 | 375 | 270 | 57 | 87 | 9 |
| 2 | 195 | 28 | 182 | 63 | 46084 | 1199 | 166 | 5281 | 10365 | 23737 | 986 | 177 | 119 | 83 | 4 |
| 3 | 116 | 25 | 195 | 34 | 32469 | 2727 | 66 | 2968 | 71168 | 20742 | 423 | 121 | 69 | 76 | 5 |
| 4 | 259 | 24 | 98 | 29 | 19923 | 568 | 57 | 4344 | 7337 | 31131 | 736 | 218 | 190 | 142 | 16 |
| 5 | 74 | 94 | 182 | 70 | 44967 | 1160 | 128 | 4627 | 3601 | 35212 | 615 | 222 | 59 | 146 | 13 |
| 6 | 394 | 58 | 106 | 83 | 32841 | 807 | 146 | 5770 | 9957 | 25965 | 815 | 209 | 127 | 108 | 14 |
| 7 | 87 | 9 | 66 | 17 | 18025 | 728 | 30 | 2915 | 10518 | 22592 | 1840 | 174 | 153 | 114 | 9 |
| 8 | 146 | 151 | 388 | 13 | 27710 | 1026 | 54 | 3252 | 6411 | 30992 | 460 | 166 | 65 | 140 | 11 |

Illustration 20 : Composition des centroïdes de chaque classe obtenue de la classification ascendante hiérarchique appliquée sur les mesures de 15 éléments dans le fond pédogéochimique du secteur d'Asprières. Les cases en bleu signalent plutôt une signature appauvrie alors que celles en jaune sont plutôt enrichies.

La cartographie de ces classes donne dans un premier ordre une assez bonne corrélation avec la cartographie géologique au 1/50 000 (Illustration 21), et semble bien confirmer les hypothèses exposées précédemment à partir de leur signature géochimique. Cette observation justifie donc de la bonne représentativité des mesures réalisées pour le fond pédogéochimique des formations lithologiques de la zone d'étude.

La classe 1 est plutôt localisée sur les formations détritiques de l'Éocène. La classe 2 se rencontre principalement sur la diorite quartzite de Figeac et les formations métamorphiques encaissantes portant de très nombreux filons d'amphibolites. La majorité des analyses correspondantes à la classe 3 sont localisées sur les formations carbonatées mésozoïques. Les classes 5 et 8, présentant un fond élevé en As, sont plutôt présentes sur les formations métamorphiques de l'est de la zone d'étude. La classe 7 ne montre pas une distribution particulière.

La classe 4 est pratiquement restreinte au granite de Villefranche, où de nombreuses minéralisations sont connues. La présence de points équivalents en aval est à souligner, notamment dans la plaine au niveau de Capdenac. La classe 6 est présente en aval de ces points inclus dans le granite.

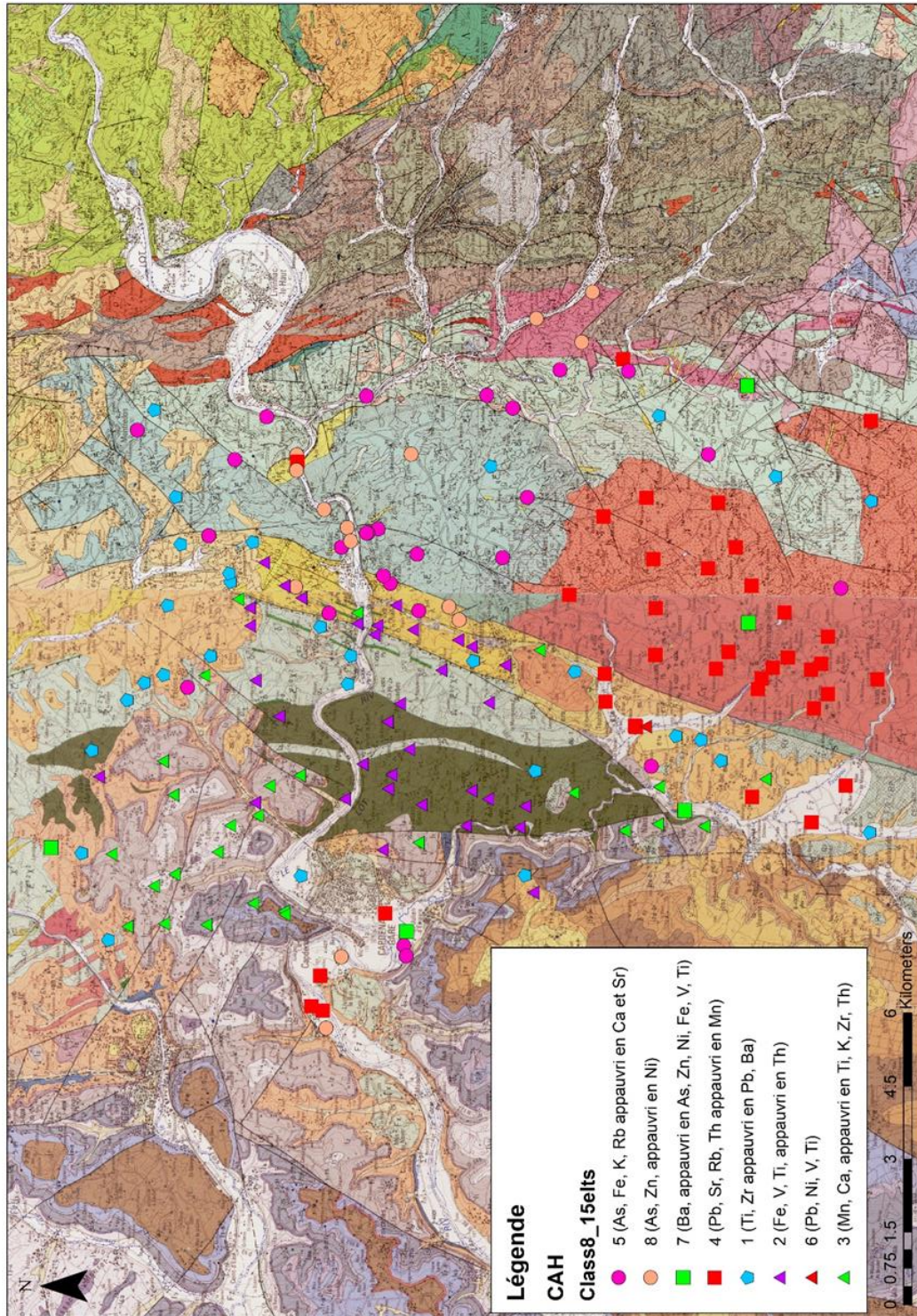


Illustration 21 : Cartographie sur les fonds de carte géologique au 1/50 000 des différentes classes obtenues par classification ascendante hiérarchique.

3.6.3. Détermination des FPG par élément

Le plomb

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 24) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblées dans le tableau ci-après (Illustration 25).

Pour six formations (γ , η , ξ , t, I-j et F), il y a peu de variabilité sur les moyennes entre les formations (de 44 à 72 mg/kg) et les valeurs des médianes sont un peu plus faibles (35 à 65 mg/kg). Dans le cas de la formation I2 (présente seulement sur la carte de Figeac), seuls 5 points (470, 496, 498, 510 et 511) avaient été échantillonnés en 2017 et les mesures étaient très variables de 47 à 307 mg/kg et les maximum beaucoup plus élevés que dans le regroupement I-j. Plus de points ont été prélevés en 2018 et ont confirmé que la formation I2 était différente des autres formations I-j avec des teneurs en Pb un peu plus élevées (mais pas ou peu pour les autres éléments, c'est pourquoi cette formation est inclus avec les autres formations I-j dans les autres calculs statistiques).

Les formations χ G et λ - δ ont des teneurs en Pb plus élevées (184 et 117 mg/kg) avec de fortes variabilités dues à la présence de minéralisations dans ces formations (Illustration 25).

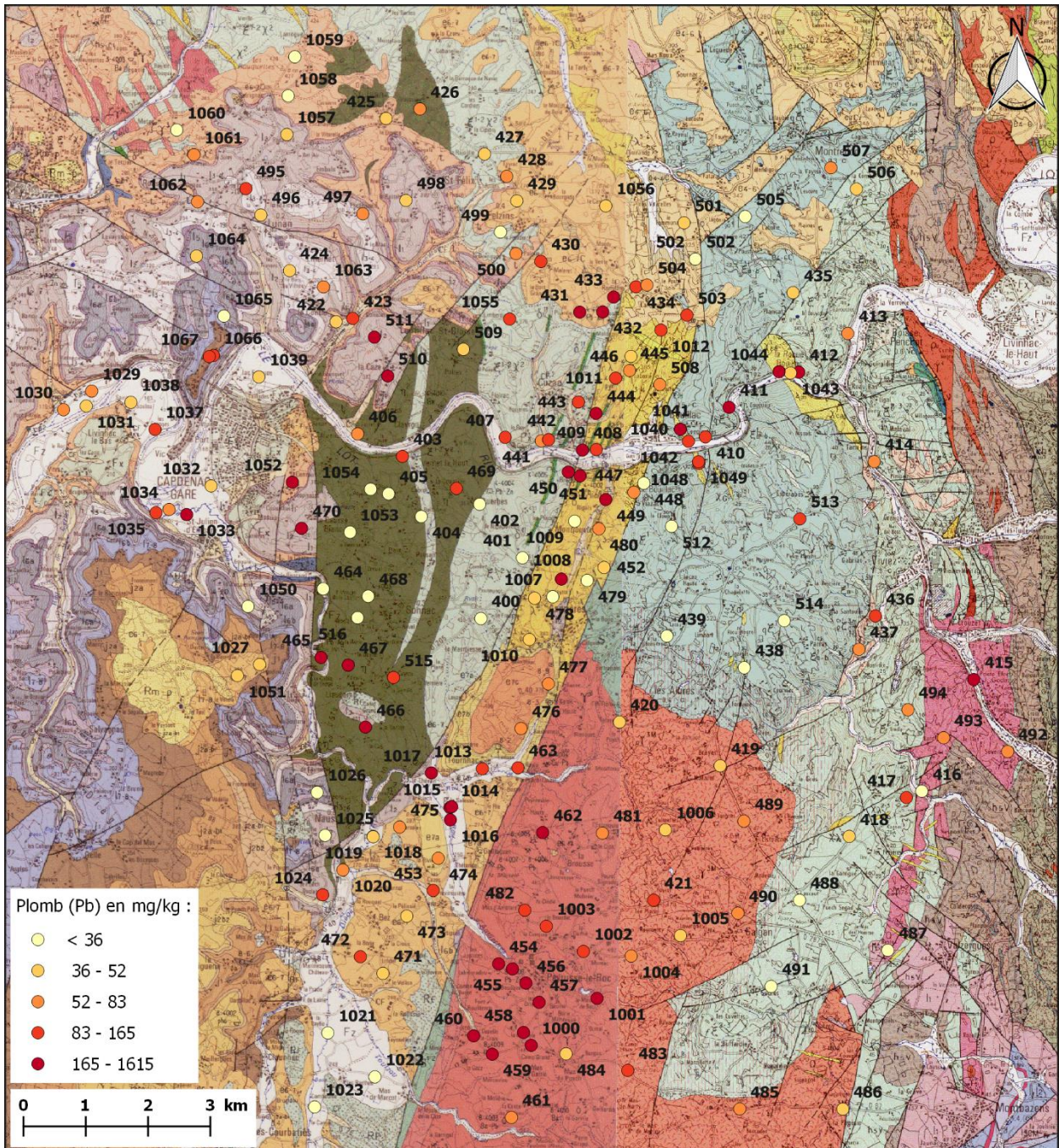


Illustration 24 : Carte des points échantillonnés pour le Pb.

En général les teneurs minimales sont comprises entre 9 et 30 mg/kg soit proches de la teneur moyenne dans les sols (19 mg/kg, Sposito, 1989) ; seule la formation χ G présente une valeur plus élevée (49 mg/kg) sans être très forte (2,5 fois la valeur moyenne).

Les valeurs les plus fortes sont quant à elles comprises entre 4 à 9 fois la valeur moyenne, ce qui n'est pas très élevé au vue du contexte géologique. Pour les formations minéralisées (χ G, λ - δ et I2), les valeurs fortes sont comprises entre 16 et 30 fois la valeur moyenne, ce qui montre bien l'impact des zones minéralisées sur les teneurs moyennes de ces formations.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | mini | max |
|----------|----|---------|------|---------|------|-----|
| γ | 18 | 72 | 38 | 64 | 30 | 157 |
| η | 13 | 57 | 45 | 35 | 19 | 167 |
| ξ | 32 | 64 | 43 | 50 | 16 | 164 |
| χG | 7 | 184 | 139 | 133 | 49 | 461 |
| λ-δ | 16 | 117 | 144 | 74 | 11 | 582 |
| t | 9 | 44 | 18 | 44 | 18 | 69 |
| l2 | 10 | 115 | 106 | 59 | 19 | 307 |
| l-j | 9 | 59 | 33 | 54 | 9 | 108 |
| e | 20 | 71 | 35 | 65 | 21 | 136 |
| F | 16 | 52 | 21 | 45 | 24 | 89 |

Illustration 25 : Tableau de statistiques simples de Pb : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du plomb pour chaque formation géologique.

Le zinc

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 26) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblées dans le tableau ci-après (Illustration 27).

Pour six formations (γ, η, ξ, t, l-j et F), il y a peu de variabilité sur les moyennes entre les formations (de 84 à 161 mg/kg) et les valeurs des médianes sont similaires. Les formations χG et λ-δ ont des teneurs en Zn plus élevées (337 et 192 mg/kg) avec de fortes variabilités dues à la présence de minéralisations dans ces formations. Comme pour le Pb, on note, une teneur moyenne en Zn plus élevée pour la formation l2 par rapport aux autres formations l-j (215 au lieu de 161 mg/kg).

En général les teneurs minimales sont inférieures à 1,5 fois ou identiques à la teneur moyenne dans les sols 60 mg/kg (Sposito, 1989).

Les valeurs les plus fortes sont quant à elles comprises entre 3 à 5,5 fois la valeur moyenne, ce qui n'est pas très élevé au vue du contexte géologique. Et pour les formations minéralisées (χG, λ-δ et l2), les teneurs sont 5 à 13 fois supérieures.

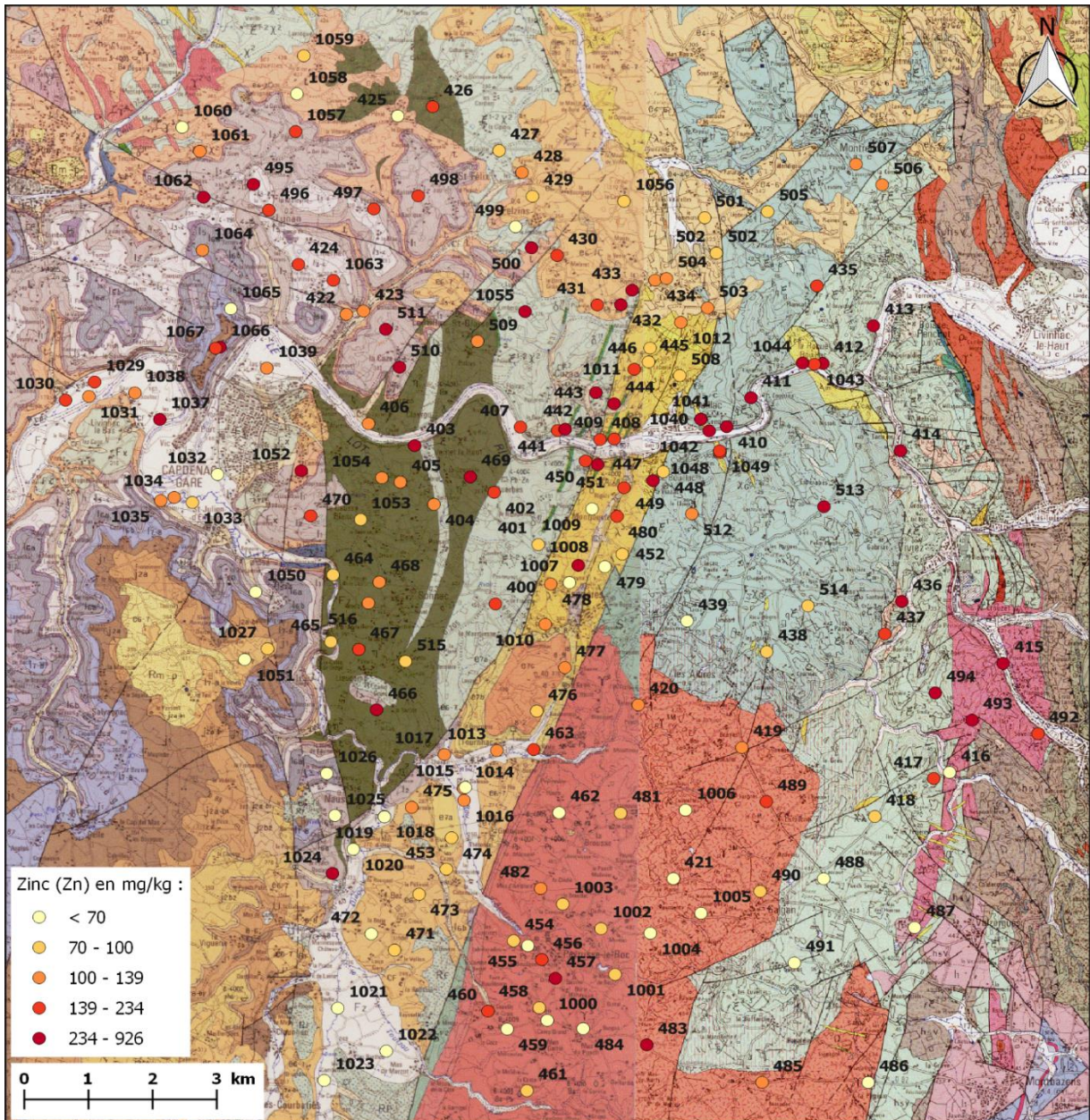


Illustration 26 : Carte des points échantillonnés pour le Zn.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | Mini | Max |
|----------|----|---------|------|---------|------|-----|
| γ | 18 | 105 | 69 | 84 | 38 | 287 |
| η | 13 | 122 | 52 | 114 | 78 | 279 |
| ξ | 29 | 141 | 75 | 106 | 39 | 310 |
| χG | 7 | 337 | 248 | 256 | 94 | 779 |
| λ-δ | 16 | 192 | 161 | 132 | 47 | 585 |
| t | 9 | 92 | 68 | 83 | 16 | 238 |
| l2 | 10 | 215 | 93 | 221 | 58 | 315 |
| l-j | 9 | 161 | 97 | 162 | 19 | 330 |
| e | 20 | 102 | 37 | 91 | 60 | 204 |
| F | 15 | 84 | 46 | 86 | 15 | 168 |

Illustration 27 : Tableau de statistiques simples de Zn : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du zinc pour chaque formation géologique.

L'arsenic

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 28) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblées dans le tableau ci-après (Illustration 29).

Il est possible de classer les 9 formations en 3 groupes en fonction des moyennes en As. Les formations présentant des teneurs ≤ 31 mg/kg (γ , η , t, l-j, e et F), les formations présentant des teneurs intermédiaires 45 et 58 mg/kg (ξ et λ - δ) et la formation χ G avec une teneur moyenne de 177 mg/kg. Les autres statistiques (mini, médiane et max) suivent les mêmes tendances. Les anciennes études ne permettent pas d'expliquer ces teneurs en As car cet élément était peu analysé (Bossi, 1972).

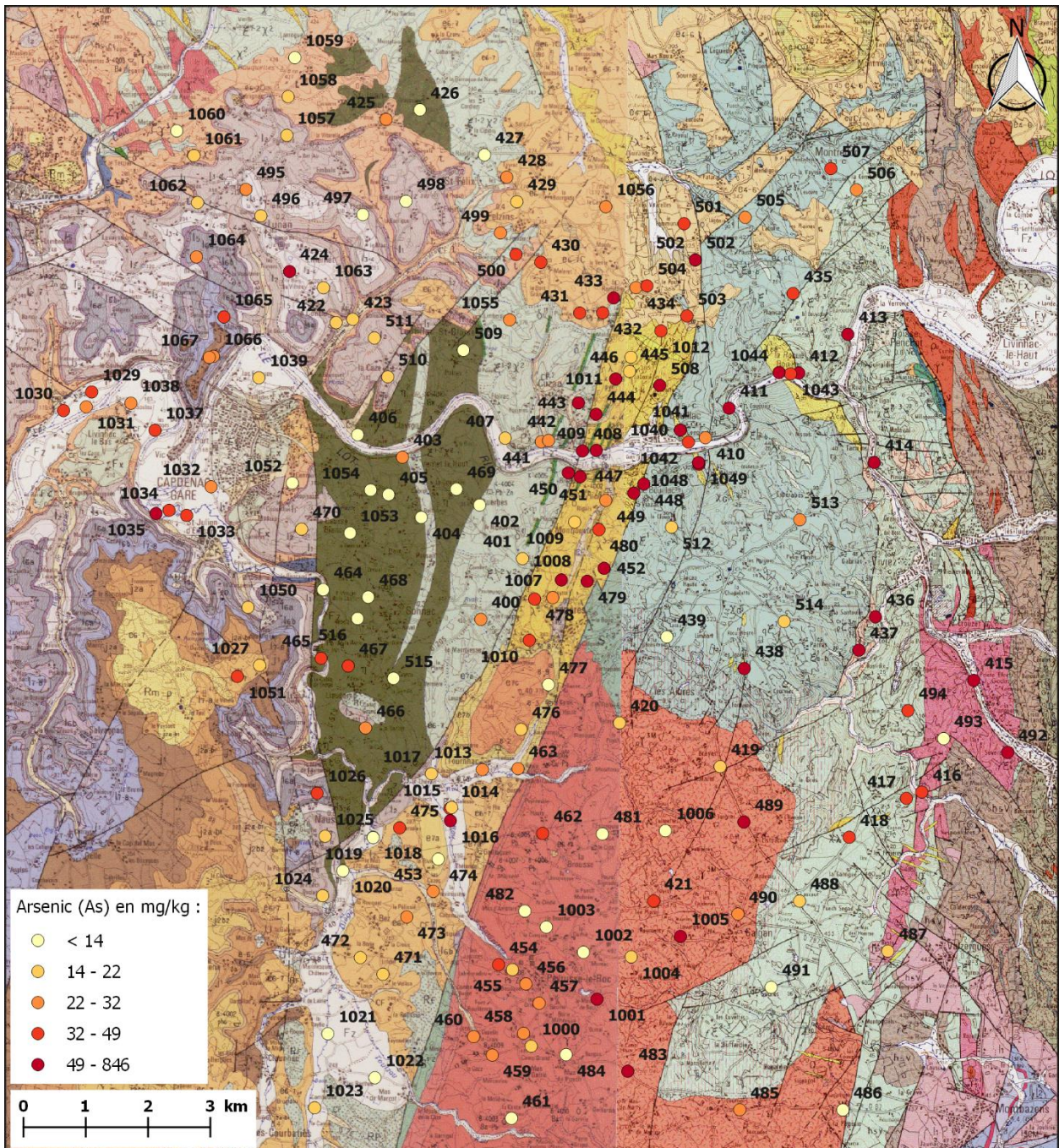


Illustration 28 : Carte des points échantillonnés pour le As.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | Mini | Max |
|----------|----|---------|------|---------|------|-----|
| γ | 17 | 22 | 17 | 14 | 8 | 63 |
| η | 13 | 11 | 8 | 7 | 6 | 37 |
| ξ | 31 | 45 | 38 | 30 | 8 | 151 |
| χG | 7 | 177 | 169 | 120 | 44 | 536 |
| λ-δ | 16 | 58 | 42 | 40 | 18 | 167 |
| t | 9 | 20 | 10 | 19 | 5 | 35 |
| l2 | 10 | 17 | 3 | 17 | 9 | 21 |
| l-j | 9 | 31 | 20 | 28 | 9 | 79 |
| e | 20 | 31 | 16 | 27 | 9 | 76 |
| F | 16 | 27 | 15 | 26 | 8 | 51 |

Illustration 29 : Tableau de statistiques simples de As : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum de l'arsenic pour chaque formation géologique.

Le cuivre

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 30) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblés dans le tableau ci-après (Illustration 31).

Pour le Cu, on observe à peu près les mêmes tendances que pour As. Il est possible de classer les 9 formations en 3 groupes en fonction des moyennes en Cu. Les formations présentant des teneurs ≤ 20 mg/kg (γ, t, l-j, e et F), les formations présentant des teneurs intermédiaires 28, 27 et 39 mg/kg (η, ξ et λ-δ) et la formation χG avec une teneur moyenne de 65 mg/kg. Dans l'ensemble ces valeurs sont proches de la concentration moyenne du Cu dans les sols de 25 mg/kg (Sposito, 1989). Les teneurs minimales sont toutes similaires quelle que soit la formation à l'exception de la formation χG un peu plus fortes. Les valeurs médianes et maximales suivent à peu près les mêmes tendances que les valeurs moyennes.

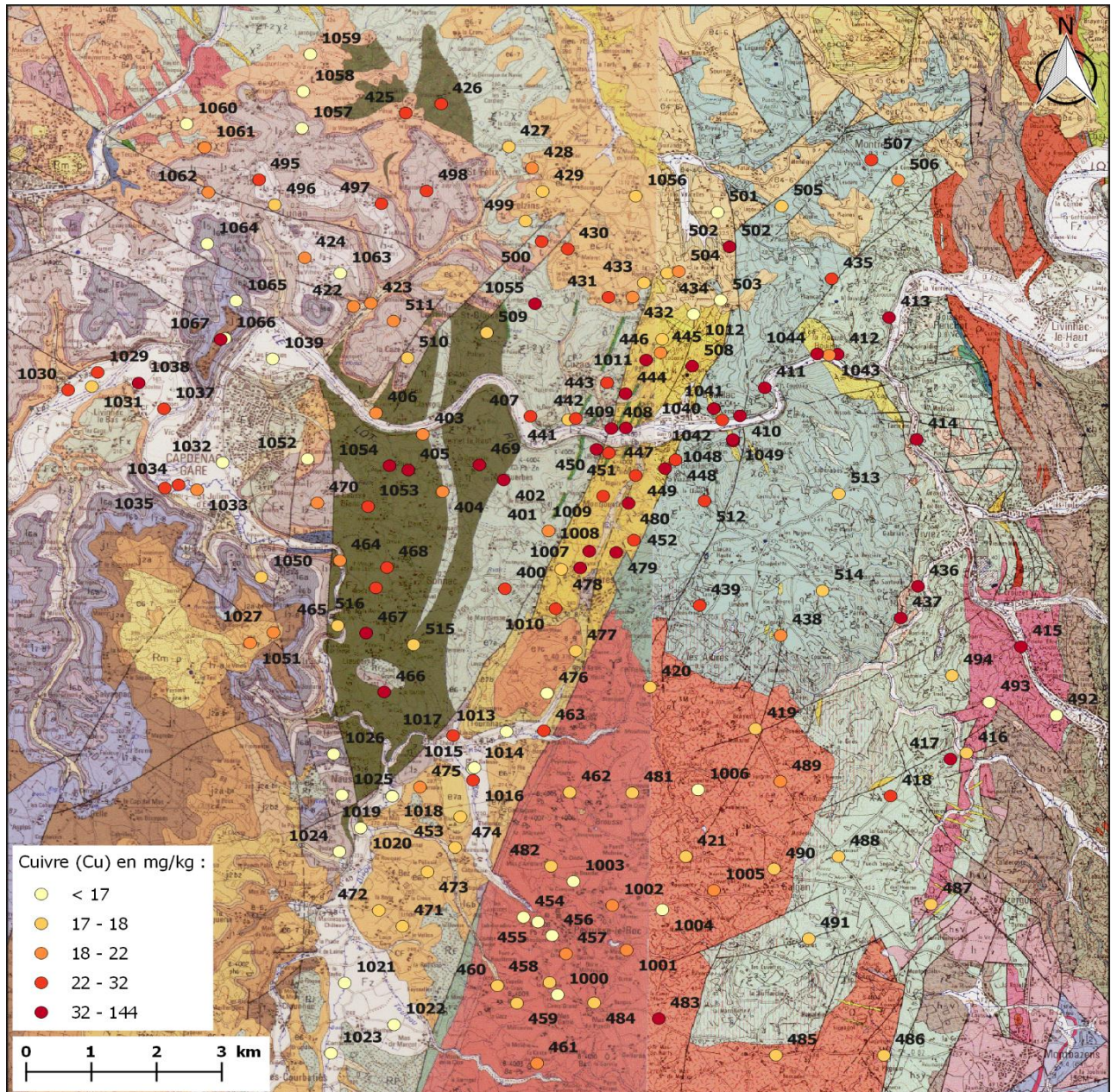


Illustration 30 : Carte des points échantillonnés pour le Cu.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | Mini | Max |
|----------|----|---------|------|---------|------|-----|
| γ | 18 | 18 | 5 | 17 | 14 | 37 |
| η | 13 | 28 | 14 | 23 | 18 | 64 |
| ξ | 32 | 27 | 10 | 24 | 17 | 51 |
| χ G | 7 | 65 | 38 | 55 | 30 | 144 |
| λ-δ | 16 | 39 | 28 | 33 | 15 | 124 |
| t | 9 | 18 | 4 | 19 | 12 | 24 |
| l2 | 10 | 18 | 4 | 18 | 14 | 27 |
| l-j | 9 | 22 | 11 | 16 | 14 | 48 |
| e | 20 | 20 | 5 | 18 | 15 | 36 |
| F | 16 | 19 | 7 | 15 | 12 | 36 |

Illustration 31 : Tableau de statistiques simples de Cu : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du cuivre pour chaque formation géologique.

Le vanadium

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 32) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblées dans le tableau ci-après (Illustration 33).

Pour le V, il est possible de classer les formations en 3 groupes en fonction des moyennes en V. Les formations présentant des teneurs ≤ 83 mg/kg (γ , t, l2, et F), les formations présentant des teneurs intermédiaires de 92 à 114 mg/kg (ξ , λ - δ , l-j et e) et les formations η et χ G avec des teneurs moyennes de 192 et 140 mg/kg, respectivement. Le premier groupe à des teneurs proches de la concentration moyenne du V dans les sols de 80 mg/kg (Sposito, 1989) et les autres de 1,2 à 2,4 supérieures à cette concentration moyenne. Les teneurs minimales sont toutes < 80 mg/kg sauf pour la formation η . Cette formation η n'a pas été regroupée avec d'autres formations car elle avait été présentée comme pouvant comporter un fond pédolithologique contrasté (Illustration 2). Cette formation est aussi riche en Fe, Mn et Ba.

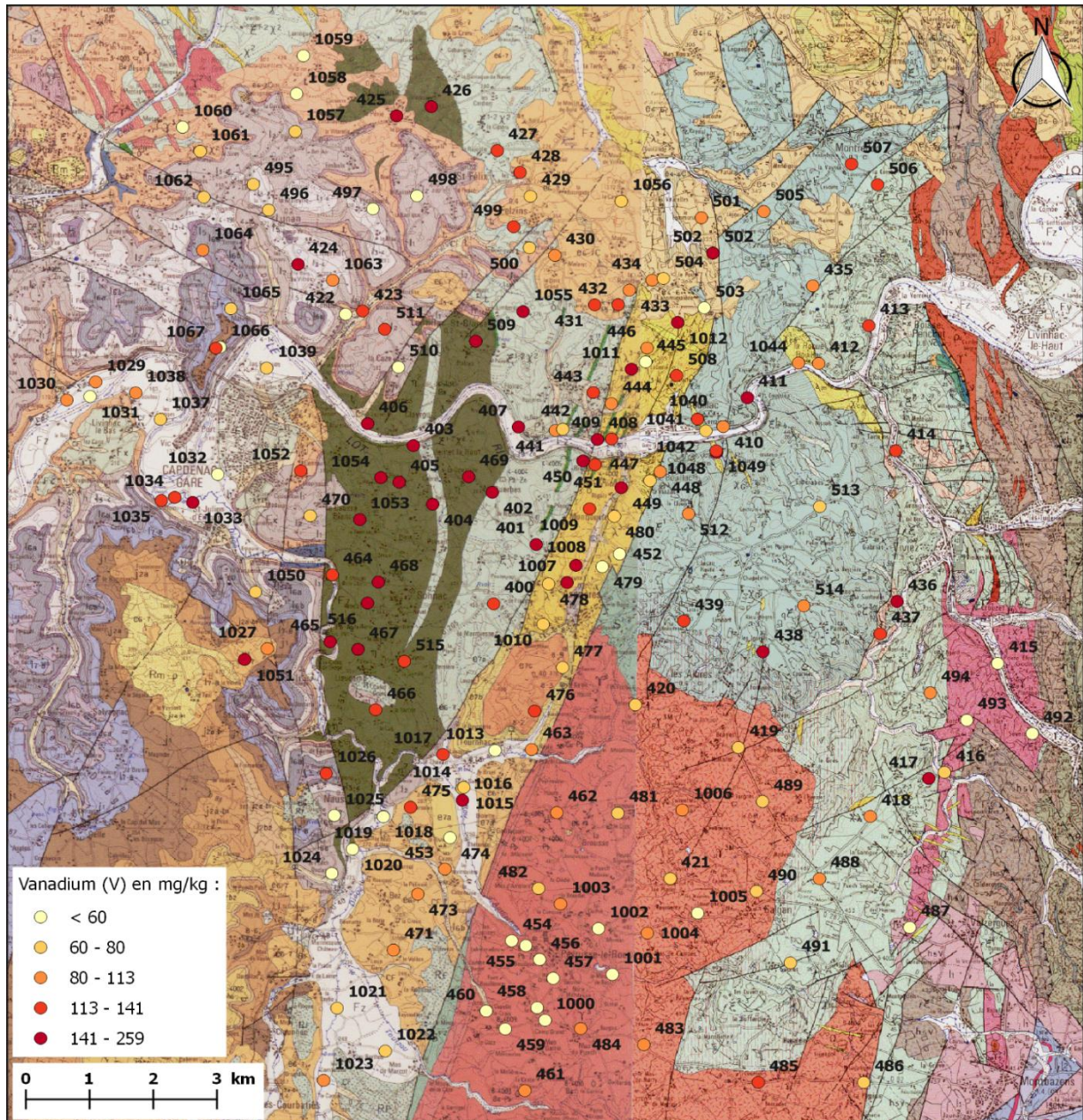


Illustration 32 : Carte des points échantillonnés pour le V.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | Mini | Max |
|----------|----|---------|------|---------|------|-----|
| γ | 18 | 76 | 24 | 76 | 30 | 115 |
| η | 13 | 192 | 44 | 181 | 129 | 259 |
| ξ | 32 | 114 | 42 | 113 | 46 | 213 |
| χ G | 7 | 140 | 67 | 125 | 72 | 271 |
| λ-δ | 17 | 106 | 43 | 113 | 43 | 179 |
| t | 9 | 83 | 53 | 75 | 30 | 183 |
| l2 | 10 | 63 | 28 | 65 | 26 | 128 |
| l-j | 9 | 92 | 40 | 92 | 36 | 155 |
| e | 20 | 92 | 40 | 88 | 20 | 193 |
| F | 16 | 68 | 34 | 67 | 16 | 132 |

Illustration 33 : Tableau de statistiques simples de V : nombre de mesure (N), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du vanadium pour chaque formation géologique.

Le fer

L'ensemble des points mesurés avec le pXRF est reporté sur la carte ci-après (Illustration 34) et les statistiques simples des teneurs pour chaque formation géologique sont rassemblées dans le tableau ci-après (Illustration 35).

Les formations sont réparties en 2 groupes suivant les teneurs moyennes en Fe entre 2 et 3 % (γ , t, l2, e et F) ou entre 3,7 et 4,8 % (η , ξ , χ G, λ - δ et l-j).

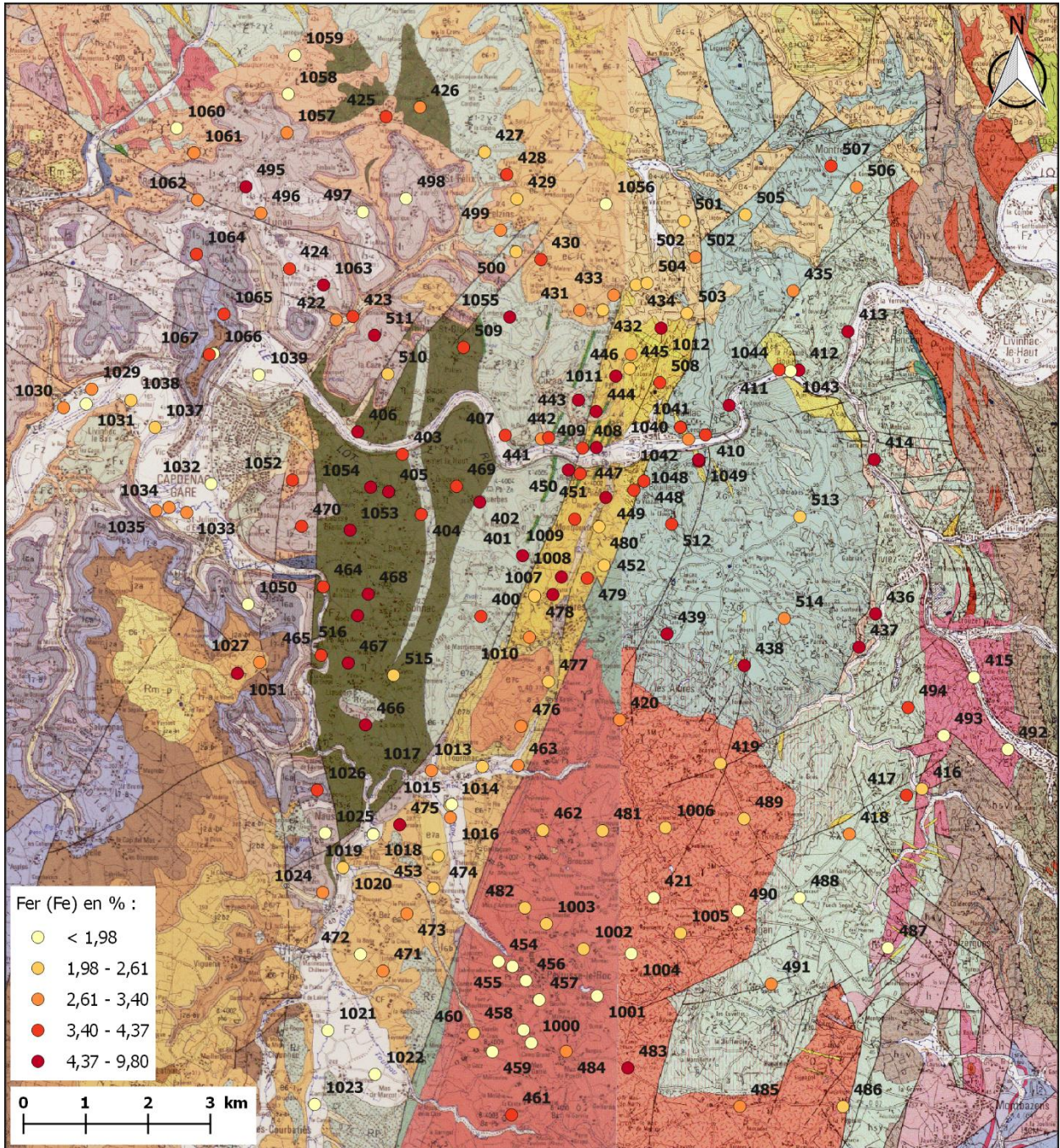


Illustration 34 : Carte des points échantillonnés pour le Fe.

| Géologie | N | moyenne | E.T. | médiane | Mini | Max |
|-----------------|----------|----------------|-------------|----------------|-------------|------------|
| γ | 18 | 2,34 | 0,83 | 2,29 | 1,04 | 4,70 |
| η | 13 | 4,76 | 1,41 | 4,37 | 2,57 | 6,92 |
| ξ | 32 | 3,94 | 1,96 | 3,72 | 1,39 | 9,80 |
| χG | 7 | 4,64 | 1,19 | 4,85 | 2,98 | 6,41 |
| λ-δ | 16 | 3,88 | 1,07 | 4,07 | 1,99 | 5,77 |
| t | 9 | 2,46 | 1,29 | 3,02 | 0,32 | 3,99 |
| l2 | 10 | 2,95 | 1,50 | 2,74 | 1,30 | 6,74 |
| l-j | 9 | 3,73 | 1,46 | 4,19 | 1,01 | 5,74 |
| e | 20 | 2,88 | 1,09 | 2,61 | 1,76 | 5,75 |
| F | 16 | 1,98 | 0,74 | 1,95 | 1,01 | 3,06 |

Illustration 35 : Tableau de statistiques simples de Fe : nombre de mesure (N), nombre de mesure > LOD (Nb), moyennes, écart-type (E.T.), médiane, minimum et maximum du fer pour chaque formation géologique.

4. Conclusion

L'utilisation du pXRF pour collecter un grand nombre de mesures sur le secteur d'Asprières afin d'établir les FPG par formation lithologique a permis de déterminer des gammes en fonction des formations.

Toutefois, certains éléments sont difficilement détectés en XRF quand les teneurs sont faibles ou/et du même ordre de grandeur que la limite de détection des pXRF (ex : Cd et Sb).

Pour Pb, les formations χ G, λ - δ et I2 se détachent des autres mais présentent de grandes variabilités dans les mesures (184 ± 139 , 117 ± 144 et 115 ± 106 mg/kg) dues à la présence de minéralisations dans ces formations. Les teneurs en Pb pour les autres formations sont comprises entre 44 et 72 mg/kg.

Pour Zn, comme pour le Pb, les formations χ G, λ - δ et I2 se détachent des autres mais présentent de grandes variabilités dans les mesures (337 ± 248 , 192 ± 161 et 215 ± 93 mg/kg). Les teneurs en Zn des autres formations sont comprises entre 84 et 161 mg/kg.

Pour As, la formation I2 ne se différencie pas des autres formations I-j. La formation qui se détache est toujours χ G avec une moyenne nettement supérieure (177 mg/kg) par rapport aux autres formations (entre 11 et 58 mg/kg).

Pour le Cu, on observe à peu près les mêmes tendances que pour As. La formation χ G présente une teneur moyenne de 65 mg/kg supérieure aux autres formations (entre 18 et 39 mg/kg).

Pour le V, c'est la formation η qui présente les plus fortes teneurs avec une moyenne à 192 mg/kg, la formation χ G présente également une teneur moyenne élevée (140 mg/kg) par rapport aux autres formations (63 et 114 mg/kg).

Seules les formations χ G et λ - δ minéralisées montrent généralement des FPG élevés. La formation I2 ne se distingue que pour le Pb et le Zn des autres formations I-j et la formation η présente des enrichissements en V mais est aussi riche en Fe, Mn et Ba.

5. Bibliographie

Audry, S., Blanc, G., Schäfer, J. (2006) - Solid state partitioning of trace metals in suspended particulate matter from a river system affected by smFPGing-waste drainage. *Science of the Total Environment* 363, 216– 236.

Bertin, C. & Bourg, A.C.M. (1995) - Trends in the heavy metal content (Cd, Pb, Zn) of river sediments in the drainage basin of smFPGing activities. *Wat. Res.* Vol. 29, No. 7, pp. 1729-1736.

Bossi J. (1972) - La minéralisation plombo-zincifère d'Asprières-Bouillac (Aveyron-Lot, France). Thèse univ. Nancy, 157 p.+ annexes.

Ciszak, R. & Courrèges, C. (2016) - Carte géologique simplifiée du Rouergue. Les Amis des Sciences de la Terre, <http://www.geopole12.org/index.php?page=geologie-de-l-aveyron>

Lambert A. (2005) - Les données géochimiques et alluvionnaires de l'Inventaire minier du territoire national. Constitution d'une base de données exhaustive. BRGM/RP-53546-FR, 116 p.

Lefavrais-Raymond A., Astruc J.G., Guillot P.L., avec la collaboration de Bonijoly D., Lefavrais-Henry M., Marandat B. (1990) - Notice explicative, Carte géol. France (1:50000), feuille Figeac (858) - Orléans: Bureau de recherches géologiques et minières, 92 p. Carte géologique par Guillot P.G., Lefavrais-Raymond A., Astruc J.G., Lefavrais-Henry M. (1989).

Pierrot R., Pulou R., Picot P. (1977) - Inventaire minéralogique de la France n° 7, Aveyron (12). BRGM, 224 p.

Pierrot R., Pulou R., Pulou G., Laforêt C., Pillard F. (1982) - Inventaire minéralogique de la France n°10, Lot (46) et Tarn-et-Garonne (82). BRGM, 1975.

Potts P. J. (2008) - Chapter 1 Introduction, Analytical Instrumentation and Application Overview. In *Portable X-ray Fluorescence Spectrometry: Capabilities for In Situ Analysis*; Potts P. J., West M. Eds.; The Royal Society of Chemistry: London, UK, pp 1-12.

Rapport GEODERIS N2014/005DE-142420 : « Note sur l'existence d'eaux non potables destinées à la consommation humaine ainsi que sur la présence de vestiges miniers dégradés sur le secteur minier d'Asprières (12) ».

Rapport GEODERIS N2015/006DE-14NAT24202 : « Études d'orientation C+ Secteurs de Peyrebrune (81), de Trébas-Cadix (81) et d'Asprières (12) Éléments à prendre en compte pour la réalisation des études par l'INERIS ».

Roig J.Y., Alabouvette B., Collomb P., Bogdanoff S., Guérangé-Lozes J., Genna A., Couturié J.P., Monchoux P., Ciszak R. (2001) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Decazeville (859). Orléans : BRGM, 94 p. Carte géologique par J.Y. Roig *et al.* (2001).

Sivry Y., Riotte J., Sonke J.E., Audry S., Schäfer J., Viers J., Blanc G., Freydier R., Dupré B. (2008) - Zn isotopes as tracers of anthropogenic pollution from Zn-ore smFPGers. The Riou Mort–Lot River system. *Chemical Geology* 255 295-304.

Sposito G. (1989) - The chemistry of soils. New York, Oxford University Press, pp 277.

Annexe 1

Rapport d'analyses



RAPPORT D'ESSAIS 17-6-018-A / 2

| | |
|---|--|
| Provenance : Région d'aspières | Demandeur : LAPERCHE Valerie |
| Nature échantillon : SOL Nombre: 20 | Adresse: DRP/DIR 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France |
| Echantillons réceptionnés le : 12/05/2017 | |
| Analyses commencées le : 29-MAY-17 | |
| Référence commande : AP17DRP315JASPRIERES | |

| 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: 
Véronique JEAN-PROST
Coordonnatrice des Analyses
Direction des Laboratoires
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25
le : 15-JUN-2017


Hervé GABORIAU
Directeur
Direction des Laboratoires
Signature électronique certifiée SE0001R34H0002

Nombre de pages: 15

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

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 36009, 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 : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

| | |
|---|--|
| Le mode opératoire MO093 est utilisé pour doser : | Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012 |
| Broyage(Prébroyés) | |

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux et des solides

| | |
|--|--|
| <p>Le mode opératoire MO077 est utilisé pour doser :</p> <p>PP (Perte de masse à 450°C)</p> | <p>Détermination de la perte de masse avant ICP</p> |
| <p>Le mode opératoire MO111 est utilisé pour doser :</p> <p>Ag (Argent)</p> <p>As (Arsenic)</p> <p>Ba (Baryum)</p> <p>Bi (Bismuth)</p> <p>Cd (Cadmium)</p> <p>Co (Cobalt)</p> <p>Cu (Cuivre)</p> <p>K2O (Oxyde de Potassium)</p> <p>Li (Lithium)</p> <p>MnO (Oxyde de Manganèse)</p> <p>Nb (Niobium)</p> <p>P2O5 (Phosphates en P2O5)</p> <p>Sb (Antimoine)</p> <p>Sn (Etain)</p> <p>TiO2 (Oxyde de Titane)</p> <p>W (Tungstène)</p> <p>Zn (Zinc)</p> | <p>Analyse multiéléments par ICP/AES</p> <p>Al2O3 (Alumine)</p> <p>B (Bore)</p> <p>Be (Béryllium)</p> <p>CaO (Oxyde de Calcium)</p> <p>Ce (Cérium)</p> <p>Cr (Chrome)</p> <p>Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)</p> <p>La (Lanthane)</p> <p>MgO (Oxyde de Magnésium)</p> <p>Mo (Molybdène)</p> <p>Ni (Nickel)</p> <p>Pb (Plomb)</p> <p>SiO2 (Silice)</p> <p>Sr (Strontium)</p> <p>V (Vanadium)</p> <p>Y (Yttrium)</p> <p>Zr (Zirconium)</p> |

Commentaire du laboratoire :

Les résultats sont exprimés sur produit brut.

brgm
LISTE DES MODÈS OPERATOIRES

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

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 sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l'échantillon. Elles peuvent 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,)

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260747 | 200260748 | 200260749 | 200260750 |
|--|-------|------------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 1 ASP- 408 | 2 ASP- 409 | 3 ASP- 412 | 4 ASP- 415 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 5.02 | 7.33 | 6.02 | 3.65 |
| SiO ₂ (Silice) | % | | 1 | 60.8 | 58.1 | 57.1 | 64.9 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | | 1 | 12.6 | 12.6 | 14.3 | 11.7 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | | 1 | 4.9 | 6.6 | 5.2 | 1.0 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | < 1 | 1.2 | < 1 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | 1.1 | 1.9 | < 1 | < 1 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 3.17 | 2.43 | 3.64 | 4.03 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 0.12 | 0.23 | 0.19 | 0.05 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.80 | 0.60 | 0.84 | 0.30 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | | 100 | 1150 | 1156 | 3014 | 1137 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 53 | 45 | 56 | 43 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | 2 | < 2 | 3 | 9 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 76 | 75 | 86 | 434 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 90 | 124 | 82 | 26 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 58 | 129 | 68 | 20 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 15 | 17 | 21 | < 5 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | 27 | 37 | 38 | < 10 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | 134 | 25 | 99 | 18 |

le : 15-JUN-2017

Page 5

brgm TABLEAU DE RESULTATS

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260751 | 200260752 | 200260753 | 200260754 |
|-------------------------------------|-------|------------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 5 ASP- 422 | 6 ASP- 429 | 7 ASP- 431 | 8 ASP- 436 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 4.33 | 8.33 | 7.67 | 7.67 |
| SiO2 (Silice) | % | | 1 | 39.8 | 60.9 | 59.5 | 48.6 |
| Al2O3 (Alumine) | % | | 1 | 9.4 | 9.5 | 12.6 | 13.9 |
| Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3) | % | | 1 | 3.9 | 3.1 | 6.2 | 8.1 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | 11.2 | 2.7 | 1.1 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | 6.9 | < 1 | 1.9 | 3.5 |
| K2O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 3.52 | 1.84 | 2.60 | 3.52 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 0.27 | 0.15 | 0.14 | 0.26 |
| TiO2 (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.51 | 0.90 | 1.04 | 0.64 |
| P2O5 (Phosphates en P2O5) | mg/kg | | 100 | 346 | 748 | 1334 | 1347 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 35 | 40 | 48 | 73 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 3 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 291 | 110 | 62 | 86 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 57 | 63 | 133 | 96 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 43 | 59 | 89 | 216 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 5 | 16 | 19 | 28 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | 19 | 19 | 31 | 162 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | < 5 | 13 | 29 | 23 |

le : 15-JUN-2017

Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260755 | 200260756 | 200260757 | 200260758 |
|--|-------|------------------------|------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | 9 ASP- 439 | 10 ASP- 449 | 11 ASP- 454 | 12 ASP- 465 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 9.67 | 11.67 | 8.70 | 10.67 |
| SiO ₂ (Silice) | % | | 1 | 48.5 | 55.1 | 55.7 | 53.4 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | | 1 | 18.9 | 12.2 | 13.5 | 13.1 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | | 1 | 6.9 | 6.2 | 2.2 | 4.3 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 2.5 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | < 1 | 1.8 | < 1 | 1.6 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 3.11 | 2.20 | 4.94 | 2.56 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 0.06 | 0.16 | 0.07 | 0.12 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.85 | 0.74 | 0.48 | 0.67 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | | 100 | 927 | 1371 | 1393 | 911 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 87 | 69 | 43 | 61 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | 2 | < 2 | 4 | < 2 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 91 | 45 | 55 | 49 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 99 | 125 | 43 | 98 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 69 | 92 | 19 | 25 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 13 | 17 | < 5 | 10 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | 34 | 35 | < 10 | < 10 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | 33 | 40 | < 5 | 12 |

le : 15-JUN-2017

Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260759 | 200260760 | 200260761 | 200260762 |
|-------------------------------------|-------|------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | 13 ASP- 466 | 14 ASP- 480 | 15 ASP- 482 | 16 ASP- 487 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 16.39 | 7.33 | 7.64 | 7.02 |
| SiO2 (Silice) | % | | 1 | 43.3 | 60.3 | 59.1 | 58.1 |
| Al2O3 (Alumine) | % | | 1 | 9.7 | 13.6 | 12.4 | 12.3 |
| Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3) | % | | 1 | 7.5 | 4.5 | 2.1 | 2.2 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | 4.2 | < 1 | < 1 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | 2.0 | 1.3 | < 1 | < 1 |
| K2O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 2.77 | 2.98 | 4.86 | 5.44 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 1.13 | 0.16 | 0.07 | 0.26 |
| TiO2 (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.72 | 0.73 | 0.52 | 0.56 |
| P2O5 (Phosphates en P2O5) | mg/kg | | 100 | 2288 | 1350 | 987 | 1495 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 56 | 60 | 34 | 38 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 87 | 63 | 37 | 97 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 104 | 85 | 45 | 68 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 52 | 104 | 24 | 22 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 21 | 15 | < 5 | 5 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | 37 | 39 | < 10 | 15 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | 40 | 44 | < 5 | < 5 |

brgm TABLEAU DE RESULTATS

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260763 | 200260764 | 200260765 | 200260766 |
|--|-------|------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | 17 ASP- 490 | 18 ASP- 502 | 19 ASP- 507 | 20 ASP- 510 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 4.65 | 5.98 | 9.03 | 13.29 |
| SiO ₂ (Silice) | % | | 1 | 62.1 | 55.7 | 52.4 | 26.1 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | | 1 | 11.4 | 14.3 | 14.4 | 6.5 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | | 1 | 2.3 | 4.8 | 5.3 | 3.1 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 13.5 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 7.5 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 4.41 | 3.40 | 3.24 | 1.92 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 0.09 | 0.08 | 0.87 | 0.37 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.80 | 1.04 | 0.87 | 0.37 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | | 100 | 758 | 533 | 2852 | 1709 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 51 | 34 | 104 | 29 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | < 2 | 2 | 2 | < 2 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 66 | 63 | 69 | 59 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 56 | 87 | 100 | 61 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 32 | 63 | 76 | 34 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | < 5 | 14 | 9 | 9 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | < 10 | 24 | 24 | 17 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | < 5 | 19 | 28 | 18 |

le : 15-JUN-2017

Page 9

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260747 | 200260748 | 200260749 | 200260750 |
|----------------|-------|------------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 1 ASP- 408 | 2 ASP- 409 | 3 ASP- 412 | 4 ASP- 415 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | | 5 | 216 | 171 | 534 | 579 |
| As (Arsenic) | mg/kg | | 20 | 64 | 55 | 265 | < 20 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | | 5 | 55 | 53 | 65 | 78 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | | 20 | 31 | 33 | 28 | < 20 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | | 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | | 0.2 | 0.8 | < 0.2 | 0.8 | < 0.2 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | | 2 | < 2 | < 2 | 2 | 6 |
| Sn (Etain) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | | 10 | 544 | 301 | 1216 | 420 |
| La (Lanthane) | mg/kg | | 20 | 35 | < 20 | 44 | < 20 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | | 10 | 64 | 32 | 85 | 37 |
| W (Tungstène) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | | 10 | 1107 | 84 | 398 | 157 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | | 20 | 160 | 78 | 165 | 47 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260751 | 200260752 | 200260753 | 200260754 |
|----------------|-------|------------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 5 ASP- 422 | 6 ASP- 429 | 7 ASP- 431 | 8 ASP- 436 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | | 5 | 109 | 93 | 183 | 489 |
| As (Arsenic) | mg/kg | | 20 | < 20 | < 20 | < 20 | 385 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | | 5 | 102 | 56 | 75 | 74 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | | 20 | < 20 | 22 | 24 | 34 |
| 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 | < 0.2 | < 0.2 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 23 |
| Sn (Etain) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | | 10 | 270 | 346 | 536 | 624 |
| La (Lanthane) | mg/kg | | 20 | 23 | 31 | 22 | 48 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | | 10 | 48 | 79 | 47 | 86 |
| W (Tungstène) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | | 10 | 39 | 55 | 223 | 64 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | | 20 | 87 | 179 | 132 | 105 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | LQ** | Lims | 200260755 | 200260756 | 200260757 | 200260758 |
|----------------|-------|------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Labo | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | Client | ASP- 439 | ASP- 449 | ASP- 454 | ASP- 465 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | | 54 | 208 | 92 | 82 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | | 61 | 62 | 267 | 225 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | | 29 | 29 | < 20 | < 20 |
| 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 | 1.0 | 0.2 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | | 535 | 574 | 769 | 985 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | | 58 | 26 | 56 | 28 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | | 114 | 43 | 109 | 34 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | | < 10 | 589 | 634 | 152 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | | 149 | 82 | 106 | 111 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | LQ** | Lims | 200260759 | 200260760 | 200260761 | 200260762 |
|----------------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | Labo Client | 13 ASP- 466 | 14 ASP- 480 | 15 ASP- 482 | 16 ASP- 487 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | | 801 | 178 | 117 | 51 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | | 68 | 57 | 248 | 192 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | | 26 | 28 | < 20 | < 20 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 0.2 | | 2.0 | < 0.2 | 0.6 | 0.4 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | | 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | | 1756 | 585 | 961 | 5177 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | | 38 | 38 | 41 | 64 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | | 90 | 79 | 82 | 118 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | | 997 | 70 | 84 | 36 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | | 120 | 152 | 152 | 173 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200260763 | 200260764 | 200260765 | 200260766 |
|----------------|-------|------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | 17 ASP- 490 | 18 ASP- 502 | 19 ASP- 507 | 20 ASP- 510 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | | 112 | 81 | 108 | 354 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | | < 20 | 34 | < 20 | < 20 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | | 201 | 54 | 50 | 85 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | | < 20 | 32 | 23 | < 20 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 0.2 | | 0.3 | < 0.2 | < 0.2 | 1.2 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | | 1260 | 522 | 512 | 500 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | | 59 | 47 | 36 | < 20 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | | 107 | 87 | 72 | 30 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | | 81 | 24 | 61 | 352 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | | 251 | 159 | 172 | 41 |

** LQ Limite de quantification

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100040097

Rapport d'essais : 17-6-018-A / 2

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 15-JUN-2017

Page 15



RAPPORT D'ESSAIS 18-6-026-B

| | |
|---|--|
| Provenance : Asprières GEODERIS | Demandeur : LAPERCHE Valerie |
| Nature échantillon : SOL Nombre: 20 | Adresse: DRP/DIR 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France |
| Echantillons réceptionnés le : 02/05/2018 | |
| Analyses commencées le : 29-MAY-18 | |
| Référence commande : AP18DRP316JASPRIERES | |

| 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: 
Véronique JEANPROST
Coordonnatrice des Analyses
Direction des Laboratoires
Coordonnateur des analyses
Signature électronique certifiée SE0001R2H0004
Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25
le : 14-JUN-2018


Hervé GABORIAU
Directeur
Direction des Laboratoires
Signature électronique certifiée SE0001R2H0002

Nombre de pages: 15

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

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 36009, 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 : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

| | |
|---|--|
| Le mode opératoire MO093 est utilisé pour doser : | Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012 |
| Broyage(Prébroyés) | |

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

le : 14-JUN-2018

Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux et des solides

| | |
|--|---|
| Le mode opératoire MO077 est utilisé pour doser : | Détermination de la perte de masse avant ICP |
| PP (Perte de masse à 450°C) | |
| Le mode opératoire MO111 est utilisé pour doser : | Analyse multiéléments par ICP/AES |
| Ag (Argent) | Al ₂ O ₃ (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) | Fe ₂ O ₃ t (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | La (Lanthane) |
| Li (Lithium) | MgO (Oxyde de Magnésium) |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | Mo (Molybdène) |
| Nb (Niobium) | Ni (Nickel) |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | Pb (Plomb) |
| Sb (Antimoine) | SiO ₂ (Silice) |
| Sn (Etain) | Sr (Strontium) |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | V (Vanadium) |
| W (Tungstène) | Y (Yttrium) |
| Zn (Zinc) | Zr (Zirconium) |

Commentaire du laboratoire :

Les résultats sont exprimés sur produit brut.

brgm
LISTE DES MODÈS OPERATOIRES

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

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 sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l'échantillon. Elles peuvent 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 : 14-JUN-2018

Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200275591 | 200275592 | 200275593 | 200275594 |
|--|-------|------------------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | 1 APS-18-SOL-N1001 | 2 APS-18-SOL-N1004 | 3 APS-18-SOL-N1008 | 4 APS-18-SOL-N1009 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 6.64 | 2.00 | 17.73 | 3.65 |
| SiO ₂ (Silice) | % | | 1 | 63.9 | 76.1 | 50.2 | 64.1 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | | 1 | 14.9 | 11.9 | 13.9 | 14.2 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | | 1 | 2.28 | 2.43 | 8.08 | 6.82 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | < 1 | < 1 | 3.3 | 2.0 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 5.65 | 5.37 | 1.51 | 2.34 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 0.06 | 0.07 | 0.21 | 0.15 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.58 | 0.81 | 0.72 | 0.74 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | | 100 | 1664 | 938 | 1312 | 638 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 69 | 42 | 102 | 81 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | 5 | < 2 | 3 | < 2 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 52 | 46 | 20 | 40 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 36 | 47 | 137 | 116 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 15 | 23 | 104 | 56 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 6 | 6 | 26 | 17 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | < 10 | < 10 | 43 | 28 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | 25 | < 5 | 48 | 26 |

le : 14-JUN-2018

Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275595 | 200275596 | 200275597 | 200275598 |
|--|-------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | 5 APS-18-SOL-N1011 | 6 APS-18-SOL-N1013 | 7 APS-18-SOL-N1014 | 8 APS-18-SOL-N1020 |
| | | LQ** | | | | |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | 0.05 | 11.33 | 13.62 | 6.69 | 10.33 |
| SiO ₂ (Silice) | % | 1 | 60.6 | 51.8 | 65.2 | 59.4 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | 1 | 12.0 | 12.3 | 14.6 | 11.5 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | 1 | 6.36 | 3.27 | 3.24 | 5.55 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | 1 | 1.1 | 5.6 | < 1 | 2.4 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | 1 | 1.5 | 1.3 | < 1 | 1.9 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | 0.5 | 2.13 | 4.31 | 4.80 | 3.58 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | 0.01 | 0.11 | 0.08 | 0.09 | 0.24 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | 0.01 | 0.94 | 0.51 | 0.92 | 0.78 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | 100 | 610 | 2189 | 1451 | 1718 |
| Li (Lithium) | mg/kg | 10 | 45 | 53 | 75 | 74 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | 2 | < 2 | 3 | 4 | 3 |
| B (Bore) | mg/kg | 10 | 25 | 32 | 46 | 85 |
| V (Vanadium) | mg/kg | 10 | 124 | 44 | 62 | 101 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | 10 | 55 | 18 | 25 | 43 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | 5 | 18 | 9 | 8 | 17 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | 10 | 26 | 12 | < 10 | 29 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | 5 | 39 | 13 | 13 | 14 |

le : 14-JUN-2018

Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275599 | 200275600 | 200275601 | 200275602 |
|--|-------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | 9 APS-18-SOL-N1024 | 10 APS-18-SOL-N1027 | 11 APS-18-SOL-N1041 | 12 APS-18-SOL-N1044 |
| | | LQ** | | | | |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | 0.05 | 10.67 | 9.63 | 8.67 | 7.97 |
| SiO ₂ (Silice) | % | 1 | 23.7 | 68.4 | 57.9 | 60.2 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | 1 | 6.1 | 8.5 | 16.6 | 14.9 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | 1 | 4.73 | 4.49 | 5.49 | 5.21 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | 1 | 19.2 | 1.7 | < 1 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | 1 | 7.3 | < 1 | 1.3 | 1.2 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | 0.5 | 1.63 | 2.23 | 4.46 | 4.47 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | 0.01 | 0.42 | 0.24 | 0.07 | 0.16 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | 0.01 | 0.34 | 0.74 | 0.91 | 0.77 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | 100 | 1954 | 1527 | 1388 | 4207 |
| Li (Lithium) | mg/kg | 10 | 45 | 44 | 77 | 66 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| B (Bore) | mg/kg | 10 | 56 | 63 | 46 | 72 |
| V (Vanadium) | mg/kg | 10 | 54 | 73 | 77 | 71 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | 10 | 20 | 42 | 42 | 36 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | 5 | 7 | 17 | 9 | 22 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | 10 | 20 | 27 | 20 | 33 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | 5 | 23 | 11 | 46 | 77 |

le : 14-JUN-2018

Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275603 | 200275604 | 200275605 | 200275606 |
|--|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | 13 APS-18-SOL-N1052 | 14 APS-18-SOL-N1053 | 15 APS-18-SOL-N1057 | 16 APS-18-SOL-N1058 |
| | | LQ** | | | | |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | 0.05 | 12.67 | 8.00 | 17.67 | 7.69 |
| SiO ₂ (Silice) | % | 1 | 55.0 | 51.8 | 30.6 | 79.6 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | 1 | 13.8 | 19.7 | 8.5 | 5.7 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | 1 | 6.54 | 9.31 | 4.13 | 2.00 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | 1 | 1.2 | < 1 | 10.7 | < 1 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | 1 | 1.8 | 1.6 | 7.6 | < 1 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | 0.5 | 4.81 | 2.88 | 2.20 | 1.51 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | 0.01 | 0.26 | 0.15 | 0.43 | 0.02 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | 0.01 | 0.89 | 1.07 | 0.51 | 0.57 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | 100 | 2136 | 699 | 1484 | 306 |
| Li (Lithium) | mg/kg | 10 | 69 | 103 | 84 | 29 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | 2 | 3 | 4 | 2 | < 2 |
| B (Bore) | mg/kg | 10 | 133 | 67 | 88 | 69 |
| V (Vanadium) | mg/kg | 10 | 116 | 176 | 78 | 38 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | 10 | 33 | 58 | 29 | 15 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | 5 | 12 | 22 | 15 | 7 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | 10 | < 10 | 25 | 25 | < 10 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | 5 | 30 | 25 | 19 | < 5 |

le : 14-JUN-2018

Page 8

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200275607 | 200275608 | 200275609 | 200275610 |
|--|-------|------------------------|------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | 17 APS-18-SOL-N1063 | 18 APS-18-SOL-N1065 | 19 APS-18-SOL-N1066 | 20 APS-18-SOL-N1067 |
| PP (Perte de masse à 450°C) | % | | 0.05 | 19.33 | 13.43 | 37.33 | 16.61 |
| SiO ₂ (Silice) | % | | 1 | 30.6 | 31.5 | 21.9 | 41.0 |
| Al ₂ O ₃ (Alumine) | % | | 1 | 9.0 | 10.6 | 5.5 | 11.3 |
| Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃) | % | | 1 | 6.87 | 5.59 | 2.69 | 5.51 |
| CaO (Oxyde de Calcium) | % | | 1 | 9.2 | 10.5 | 17.8 | 12.9 |
| MgO (Oxyde de Magnésium) | % | | 1 | 5.6 | 4.7 | < 1 | < 1 |
| K ₂ O (Oxyde de Potassium) | % | | 0.5 | 2.05 | 2.91 | 1.21 | 2.15 |
| MnO (Oxyde de Manganèse) | % | | 0.01 | 1.27 | 0.07 | 0.11 | 0.26 |
| TiO ₂ (Oxyde de Titane) | % | | 0.01 | 0.56 | 0.61 | 0.36 | 0.71 |
| P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅) | mg/kg | | 100 | 2083 | 4136 | 5049 | 7056 |
| Li (Lithium) | mg/kg | | 10 | 57 | 114 | 31 | 62 |
| Be (Béryllium) | mg/kg | | 2 | 3 | < 2 | < 2 | 3 |
| B (Bore) | mg/kg | | 10 | 72 | 123 | 49 | 64 |
| V (Vanadium) | mg/kg | | 10 | 68 | 91 | 42 | 79 |
| Cr (Chrome) | mg/kg | | 10 | 32 | 43 | 24 | 67 |
| Co (Cobalt) | mg/kg | | 5 | 14 | 15 | 8 | 15 |
| Ni (Nickel) | mg/kg | | 10 | 34 | 45 | 17 | 36 |
| Cu (Cuivre) | mg/kg | | 5 | 23 | 22 | 40 | 52 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200275591 | 200275592 | 200275593 | 200275594 |
|----------------|-------|------------------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | 1 APS-18-SOL-N1001 | 2 APS-18-SOL-N1004 | 3 APS-18-SOL-N1008 | 4 APS-18-SOL-N1009 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | | 115 | 54 | 779 | 87 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | | < 20 | 22 | 76 | 29 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | | 376 | 296 | 66 | 92 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | 31 | 38 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | | < 20 | 21 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 1 | | 3.7 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | | < 2 | < 2 | 3 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | 11 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | | 12 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | | 1328 | 1345 | 308 | 386 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | | 66 | 46 | 25 | 30 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | | 117 | 81 | 59 | 53 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | | 1622 | 65 | 212 | 24 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | | 223 | 365 | 113 | 159 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275595 | 200275596 | 200275597 | 200275598 |
|----------------|-------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | 5 APS-18-SOL-N1011 | 6 APS-18-SOL-N1013 | 7 APS-18-SOL-N1014 | 8 APS-18-SOL-N1020 |
| | LQ** | | | | | |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | 213 | 136 | 163 | 141 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | 66 | 26 | 20 | 30 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | 71 | 259 | 239 | 98 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | < 20 | < 20 | 25 | 28 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | < 20 | < 20 | 25 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 1 | < 1 | < 1 | 2.8 | < 1 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | 12 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | 461 | 852 | 1259 | 1000 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | < 20 | 47 | 60 | 39 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | 40 | 87 | 118 | 85 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | 139 | 93 | 1060 | 77 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | 166 | 177 | 281 | 266 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275599 | 200275600 | 200275601 | 200275602 |
|----------------|-------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | 9 APS-18-SOL-N1024 | 10 APS-18-SOL-N1027 | 11 APS-18-SOL-N1041 | 12 APS-18-SOL-N1044 |
| | LQ** | | | | | |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | 421 | 125 | 296 | 680 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | 24 | 28 | 55 | 223 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | 78 | 87 | 44 | 78 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | < 20 | 38 | 29 | 29 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | < 20 | < 20 | 22 | 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 4 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 11 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | 518 | 498 | 726 | 825 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | 20 | 39 | 50 | 45 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | 41 | 92 | 97 | 86 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 11 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | 136 | 60 | 181 | 168 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | 101 | 305 | 234 | 177 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | 200275603 | 200275604 | 200275605 | 200275606 |
|----------------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | 13 APS-18-SOL-N1052 | 14 APS-18-SOL-N1053 | 15 APS-18-SOL-N1057 | 16 APS-18-SOL-N1058 |
| | LQ** | | | | | |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | 485 | 168 | 283 | 30 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | 92 | 54 | 59 | 22 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | 27 | 27 | 21 | < 20 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | 991 | 1993 | 322 | 196 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | 34 | 31 | 25 | 25 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | 68 | 59 | 58 | 49 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | 226 | 60 | 51 | 37 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | 185 | 193 | 130 | 185 |

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

| Elément | Unité | Lims Labo Client | LQ** | 200275607 | 200275608 | 200275609 | 200275610 |
|----------------|-------|------------------------|------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | 17 APS-18-SOL-N1063 | 18 APS-18-SOL-N1065 | 19 APS-18-SOL-N1066 | 20 APS-18-SOL-N1067 |
| Zn (Zinc) | mg/kg | 5 | | 237 | 61 | 373 | 252 |
| As (Arsenic) | mg/kg | 20 | | 21 | 51 | 22 | 31 |
| Sr (Strontium) | mg/kg | 5 | | 54 | 111 | 34 | 66 |
| Y (Yttrium) | mg/kg | 20 | | 22 | 26 | 23 | 43 |
| Nb (Niobium) | mg/kg | 20 | | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Mo (Molybdène) | mg/kg | 5 | | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Ag (Argent) | mg/kg | 1 | | 1.3 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cd (Cadmium) | mg/kg | 2 | | < 2 | < 2 | 3 | < 2 |
| Sn (Etain) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Sb (Antimoine) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Ba (Baryum) | mg/kg | 10 | | 1282 | 168 | 272 | 790 |
| La (Lanthane) | mg/kg | 20 | | 29 | 29 | 20 | 42 |
| Ce (Cérium) | mg/kg | 10 | | 68 | 60 | 41 | 79 |
| W (Tungstène) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Pb (Plomb) | mg/kg | 10 | | 77 | 27 | 104 | 92 |
| Bi (Bismuth) | mg/kg | 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Zr (Zirconium) | mg/kg | 20 | | 146 | 109 | 92 | 66 |

** LQ Limite de quantification

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100041865

Rapport d'essais : 18-6-026-B

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 14-JUN-2018

Page 15

Annexe 2

Description de l'ensemble des échantillons

Annexe 3

Concentration moyenne des éléments dans les sols et la croûte terrestre (Sposito, 1989)

TABLE 1.2 Mean elemental content (in mg kg⁻¹) of soil and crustal rocks, and the soil enrichment factor (EF)

| Element | Soil ^{a,b} | Crust ^b | EF ^c | Element | Soil ^{a,b} | Crust ^b | EF ^c |
|---------|---------------------|--------------------|-----------------|---------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Li | 24 | 20 | 1.2 | Zn | 60 | 75 | 0.80 |
| Be | 0.92 | 2.6 | 0.35 | Ga | 17 | 18 | 0.94 |
| B | 33 | 10 | 3.3 | Ge | 1.2 | 1.8 | 0.67 |
| C | 25,000 | 480 | 52 | As | 7.2 | 1.5 | 4.8 |
| N | 2,000 | 25 | 80 | Se | 0.39 | 0.05 | 7.8 |
| O | 490,000 | 474,000 | 1.0 | Br | 0.85 | 0.37 | 2.3 |
| F | 950 | 430 | 2.2 | Rb | 67 | 90 | 0.74 |
| Na | 12,000 | 23,000 | 0.52 | Sr | 240 | 370 | 0.65 |
| Mg | 9,000 | 23,000 | 0.39 | Y | 25 | 30 | 0.83 |
| Al | 72,000 | 82,000 | 0.88 | Zr | 230 | 190 | 1.2 |
| Si | 310,000 | 277,000 | 1.1 | Nb | 11 | 20 | 0.55 |
| P | 430 | 1,000 | 0.43 | Mo | 0.97 | 1.5 | 0.65 |
| S | 1,600 | 260 | 6.2 | Ag | 0.05 | 0.07 | 0.71 |
| Cl | 100 | 130 | 0.77 | Cd | 0.35 | 0.11 | 3.2 |
| K | 15,000 | 21,000 | 0.71 | Sn | 1.3 | 2.2 | 0.59 |
| Ca | 24,000 | 41,000 | 0.59 | Sb | 0.66 | 0.20 | 3.3 |
| Sc | 8.9 | 16 | 0.56 | I | 1.2 | 0.14 | 8.6 |
| Ti | 2,900 | 5,600 | 0.52 | Cs | 4.0 | 3.0 | 1.3 |
| V | 80 | 160 | 0.50 | Ba | 580 | 500 | 1.2 |
| Cr | 54 | 100 | 0.54 | La | 37 | 32 | 1.2 |
| Mn | 550 | 950 | 0.58 | Hg | 0.09 | 0.05 | 1.8 |
| Fe | 26,000 | 41,000 | 0.63 | Pb | 19 | 14 | 1.4 |
| Co | 9.1 | 20 | 0.46 | Nd | 46 | 38 | 1.2 |
| Ni | 19 | 80 | 0.24 | Th | 9.4 | 12 | 0.78 |
| Cu | 25 | 50 | 0.50 | U | 2.7 | 2.4 | 1.1 |

^aH. T. Schacklette and J. G. Boerngen, Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States, *U.S. Geological Survey Prof. Paper 1270* (1984).

^bH. J. M. Bowen, *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London, 1979.

^cEF = soil content/crustal content.

Annexe 4

Tableaux des teneurs de l'ensemble des mesures pXRF faites sur site, position GPS (WGS84 et Lambert)

Échantillons classés par formation

Analyse faite avec l'appareil : XL3t980 LAB

Unité : mg/kg

Temps de mesure total de 90 sec sur 3 filtres (30, 30, 30)

Sol tamisé à 2 mm

Mode utilisé sur le terrain : soil

ELT < LOD : Mo, U, Au, Se, Hg, W, Co, Cr, Cs, Te, Sb, Cd, Ag, Pd

Toutes les valeurs < LOD ont été remplacées par la valeur maximale mesurée dans le temps fixé de 30 secondes par filtre. Ce choix permet d'avoir suffisamment de données pour les traitements statistiques.

Table with columns: Reading No, Time, SAMPLE, POINT, TYPE, Géologie, Ydd, Xdd, XIamb, YLamb, Pb, Pb Error, As, As Error, Zn, Zn Error, Cu, Cu Error, Ni, Ni Error, Fe, Fe Error, Mn, Mn Error, V, V Error, Ti, Ti Error, Ca, Ca Error, K, K Error, S, S Error, Ba, Ba Error, Zr, Zr Error, Sr, Sr Error, Rb, Rb Error, Th, Th Error. The table is divided into two main sections: 'Domaine de solce - Roches plutoniques et magmatiques' and 'Domaine de solce - Roches métamorphiques'.

Caractérisation du Fond Pédo-Géochimique de l'ancien secteur minier d'Asprières (12, 46)

| Reading No | Time | SAMPLE | POINT | TYPE | Géologie | Ydd | Xdd | Xlamb | Ylamb | Pb | Pb Error | As | As Error | Zn | Zn Error | Cu | Cu Error | Ni | Ni Error | Fe | Fe Error | Mn | Mn Error | V | V Error | Ti | Ti Error | Ca | Ca Error | K | K Error | S | S Error | Ba | Ba Error | Zr | Zr Error | Sr | Sr Error | Rb | Rb Error | Th | Th Error | |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|-------|------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----|----------|----|----------|-----|----------|----|----------|----|----------|-------|----------|-------|----------|-----|---------|------|----------|--------|----------|-------|---------|------|---------|------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|----|----------|---|
| Roches sédimentaires et cénozoïques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 170 | 20/04/2017 10:46 | ASR 17 SOL N425 | 425 | SOL | t | 44.619504 | 2.107784 | 6457780,6 | 2762530,3 | 47 | 6 | 32 | 6 | 53 | 9 | 24 | 13 | 57 | 27 | 39857 | 342 | 435 | 67 | 183 | 43 | 5070 | 119 | 2269 | 134 | 22200 | 435 | 477 | 477 | 814 | 34 | 178 | 5 | 28 | 2 | 94 | 4 | 7 | 3 | |
| 173 | 20/04/2017 11:45 | ASP 17 SOL N428 | 428 | SOL | t | 44.611345 | 2.132326 | 6454980,2 | 2764991,5 | 67 | 7 | 23 | 6 | 62 | 129 | 11 | 21 | 12 | 37 | 37 | 36068 | 317 | 1420 | 89 | 123 | 46 | 7217 | 138 | 13256 | 256 | 16141 | 391 | 1416 | 439 | 278 | 28 | 245 | 6 | 57 | 3 | 74 | 4 | 5 | 3 |
| 252 | 26/04/2017 10:48 | ASP 17 SOL N499 | 499 | SOL | t | 44.603291 | 2.131187 | 6454053,8 | 2764262,7 | 33 | 6 | 25 | 5 | 62 | 9 | 18 | 18 | 61 | 26 | 33407 | 310 | 178 | 54 | 132 | 43 | 5883 | 125 | 820 | 147 | 50911 | 655 | 516 | 516 | 480 | 30 | 229 | 6 | 24 | 2 | 150 | 5 | 6 | 3 | |
| 253 | 26/04/2017 11:10 | ASP 17 SOL N500 | 500 | SOL | t | 44.6002 | 2.134368 | 6453436,2 | 2764433,6 | 62 | 7 | 35 | 6 | 238 | 14 | 23 | 12 | 34 | 34 | 22586 | 241 | 1744 | 80 | 40 | 40 | 3147 | 108 | 13418 | 244 | 24213 | 440 | 1406 | 398 | 663 | 29 | 132 | 4 | 28 | 2 | 70 | 3 | 5 | 3 | |
| 642 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1062 | 1062 | SOL | t | 44.568854 | 2.089666 | 6452494,7 | 2756435,9 | 303 | 10 | 12 | 12 | 300 | 14 | 16 | 10 | 45 | 22 | 3794 | 277 | 1099 | 64 | 141 | 38 | 4968 | 109 | 7342 | 185 | 3329 | 441 | 818 | 436 | 604 | 32 | 144 | 3 | 57 | 3 | 119 | 4 | 23 | 2 | |
| 649 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1058 | 1058 | SOL | t | 44.622615 | 2.087922 | 6452961,3 | 2760283,4 | 25 | 4 | 15 | 4 | 23 | 6 | 13 | 13 | 28 | 38 | 13949 | 160 | 112 | 30 | 30 | 3389 | 60 | 452 | 52 | 11487 | 189 | 275 | 105 | 30 | 184 | 4 | 23 | 2 | 61 | 3 | 7 | 2 | | | |
| 651 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1059 | 1059 | SOL | t | 44.628257 | 2.089189 | 6460225,4 | 2760852,8 | 35 | 4 | 6 | 6 | 83 | 8 | 15 | 9 | 28 | 28 | 9794 | 133 | 260 | 38 | 39 | 39 | 2229 | 70 | 11253 | 146 | 16525 | 229 | 1112 | 265 | 1799 | 38 | 87 | 3 | 50 | 2 | 65 | 3 | 4 | 2 | |
| 652 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1060 | 1060 | SOL | t | 44.61749 | 2.065452 | 6460597,1 | 2757110,2 | 18 | 3 | 5 | 3 | 16 | 5 | 12 | 12 | 26 | 26 | 3156 | 75 | 42 | 42 | 40 | 40 | 4256 | 76 | 1231 | 61 | 10342 | 179 | 542 | 219 | 872 | 29 | 226 | 4 | 23 | 2 | 42 | 2 | 8 | 2 | |
| 653 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1061 | 1061 | SOL | t | 44.613946 | 2.069005 | 6458985,3 | 2757294,4 | 69 | 6 | 19 | 6 | 116 | 10 | 21 | 11 | 55 | 23 | 32738 | 266 | 2886 | 95 | 75 | 30 | 3264 | 87 | 65267 | 457 | 31379 | 431 | 566 | 566 | 465 | 35 | 108 | 3 | 160 | 4 | 110 | 4 | 9 | 3 | |
| 164 | 20/04/2017 09:29 | ASR 17 SOL N424 | 422 | SOL | l | 44.590075 | 2.098155 | 6454790,6 | 2759185,6 | 44 | 6 | 17 | 6 | 192 | 11 | 19 | 19 | 60 | 27 | 30199 | 302 | 1922 | 104 | 42 | 42 | 2703 | 82 | 67355 | 506 | 33008 | 510 | 585 | 356 | 525 | 34 | 187 | 6 | 97 | 4 | 158 | 5 | 8 | 3 | |
| 269 | 20/04/2017 10:18 | ASR 17 SOL N424 | 424 | SOL | l | 44.597374 | 2.088622 | 6456396,1 | 2758530,0 | 45 | 6 | 79 | 8 | 140 | 12 | 19 | 19 | 69 | 27 | 43278 | 362 | 2572 | 118 | 155 | 46 | 4050 | 127 | 81625 | 665 | 20950 | 505 | 1839 | 565 | 505 | 32 | 126 | 5 | 131 | 4 | 61 | 4 | 4 | 3 | |
| 123 | 24/04/2017 19:00 | ASP 17 SOL N470 | 470 | SOL | l | 44.562026 | 2.091635 | 6451518,7 | 2756197,0 | 288 | 15 | 17 | 7 | 199 | 14 | 20 | 20 | 71 | 28 | 36262 | 342 | 3954 | 145 | 67 | 37 | 2430 | 104 | 167364 | 932 | 26013 | 566 | 943 | 533 | 674 | 36 | 102 | 5 | 77 | 4 | 79 | 4 | 6 | 6 | |
| 251 | 26/04/2017 10:05 | ASP 17 SOL N498 | 498 | SOL | l | 44.607703 | 2.111985 | 6455997,6 | 2762193,1 | 47 | 6 | 9 | 5 | 211 | 13 | 27 | 12 | 47 | 24 | 12992 | 186 | 1296 | 81 | 39 | 39 | 1785 | 76 | 131908 | 722 | 22550 | 458 | 1131 | 439 | 214 | 27 | 82 | 4 | 51 | 3 | 47 | 3 | 4 | 4 | |
| 264 | 26/04/2017 15:17 | ASP 17 SOL N510 | 510 | SOL | l | 44.582333 | 2.108718 | 6453055,3 | 2759937,3 | 307 | 14 | 17 | 17 | 315 | 16 | 18 | 18 | 36 | 36 | 23025 | 252 | 2496 | 109 | 54 | 54 | 2901 | 104 | 108726 | 717 | 22028 | 490 | 1956 | 536 | 333 | 28 | 90 | 4 | 65 | 3 | 53 | 3 | 5 | 5 | |
| 265 | 26/04/2017 15:34 | ASP 17 SOL N511 | 511 | SOL | l | 44.587914 | 2.105928 | 6453956,7 | 2759996,4 | 167 | 11 | 20 | 10 | 309 | 18 | 21 | 21 | 98 | 29 | 67355 | 474 | 14198 | 267 | 128 | 55 | 4856 | 153 | 17464 | 367 | 27877 | 626 | 854 | 563 | 732 | 34 | 195 | 6 | 43 | 3 | 106 | 5 | 5 | 5 | |
| 642 | 26/04/2018 00:00 | ASP18SOL1067 | 1067 | SOL | t | 44.588487 | 2.072579 | 6453988,2 | 2756171,9 | 90 | 7 | 28 | 6 | 188 | 12 | 48 | 11 | 45 | 22 | 39374 | 284 | 1475 | 72 | 119 | 37 | 4698 | 106 | 51322 | 418 | 19458 | 356 | 778 | 453 | 528 | 33 | 151 | 4 | 55 | 3 | 90 | 4 | 12 | 3 | |
| 174 | 20/04/2017 12:07 | ASP 17 SOL N429 | 429 | SOL | e | 44.607822 | 2.134431 | 6454386,1 | 2764956,7 | 52 | 6 | 19 | 6 | 75 | 9 | 17 | 17 | 36 | 26 | 21542 | 241 | 921 | 74 | 61 | 36 | 5899 | 110 | 13715 | 230 | 18862 | 371 | 432 | 331 | 281 | 6 | 42 | 3 | 93 | 4 | 10 | 3 | | | |
| 175 | 20/04/2017 12:25 | ASP 17 SOL N430 | 430 | SOL | e | 44.5991143 | 2.1394866 | 6452935,2 | 2764982,1 | 136 | 10 | 34 | 9 | 204 | 14 | 26 | 13 | 61 | 27 | 39840 | 348 | 2017 | 107 | 113 | 45 | 5969 | 131 | 6574 | 200 | 30315 | 520 | 711 | 380 | 713 | 34 | 254 | 6 | 49 | 3 | 93 | 4 | 10 | 3 | |
| 176 | 20/04/2017 13:45 | ASP 17 SOL N431 | 431 | SOL | e | 44.591852 | 2.147402 | 6451446,7 | 2765448,3 | 257 | 13 | 37 | 11 | 169 | 13 | 29 | 13 | 65 | 27 | 33899 | 316 | 1112 | 84 | 127 | 39 | 5054 | 112 | 4909 | 162 | 19760 | 400 | 896 | 358 | 553 | 32 | 183 | 5 | 39 | 3 | 73 | 4 | 6 | 4 | |
| 177 | 20/04/2017 13:58 | ASP 17 SOL N432 | 432 | SOL | e | 44.591916 | 2.152041 | 6451118,9 | 2766030,5 | 650 | 20 | 34 | 12 | 318 | 16 | 20 | 12 | 57 | 25 | 25290 | 267 | 1675 | 94 | 121 | 43 | 6264 | 126 | 1595 | 113 | 15290 | 362 | 840 | 363 | 400 | 29 | 259 | 6 | 27 | 2 | 67 | 4 | 7 | 7 | |
| 178 | 20/04/2017 14:14 | ASP 17 SOL N433 | 433 | SOL | e | 44.594086 | 2.15422 | 6451232,9 | 2766459,8 | 348 | 14 | 62 | 12 | 304 | 15 | 18 | 12 | 35 | 35 | 31787 | 287 | 2276 | 102 | 104 | 61 | 4560 | 164 | 9941 | 251 | 28665 | 547 | 2998 | 587 | 881 | 30 | 154 | 5 | 57 | 3 | 89 | 4 | 7 | 4 | |
| 179 | 20/04/2017 14:26 | ASP 17 SOL N434 | 434 | SOL | e | 44.596909 | 2.158708 | 6451098,7 | 2767129,4 | 118 | 9 | 28 | 8 | 137 | 12 | 18 | 18 | 66 | 26 | 25855 | 273 | 1558 | 93 | 101 | 38 | 6441 | 115 | 4614 | 145 | 17806 | 352 | 524 | 297 | 426 | 30 | 371 | 7 | 40 | 3 | 84 | 4 | 11 | 3 | |
| 216 | 21/04/2017 07:40 | ASP 17 SOL N463 | 463 | SOL | e | 44.525988 | 2.135914 | 6444025,8 | 2759223,3 | 128 | 10 | 23 | 8 | 161 | 13 | 23 | 13 | 61 | 26 | 29629 | 293 | 957 | 79 | 93 | 41 | 4827 | 117 | 9280 | 226 | 39013 | 570 | 845 | 379 | 917 | 34 | 228 | 6 | 204 | 5 | 154 | 5 | 14 | 4 | |
| 224 | 25/04/2017 18:07 | ASP 17 SOL N471 | 471 | SOL | e | 44.496092 | 2.109095 | 6442216,8 | 2753706,9 | 40 | 6 | 20 | 6 | 92 | 10 | 18 | 18 | 62 | 26 | 27343 | 281 | 715 | 71 | 83 | 33 | 3270 | 94 | 60662 | 496 | 20519 | 425 | 650 | 374 | 448 | 320 | 31 | 234 | 6 | 103 | 4 | 88 | 4 | 9 | 3 |
| 225 | 25/04/2017 08:54 | ASP 17 SOL N472 | 472 | SOL | e | 44.498462 | 2.104507 | 6442845,6 | 2753307,3 | 99 | 8 | 18 | 7 | 60 | 8 | 18 | 18 | 50 | 25 | 18105 | 222 | 696 | 67 | 50 | 50 | 4294 | 89 | 9636 | 201 | 29571 | 451 | 649 | 312 | 586 | 30 | 301 | 6 | 91 | 4 | 92 | 4 | 9 | 3 | |
| 226 | 25/04/2017 09:06 | ASP 17 SOL N473 | 473 | SOL | e | 44.504998 | 2.113783 | 6442913,4 | 2754853,2 | 48 | 6 | 32 | 6 | 84 | 10 | 17 | 17 | 50 | 26 | 32097 | 301 | 1429 | 89 | 92 | 41 | 4601 | 118 | 8883 | 222 | 23107 | 466 | 786 | 396 | 349 | 28 | 350 | 7 | 61 | 3 | 94 | 4 | 10 | 3 | |
| 227 | 25/04/2017 09:24 | ASP 17 SOL N474 | 474 | SOL | e | 44.512729 | 2.113472 | 6443212,4 | 2756282,3 | 306 | 8 | 39 | 13 | 129 | 16 | 21 | 21 | 36 | 36 | 3418 | 324 | 855 | 71 | 46 | 46 | 2007 | 144 | 846 | 308 | 1416 | 322 | 322 | 306 | 28 | 241 | 6 | 61 | 3 | 101 | 4 | 12 | 3 | | |
| 228 | 25/04/2017 09:39 | ASP 17 SOL N475 | 475 | SOL | e | 44.512747 | 2.112134 | 6444649,6 | 2756244,4 | 70 | 8 | 34 | 7 | 121 | 12 | 22 | 14 | 71 | 30 | 57482 | 435 | 1580 | 104 | 141 | 45 | 5901 | 130 | 3636 | 163 | 23746 | 472 | 513 | 513 | 670 | 36 | 302 | 7 | 104 | 4 | 127 | 5 | 14 | 4 | |
| 229 | 25/04/2017 09:51 | ASP 17 SOL N476 | 476 | SOL | e | 44.531665 | 2.136434 | 6444699,7 | 2759 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Centre scientifique et technique
Direction Eau, Environnement & Écotechnologies
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr