

***EVALUATION DU NIVEAU DE
CONTAMINATION DES 4 SECTEURS DE
STOCKAGE DE RESIDUS MINIERES ET DE
LAVERIE DU DISTRICT DE PONTGIBAUD
(SECTEURS DE « PONTGIBAUD STADE »,
ROURE/ LES ROSIERS, BARBECOT ET
BASSINS DE PRANAL)***




DIFFUSION :

Dominique NIEMIEC
Jacques BUSSET
Hafid BAROUDI
Dominique MIDOT

DRIRE Auvergne (4 ex.)
Pôle Après-Mine Sud
GEODERIS D
GEODERIS D

Réf : GEODERIS S 2008/85DE - 08AUV3120

Date : 20/10/08

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Ph. Baranger	A. Dommanget	A. Dommanget
Visa			

***EVALUATION DU NIVEAU DE
CONTAMINATION DES 4 SECTEURS DE
STOCKAGE DE RESIDUS MINIERS ET DE
LAVERIE DU DISTRICT DE PONTGIBAUD
(SECTEURS DE « PONTGIBAUD STADE »,
ROURE/ LES ROSIERS, BARBECOT ET
BASSINS DE PRANAL)***

SOMMAIRE

1. Introduction.....	4
1.1 Contexte	4
2. Objectif.....	7
3. Méthodes analytiques.....	7
3.1. Les mesures de terrain.....	7
3.2. Les mesures de laboratoire.....	11
4. Résultats	11
4.1. Polluants considérés et cartes de répartition spatiale des teneurs en polluants	11
4.1.1. Polluants considérés.....	11
4.1.2. Cartes de répartition spatiale des teneurs en polluants	11
4.2. Description générale des résultats	11
4.3. Description détaillée des résultats	11
4.3.1. Le fond géochimique local.....	11
4.3.2. Le secteur de dépôts de « Pontgibaud stade ».....	11
4.3.3. Le secteur de Roure/les Rosiers	11
4.3.4. Le secteur de Barbecot.....	11
4.3.5. Secteur de Pranal.....	11
5. Conclusion générale	11
Références bibliographiques.....	11

Mots clés : Pontgibaud, Roure/les Rosiers, Barbecot, Pranal, plomb, arsenic, résidus de traitement, environnement

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Plan des différents secteurs étudiés (Géodéris 2005)	72
Annexe 2 : Résultats des mesures NITON®	79
Annexe 3 : Résultats des analyses de solides réalisées au laboratoire Comparaison avec les mesures de fluorescence X	84
Annexe 4 : Résultats des analyses d'eau	87
Annexe 5 : La mesure NITON®	91

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La DRIRE Auvergne a demandé à Géoderis d'évaluer le niveau de contamination des 4 secteurs de stockage de résidus miniers et de laverie du district de Pontgibaud (secteurs de « Pontgibaud stade », Roure/les Rosiers, Barbecot et bassins de Pranal).

Ce district est situé en Auvergne. Il est localisé à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Clermont Ferrand. Il s'inscrit, pour l'essentiel, sur les communes de Montfermy, Chapdes-Beaufort, Bromont-Lamothe, Pontgibaud et St Pierre le Chastel (figure 1). Les quatre secteurs étudiés se répartissent sur les concessions de Roure et de Barbecot (figure 1). La substance principale exploitée est le plomb.

Le district à Plomb – Argent de Pontgibaud est formé d'un faisceau filonien nord – sud, encadré de deux faisceaux latéraux, l'un à fluorine à l'ouest, l'autre plus arsénié à l'est. Cette structure d'importance régionale, longue d'une quarantaine de kilomètres et mise en place à la fin du cycle hercynien, est encaissée dans les schistes cristallins de "l'anticlinal de Pontgibaud". Elle est recoupée par la haute vallée de la Sioule. Celle-ci longe d'abord toute la partie est de la concession de Roure, puis elle se situe en position médiane des concessions de Barbecot et des Combres.

Sur la concession de Roure, les gîtes sont constitués par des filons de galène argentifère avec pyrite et blende, de direction générale N-10°E et encaissés dans des gneiss et micaschistes. Cette concession initialement accordée sur un cercle de 2400 toises de rayon par Lettres Patentes du 25/04/1789, vit sa superficie changée par décret impérial du 11/08/1866 et portée à 51,84 km². La renonciation fut acceptée par Arrêté Ministériel du 24/02/1939. Les premiers travaux remontent au XVIème siècle, puis ils se développèrent à partir de 1790. Au XIXème siècle et en allant du Sud au Nord l'exploitation porta sur les mines de Roure (plusieurs kms de galeries), Rosiers (1838-83, production de 200 T/mois de minerai à 47 % de Pb et 1 Kg/T d'Ag à l'apogée en 1861 avec 600 ouvriers), La Grange (1859-76 recherche et exploitation), Mioche (1856-92), La Brousse (qui fut la plus productive, 1866-97), et Pranal (située à cheval sur la concession de Barbecot) .

La concession de Barbecot située à l'extrémité Nord du réseau filonien de Pontgibaud montre une minéralisation constituée de galène argentifère avec traces de blende, pyrite, bournonite, et tétraédite. Elle a été octroyée par Lettres Patentes du 17/06/1783 ; cette autorisation de 1783 fut échue à la parution de la Loi du 21/04/1810 ; elle fut re-octroyée par Ordonnance Royale du 06/12/1826 puis renoncée par Arrêté Ministériel du 24/02/1939. Sans grande activité avant 1838, 3 mines furent développées après cette date : Pranal (arrêtée en 1893), Barbecot et Brots (abandonnées en 1860). La production durant la période la plus active (1853-60) atteignit 50 T de minerai lavé par mois, à 48-52 % de

Pb et 960-1170 gr d'Ag à la tonne. Ces mines, comme celles de Roure, alimentaient la fonderie exploitée près de Pontgibaud.

Le minerai était traité dans plusieurs laveries situées au niveau des secteurs de « Pontgibaud stade », de Roure/Les Rosiers et de Barbecot. Le traitement a laissé des quantités importantes de résidus fins, fortement contaminés.

La présente étude a essentiellement porté sur l'inventaire et la caractérisation de l'ensemble de ces résidus. Elle a été axée sur une campagne de mesures NITON[®] afin de quantifier, dans les terrains superficiels, les teneurs en éléments métalliques et métalloïdes les plus caractéristiques (Pb, As, Zn, Ag, ...). Quelques analyses d'eaux superficielles ont également été effectuées afin d'estimer l'impact potentiel des résidus sur le réseau hydrographique local.

L'ensemble de ces mesures a été utilisé pour évaluer le niveau de contamination des secteurs concernés. Il constitue également un jeu de données qui pourra être directement utilisé sans le cadre de l'Inventaire des Risques Miniers liés à la pollution (IRM « pollution et gaz »). La méthodologie relative à cet inventaire est actuellement en cours d'achèvement dans le cadre d'un groupe de travail INERIS, BRGM, GEODERIS, MEEDDAT.

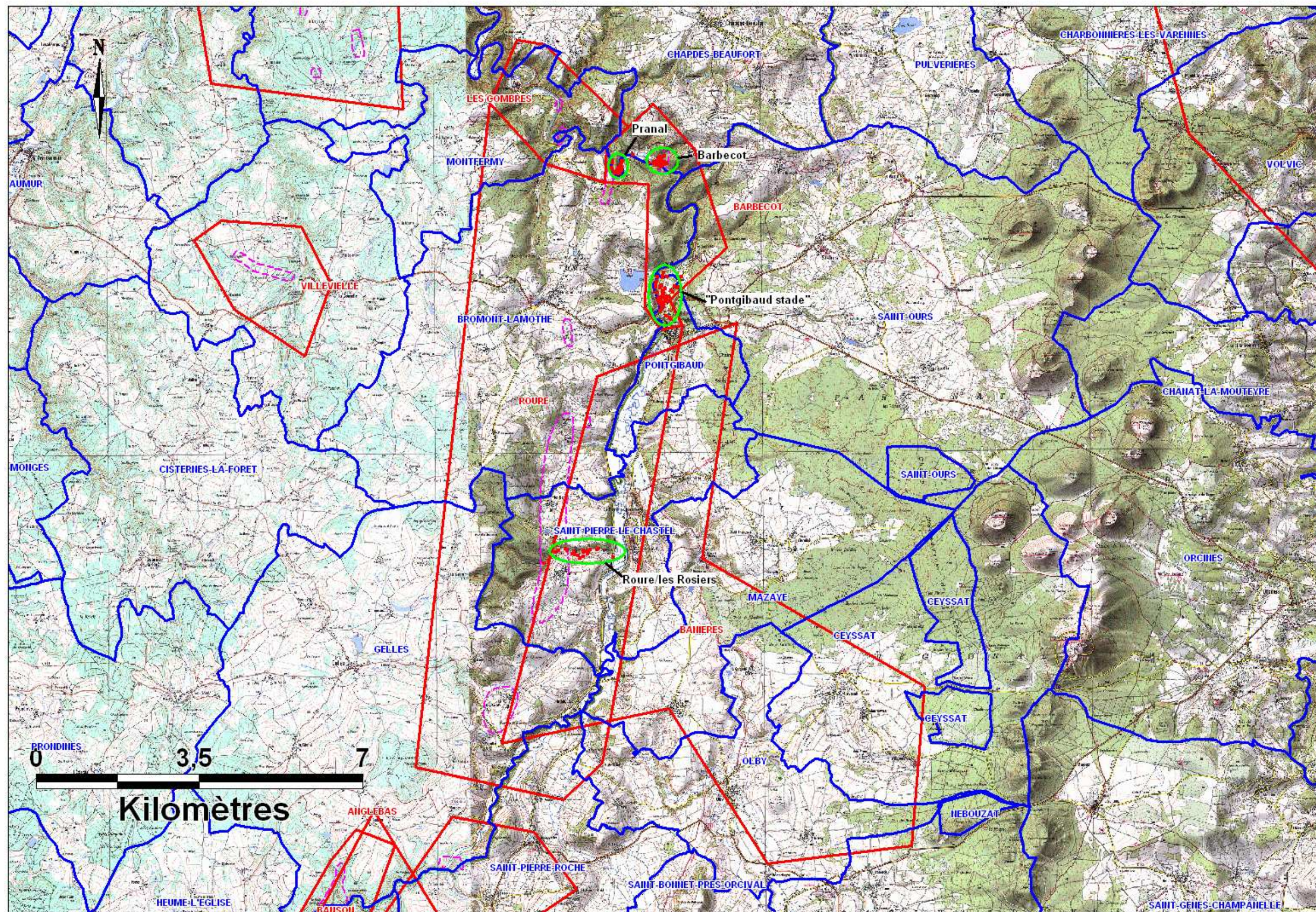


Figure 1 : Position géographique des secteurs étudiés (en rouge limite de concession ; en bleu limite de commune)

2. OBJECTIF

Il convient avant tout de rappeler que l'objectif de ce travail est d'établir un constat de la pollution liée à l'ancienne activité minière et éventuellement d'émettre un certain nombre de préconisations simples destinées à limiter l'impact sanitaire et environnemental des secteurs étudiés. Il ne s'agit en aucun cas d'une étude de risque dont le déroulement répond à une méthodologie bien spécifique. Il ne s'agit pas non plus d'une étude destinée à une évaluation de l'aléa environnemental.

3. METHODES ANALYTIQUES

Ce volet relatif à l'environnement a été basé sur une campagne de mesures effectuée entre le 10 et le 14 mars 2008 (BRGM/Note-2008-350-EPI-CEE).

L'évaluation du niveau de contamination des différents secteurs étudiés est à la fois basée sur le dosage des principaux polluants liés à l'ancienne activité minière et sur l'analyse de la répartition spatiale des solides contaminés (sols, sédiments et résidus miniers). Elle intègre un grand nombre de mesures de terrain et quelques analyses de laboratoire. Ces investigations ont par ailleurs été complétées par plusieurs analyses d'eau de surface. A signaler que la problématique des eaux souterraines n'a pas ici été abordée (à l'exception du puits Sainte Barbe et de la galerie qui passe sous le terril de Barbecot) compte tenu du manque de données sur les contextes hydrogéologiques locaux des sites.

3.1. LES MESURES DE TERRAIN

Comme nous l'avons déjà précisé ci-dessus, les mesures ont été menées grâce à une technique légère d'analyse de terrain alliant à la fois avantages de coût et de rapidité (spectromètre portable de fluorescence X : analyse NITON[®]). Les caractéristiques de l'appareil utilisé, les droites de calibration ainsi que les spécificités et les limites de la mesure NITON[®] sont présentées en annexe 5. Il convient de rappeler ici qu'il s'agit de mesures de surface qui permettent d'estimer les teneurs en polluant directement mises en jeu en cas d'exposition directe de la cible avec le solide contaminé (résidu minier, sol, sédiment).

La campagne de terrain a été effectuée par le spécialiste de la mesure NITON[®] du BRGM, accompagné du responsable de l'opération Géoderis. Le positionnement des points de mesure est présenté sur les figures 2 à 5. Les résultats de mesures sont quant à eux reportés en annexe 2.

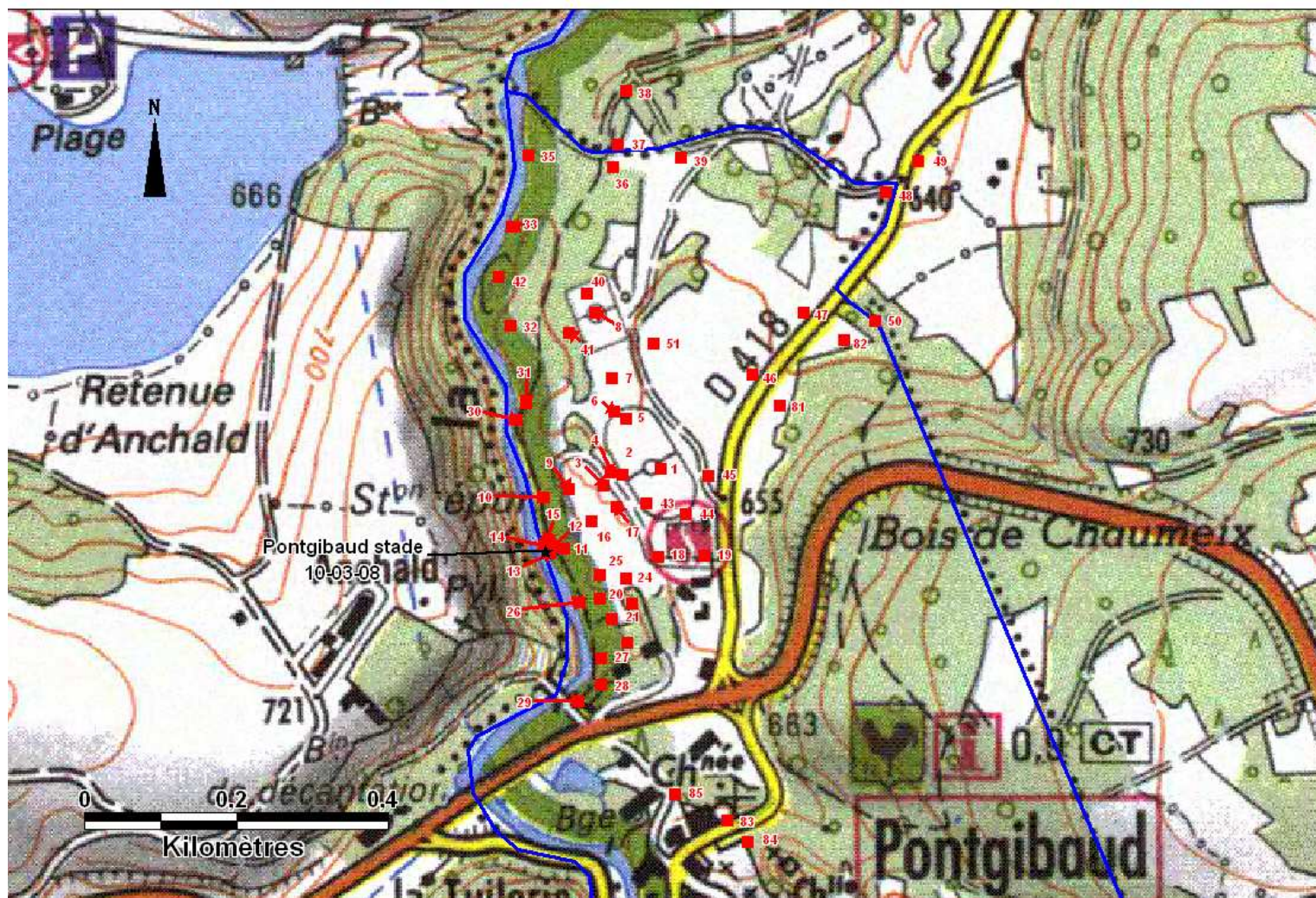


Figure 2 : Positionnement des points de mesures NITON® (points rouges) et des prélèvements d'eau (étoile noire) pour le secteur de « Pontgibaud stade »

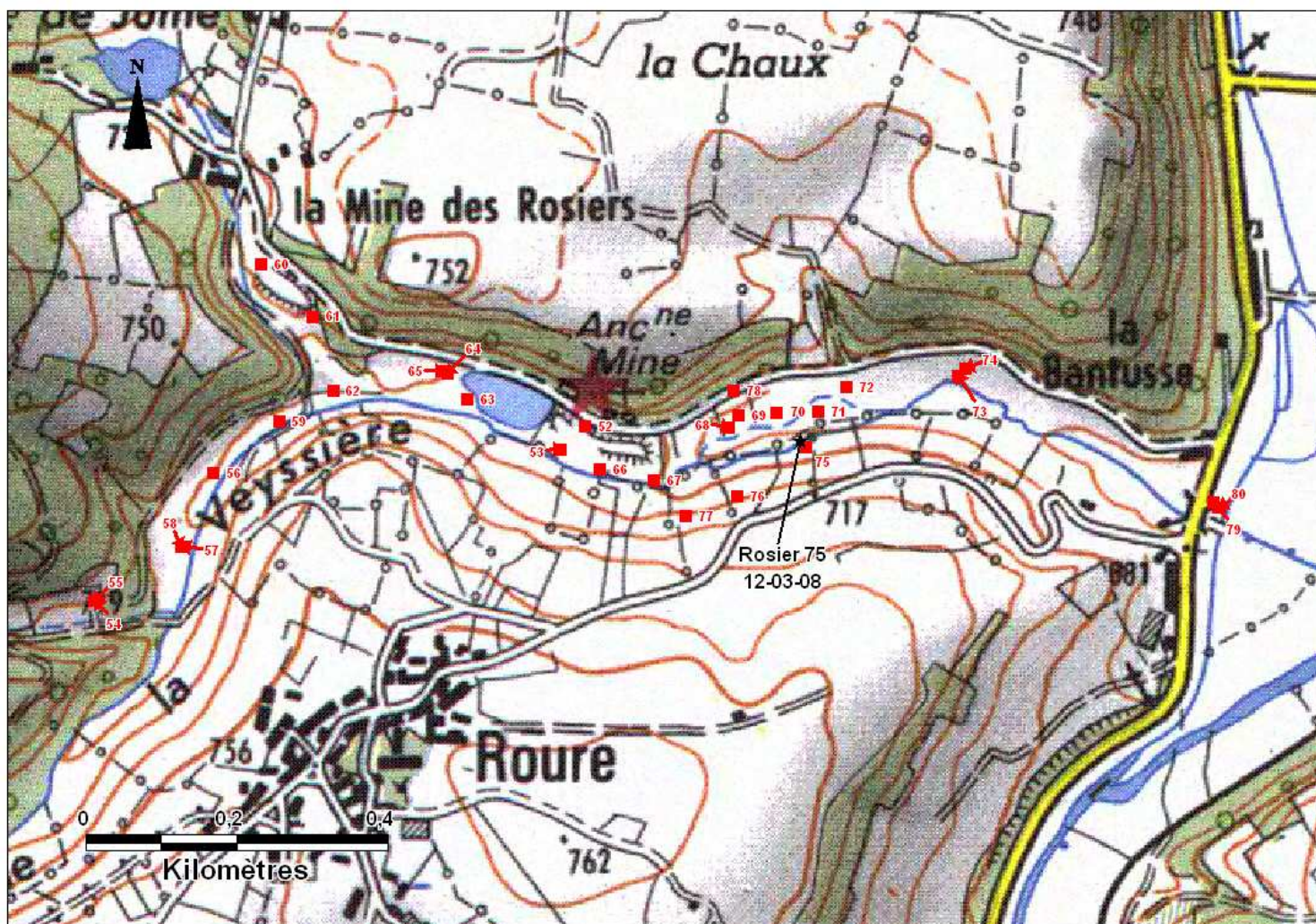


Figure 3 : Positionnement des points de mesures NITON® (points rouges et des prélèvements d'eau (étoile noire) pour le secteur de Roure/les Rosiers

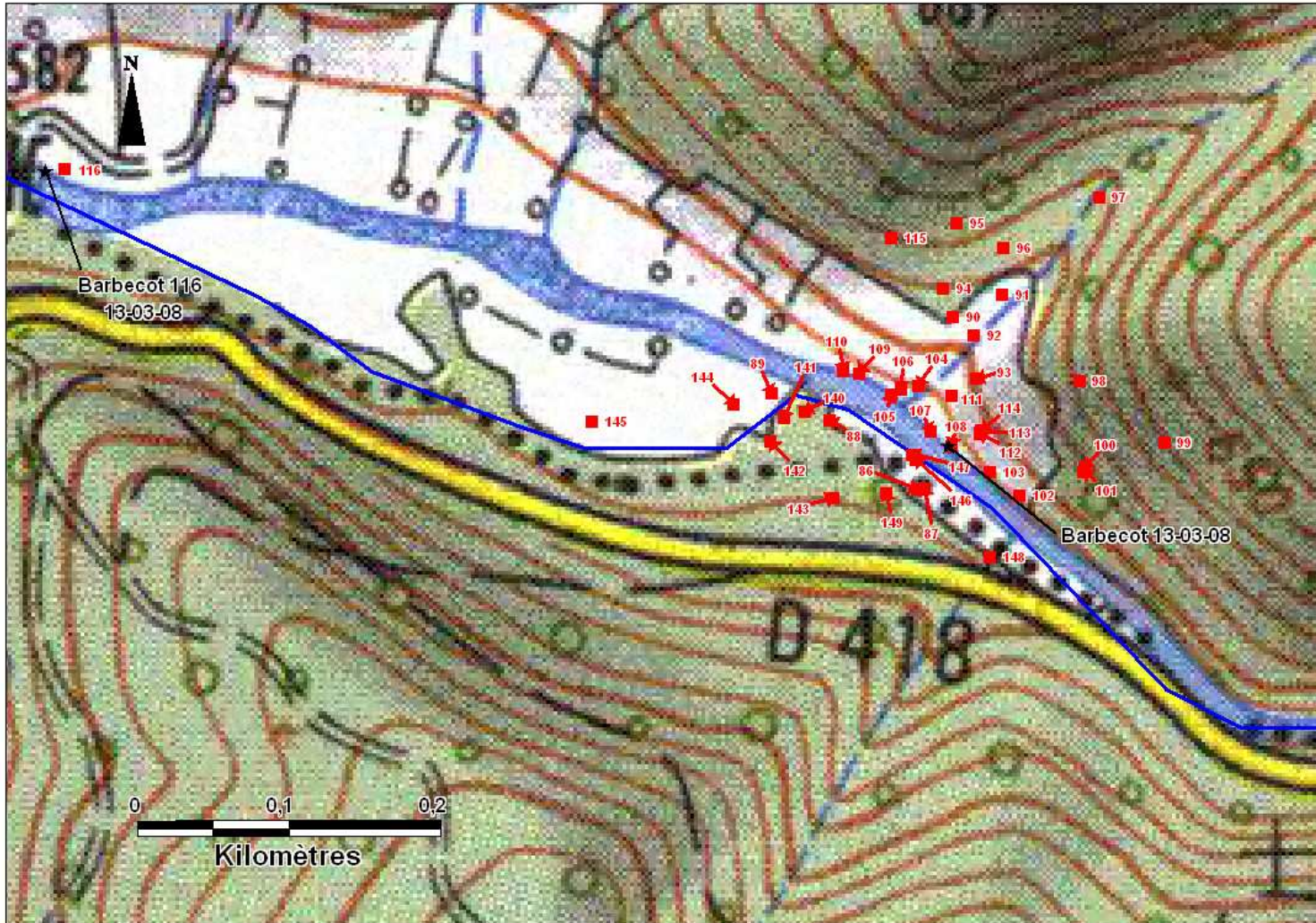


Figure 4 : Positionnement des points de mesures NITON® (points rouges et des prélèvements d'eau (étoile noire) pour le secteur de Barbecot

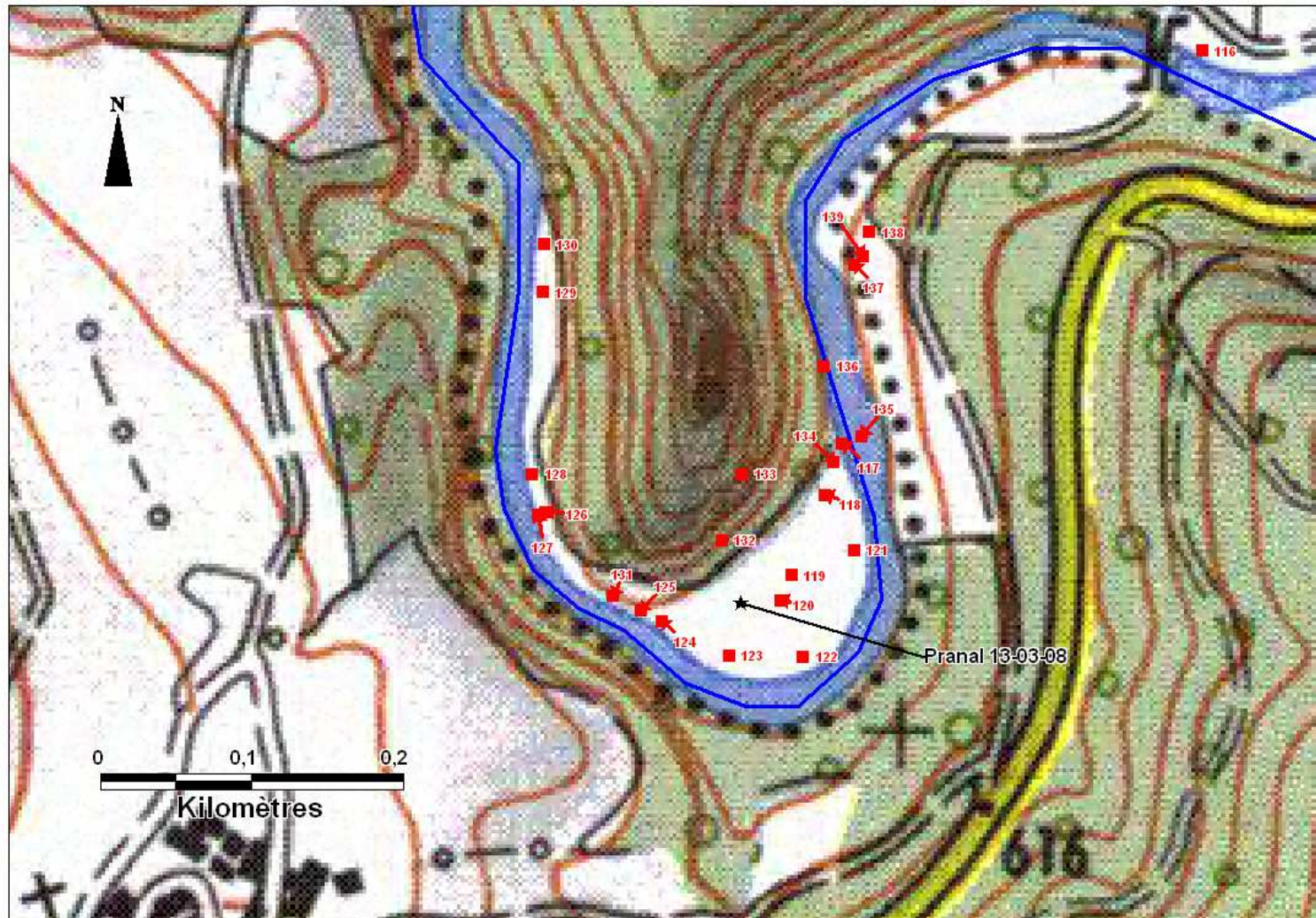


Figure 5 : Positionnement des points de mesures NITON® (points rouges et des prélèvements d'eau (étoile noire) pour le secteur de Pranal

Pour les eaux, chaque point a fait l'objet d'une mesure sur site de la température, du pH et de la conductivité. Il a également fait l'objet d'un prélèvement en vue d'une analyse de laboratoire plus complète. Ce dernier été effectué selon les protocoles en vigueur incluant une filtration sur site à 0.2 µm. La position des points de prélèvement est reportée sur les figures 2 à 5 et les résultats des analyses chimiques sont reportés en annexe 4.

3.2. LES MESURES DE LABORATOIRE

Pour les solides, les analyses de laboratoire ont été réalisées par des méthodes classiques de type ICP/AES et Adsorption Atomique selon les protocoles en vigueur.

Pour les eaux, les cations majeurs ont été dosés par ICP, l'alcalinité par potentiométrie, les chlorures et les sulfates par chromatographie ionique et les éléments traces par ICP/MS. Le mercure a été dosé par spectrométrie de fluorescence atomique.

4. RESULTATS

4.1. POLLUANTS CONSIDERES ET CARTES DE REPARTITION SPATIALE DES TENEURS EN POLLUANTS

4.1.1. Polluants considérés

Dans le cadre de cette étude, nous avons basés la démarche interprétative sur les polluants suivants : Pb, As, Zn, Sb, Sn, Cd, Cr, Cu et Ag.

Le degré de fiabilité des teneurs mesurées a toutefois été modulé selon le polluant considéré. Ainsi ce degré peut être considéré comme satisfaisant pour le plomb et le zinc, comme en témoigne la qualité des droites de calibration présentées en annexe 5. Pour ces deux polluants, nous baserons donc l'interprétation sur les valeurs brutes fournies par la mesure.

Pour l'arsenic la droite de calibration s'avère moins satisfaisante que pour le plomb et le zinc. Nous rappelons en effet que la technique de mesure utilisée ne permet pas toujours un dosage fiable de l'arsenic lorsque les teneurs en plomb sont élevées (problèmes d'interférences entre les spectres du plomb et de l'arsenic). Pour de tels environnements, nous prenons donc habituellement le parti de ne pas considérer les teneurs en arsenic comme de strictes valeurs numériques, mais plutôt comme des valeurs relatives qui sont le reflet d'une tendance globale indiquant ou non une forte contamination. Dans le cas présent (fortes teneurs en plomb), nous adopterons cette approche, même si le coefficient de corrélation de la droite de calibration de l'arsenic apparaît satisfaisant ($R^2 = 0.93$; annexe 5). L'observation de la figure 3 de l'annexe 5 montre en effet que la valeur de ce

coefficient ne reflète pas réellement la qualité de la corrélation puisqu'elle est uniquement pilotée par deux groupes de points situés respectivement dans les fortes et les faibles concentrations. Pour la suite de ce travail nous nous contenterons donc simplement de signaler les fortes contaminations en arsenic tout en donnant un ordre de grandeur des teneurs estimées à partir des valeurs réelles mesurées. Compte tenu du nombre important de points de mesure réalisés et compte tenu des teneurs en arsenic qui s'avèrent souvent élevées à très élevées, nous avons malgré tout jugé bon de conserver ces valeurs dans le tableau de l'annexe 2, mais ceci à titre purement indicatif. Aussi, même si les teneurs affichées restent peu précises, ce type d'approche permet en tout état de cause de cerner les zones fortement contaminées en arsenic du fait du grand nombre de points de mesure réalisé sur l'ensemble des secteurs investigués.

Enfin, pour les autres polluants où il n'a pas été possible d'établir les droites de calibration (à l'exception de l'antimoine qui montre de toute façon une corrélation moins satisfaisante que le plomb et le zinc), il convient de noter que des travaux destinés à évaluer les performances du NITON[®] au niveau des analyses de sol ont montré que le dosage de tous ces polluants par le NITON[®] pouvait être considérée comme relativement fiable au vu des droites de calibration obtenues (Laperche, 2005). Toutefois, dans la mesure où nous ne disposons d'aucune droite de calibration intégrant des échantillons prélevés sur le district de Pontgibaud, nous avons choisi d'adopter la même démarche que pour l'arsenic. Pour ces polluants, nous baserons donc l'interprétation sur des ordres de grandeur estimés à partir des valeurs réelles mesurées. Là encore, les teneurs de ces polluants ne seront pas considérées comme de strictes valeurs numériques, mais plutôt comme des valeurs relatives qui vont être le reflet d'une tendance globale indiquant ou non une contamination.

4.1.2. Cartes de répartition spatiale des teneurs en polluants

Nous avons choisi d'établir ce type de carte pour les deux polluants que nous considérons comme majeurs sur les quatre secteurs étudiés. Il s'agit du plomb et de l'arsenic. Ces cartes sont représentées sur les figures 6 à 13.

Compte tenu des résultats obtenus dans le cadre de cette étude et compte tenu de ceux qui ont déjà été acquis dans d'autres études réalisées sur d'anciens sites miniers pollués au plomb dans la région Languedoc-Roussillon (Malines, Bleynard, Loubatière, La croix de Pallière...), nous avons choisi de classer arbitrairement les teneurs en plomb selon quatre gammes principales définies comme suit :

- 0 - 500 ppm : gamme rassemblant les teneurs les moins élevées (appelée niveau faible)

- 500 - 2000 ppm : gamme rassemblant les teneurs intermédiaires (appelée niveau intermédiaire ou moyen)
- 2000 - 3000 ppm : gamme rassemblant les teneurs élevées (appelée niveau élevé)
- > 3000 ppm : gamme rassemblant les teneurs les plus élevées (appelé niveau très élevé)

Comme pour le plomb et compte tenu de l'expérience acquise sur d'autres sites miniers présentant des contaminations en arsenic, nous avons choisi de classer arbitrairement les teneurs de ce polluant selon quatre gammes principales définies comme suit :

- 0 - 50 ppm : niveau faible
- 50 - 100 pp : niveau intermédiaire moyen
- 100 - 200 ppm : niveau élevé
- > 200 ppm : niveau très élevé.

Que ce soit pour le plomb ou l'arsenic, il convient de préciser ici que ces gammes de teneurs ne sont pas basées sur un référentiel de valeurs seuils réglementaires qui, à ce jour, n'existe pas au niveau français. Elles doivent être interprétées comme un simple classement de valeurs établi sur la base de l'expérience déjà acquise sur d'autres sites miniers contaminés par ces polluants. En d'autres termes elles n'ont pas pour vocation d'être utilisées pour l'évaluation d'un impact sanitaire potentiel. Elles ont simplement été définies pour établir une zonation de la pollution en délimitant les secteurs les plus impactés par l'activité minière. Il ne s'agit ici en aucun cas d'établir une cartographie précise des teneurs en polluants. Ceci s'avère d'autant plus vrai pour des éléments tels que l'arsenic où les teneurs mesurées ne peuvent être considérées que comme des valeurs relatives, reflet d'une tendance globale indiquant ou non une contamination.

4.2. DESCRIPTION GENERALE DES RESULTATS

Comme nous l'avons déjà signalé, l'essentiel des mesures a été concentré sur les principaux secteurs de stockage de déchets miniers :

- Le secteur localisé à proximité du stade de Pontgibaud (secteur de « Pontgibaud stade »)
- Le secteur de Roure /les Rosiers
- Le secteur de Barbecot
- Le secteur de Pranal

Quelques mesures ont aussi été effectuées à l'écart de ces secteurs de dépôt de façon à apprécier d'une part, le fond géochimique local et d'autre part, l'impact des déchets miniers sur les sols qui sont situés à proximité immédiate des zones de stockage.

L'analyse des résultats des mesures NITON[®] montre, comme on pouvait s'y attendre, que le plomb est le polluant qui présente les teneurs les plus élevées. Ces dernières sont très variables puisque sur l'ensemble des secteurs analysés, elles s'échelonnent entre 42 ppm et des valeurs de l'ordre de 80000 ppm. Le plomb peut être localement accompagné de teneurs très élevées en arsenic (jusqu'à environ 8000 ppm). On trouve également des teneurs élevées en antimoine, en étain, en cuivre, en cadmium et en argent. Pour presque tous les points de mesure les teneurs en chrome sont élevées puisqu'à l'exception de 7 points sur les 150 réalisés, elles sont toutes supérieures à 100 ppm. Enfin, si l'on se réfère aux études effectuées sur d'autres sites miniers de même type, les teneurs en zinc restent quant à elles globalement peu élevées. Mis à part quelques exceptions, les valeurs enregistrées sont souvent inférieures à 2000 ppm.

Les analyses de laboratoire effectuées dans le cadre de travaux antérieurs (Rougeaud et Sauter, 1984 ; ANTEA, 1995 ; Géodéris, 2005) avaient par ailleurs montré une forte contamination en baryum de la plupart des échantillons analysés. Cette dernière est ici confirmée par les quelques analyses de laboratoire effectuées sur les échantillons prélevés dans les quatre secteurs étudiés (annexe 3). A noter ici que le baryum n'a pas été retenu au niveau des éléments dosés par le NITON[®].

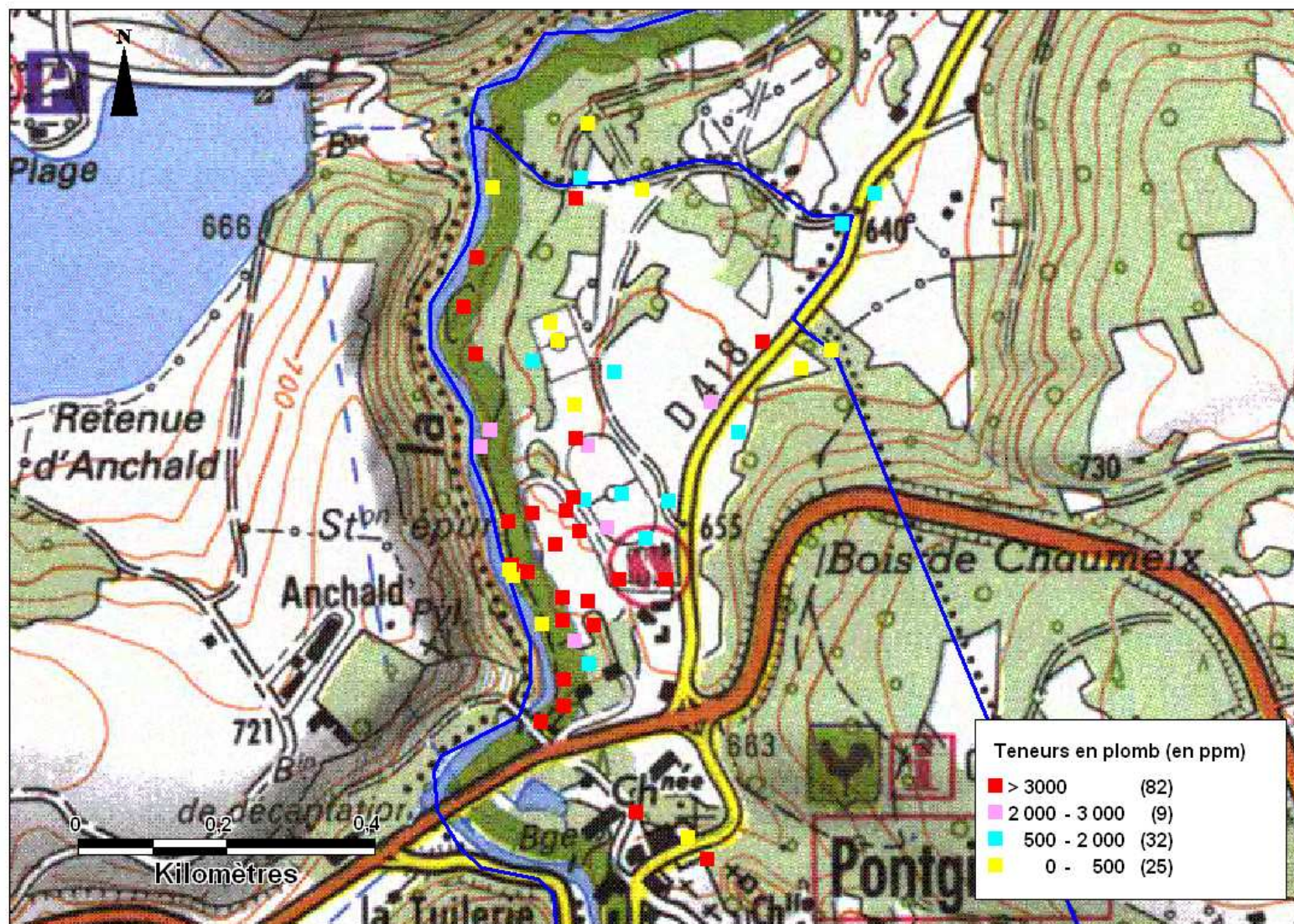


Figure 6 : Carte de répartition spatiale des teneurs en plomb pour le secteur de « Pontgibaud stade »

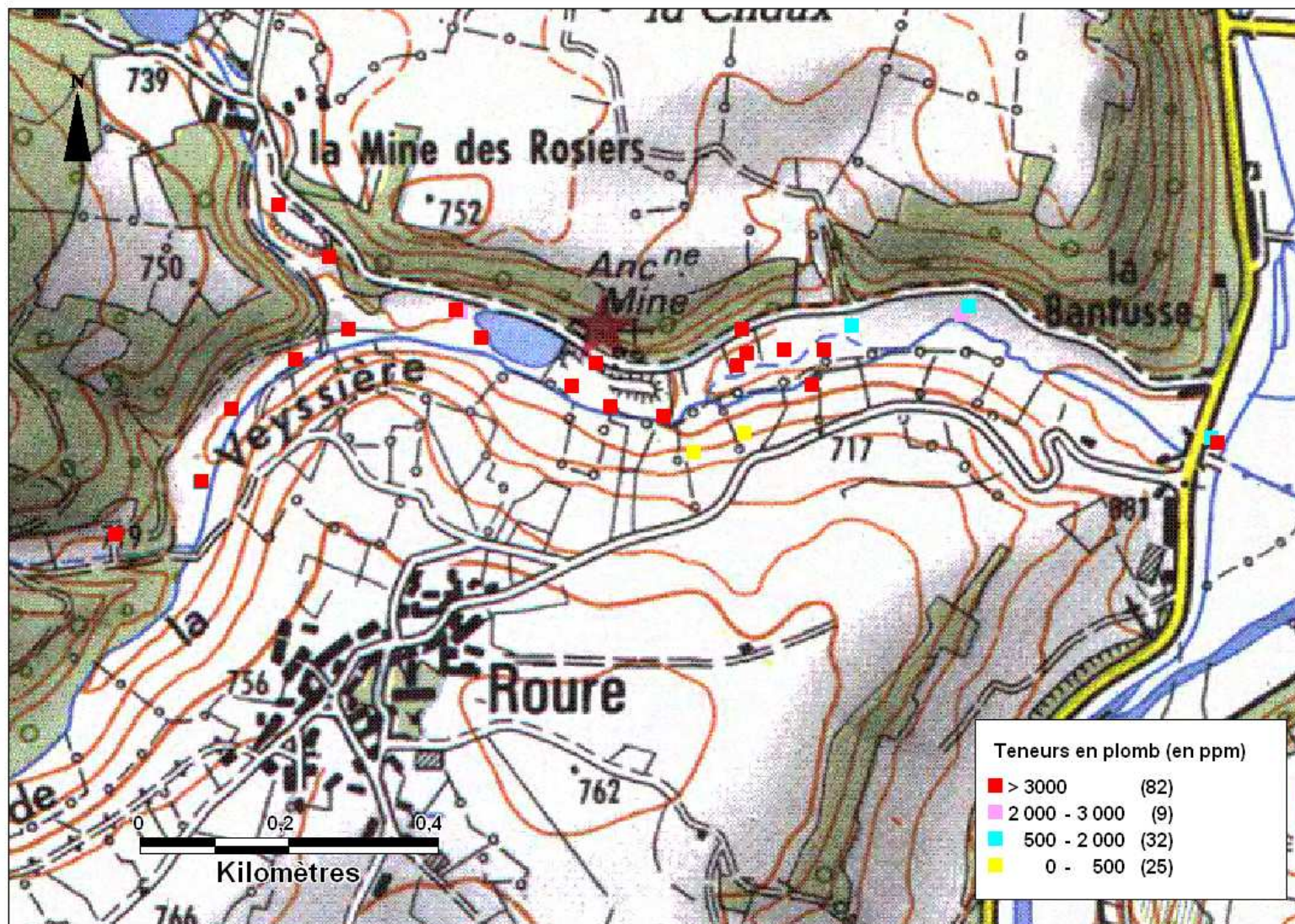


Figure 7 : Carte de répartition spatiale des teneurs en plomb pour le secteur de Roure/les Rosiers

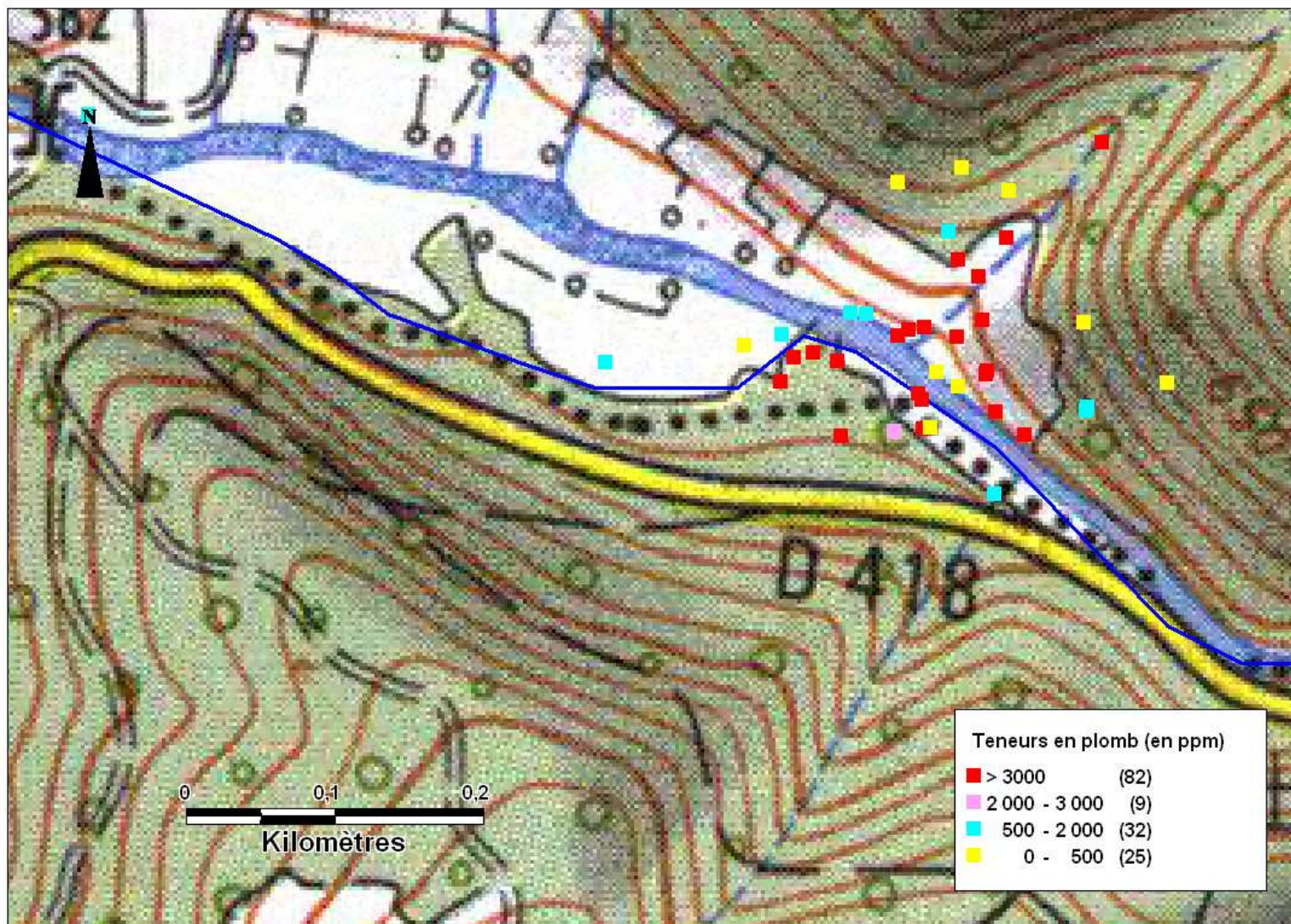


Figure 8 : Carte de répartition spatiale des teneurs en plomb pour le secteur de Barbécot

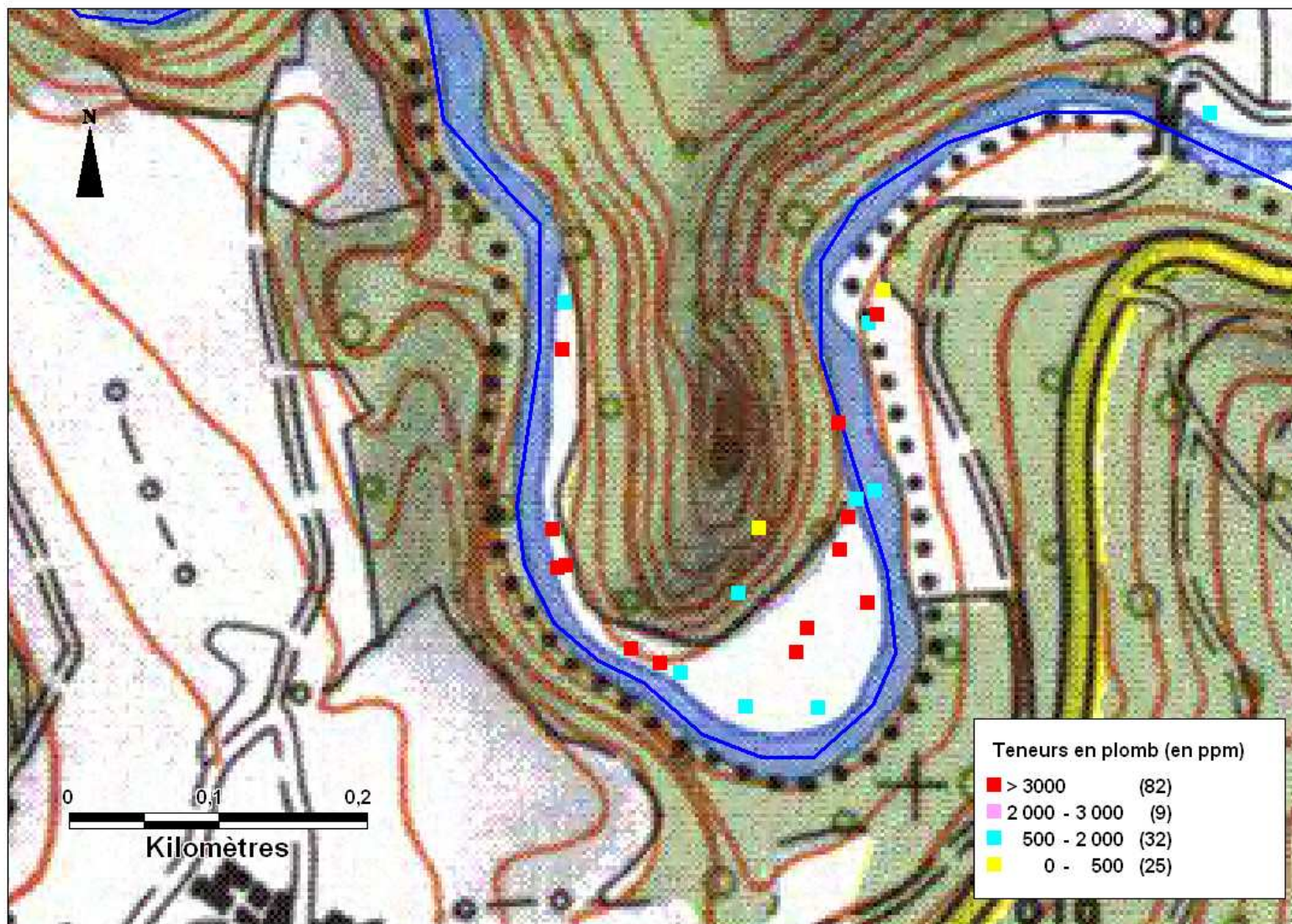


Figure 9 : Carte de répartition spatiale des teneurs en plomb pour le secteur de Pranal

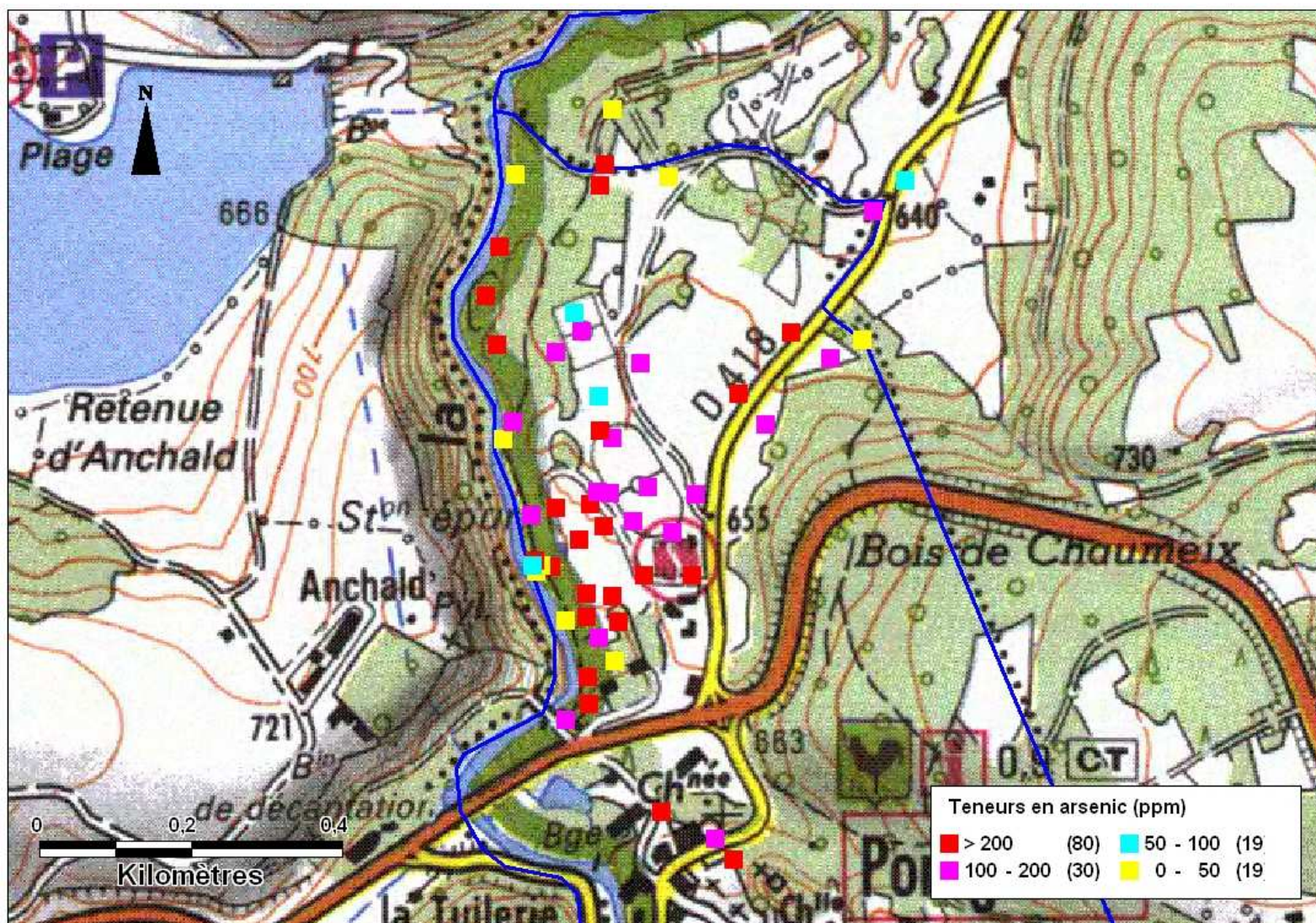


Figure 10 : Carte de répartition spatiale des teneurs en arsenic pour le secteur de « Pontgibaud stade »

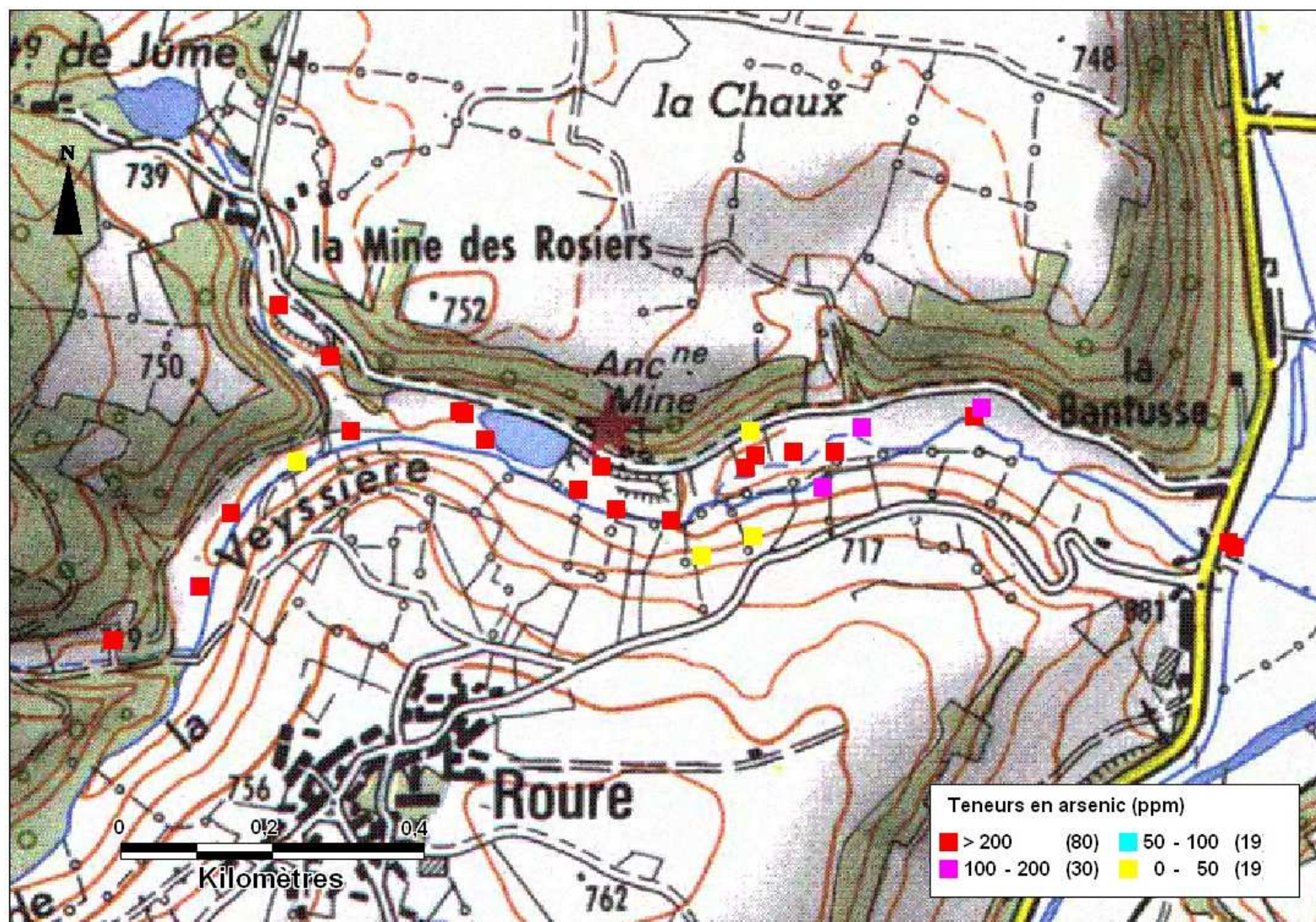


Figure 11 : Carte de répartition spatiale des teneurs en arsenic pour le secteur de Roure/les Rosiers

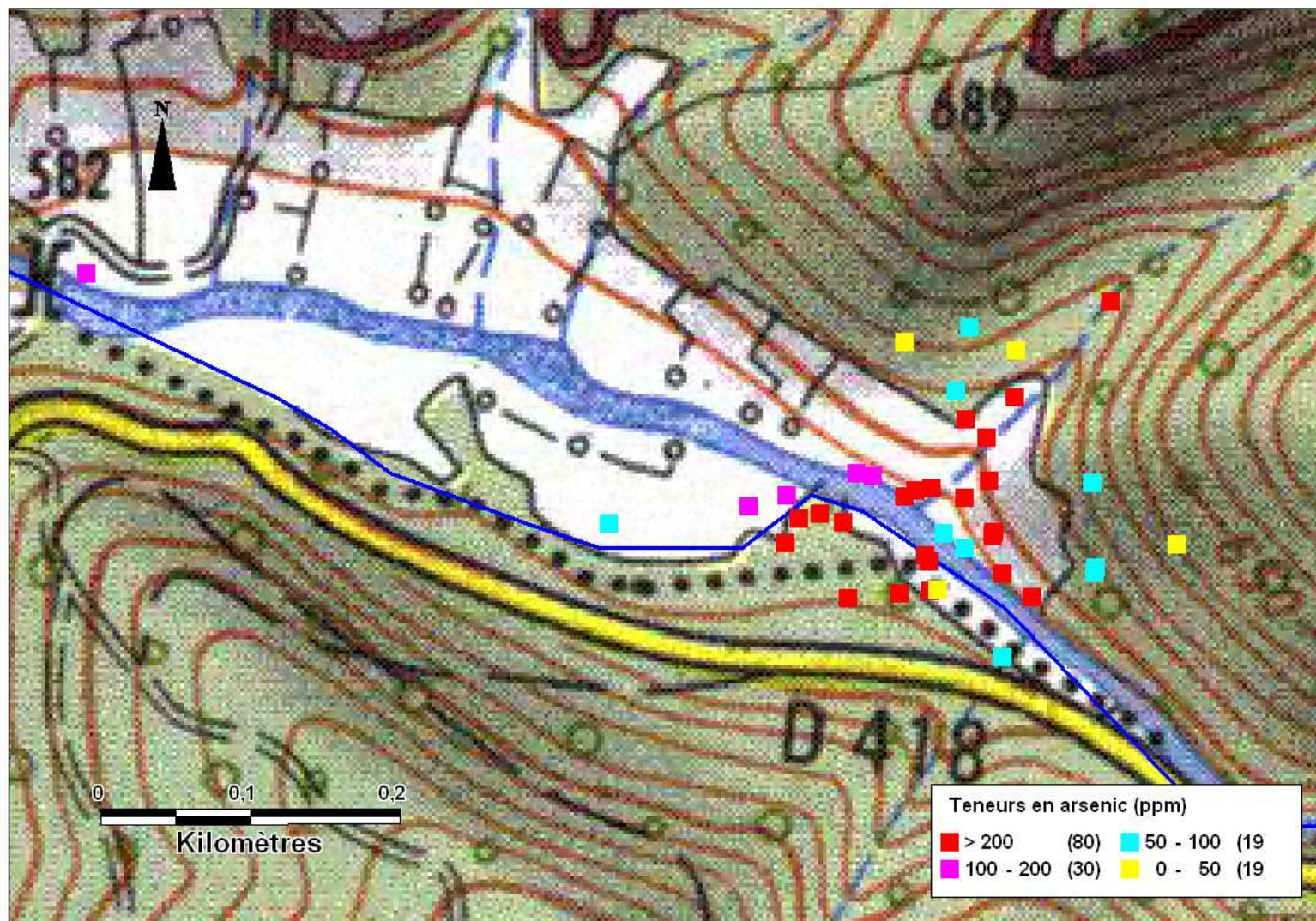


Figure 12 : Carte de répartition spatiale des teneurs en arsenic pour le secteur de Barbecot

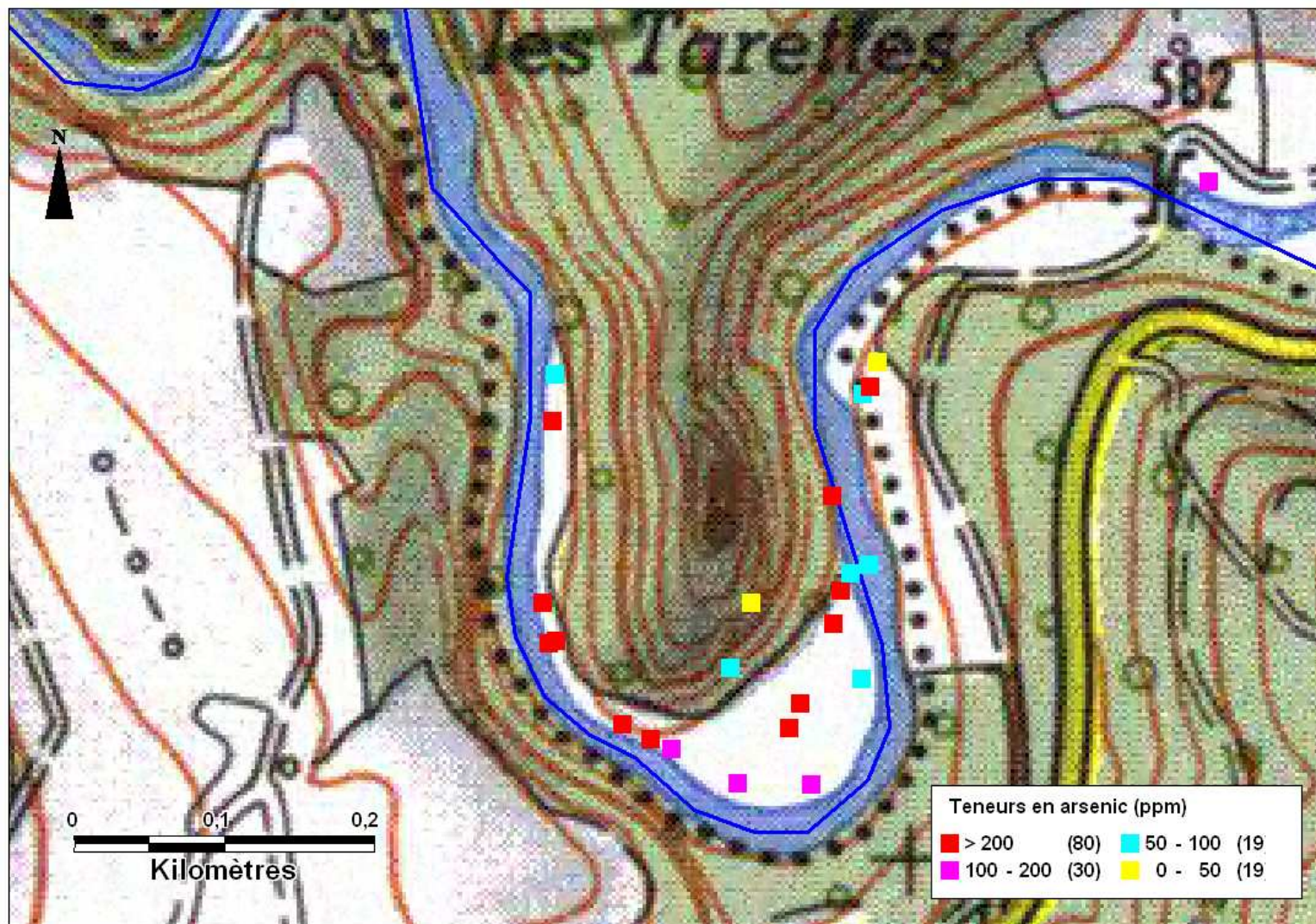


Figure 13 : Carte de répartition spatiale des teneurs en arsenic pour le secteur de Pranal

4.3. DESCRIPTION DETAILLEE DES RESULTATS

4.3.1. Le fond géochimique local

Les quelques points de mesure effectués à l'écart des secteurs de dépôts miniers et que l'on peut supposer comme non impactés par l'activité minière présentent des teneurs faibles en polluants (points n° 38, 39, 76, 77, 95, 96, 98, 99, 115, 133 et 138). Seules les teneurs en chrome restent élevées (comprises entre 200 et 500 ppm).

Les teneurs en plomb sont comprises entre 42 et 397 ppm, celles en arsenic oscillent entre la vingtaine et la soixantaine de ppm et celles en zinc sont comprises entre 0 et 158 ppm. Les teneurs des autres polluants sont inférieures au seuil de détection de la mesure.

Si l'on se réfère aux gammes de concentrations identifiées dans les sols français par Baize en 1997 (tableau 1), les teneurs en plomb correspondent à des sols qui vont du « sol ordinaire » au « sol à forte anomalie ». Celles en zinc et en arsenic s'échelonnent entre la catégorie « sols ordinaires » et « sols à anomalies modérées ». Les teneurs en chrome correspondent pour leur part à des « sols à fortes anomalies ».

Eléments traces (mg/kg)	Gamme de concentrations couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries (« sols ordinaires »)	Gamme de concentrations observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées (« sols à anomalies modérées »)	Gamme de concentrations observées dans le cas de fortes anomalies naturelles (« sols à fortes anomalies »)
Plomb	9 à 50	60 à 90	100 à 10180
Zinc	10 à 100	100 à 250	250 à 11426
Arsenic	1 à 25	30 à 60	60 à 284
Chrome	10 à 90	90 à 150	150 à 3180

**Tableau 1 : Teneurs en éléments traces dans les sols français
(d'après Baize, 1997)**

4.3.2. Le secteur de dépôts de « Pontgibaud stade »

Cette zone communale, est située sur la commune de Pontgibaud, en bordure de la Sioule. Elle fait partie de la concession de Barbecot. Elle est proche de la ville (à peine 1 km) et aisément visible de la D418. Elle est située juste derrière les locaux de la DDE et intègre un complexe sportif comprenant deux stades de football, un terrain de tennis et un gymnase. Dans sa partie sud, elle inclue plusieurs habitations dont certaines apparaissent occupées en continu. A noter aussi la présence d'une station de traitement des eaux située sur la bordure ouest de cette zone de dépôts. Elle accessible à partir de la D 418 par un chemin dont l'entrée se situe à coté des locaux de la DDE. Cette entrée est fermée par une grille en fer non verrouillée.

Pour les besoins de l'étude, le secteur de « Pontgibaud stade » a été arbitrairement décomposé en plusieurs zones :

- la zone de dépôt proprement dite,
- le complexe sportif,
- le chemin qui relie la station de traitement des eaux à la D418,
- la zone de l'ancienne laverie,
- les anciens bassins de décantations situés au nord du secteur de dépôt, en bordure de Sioule
- les zones exposées aux envols de poussières contaminées.
- la zone de la fonderie

Un plan d'ensemble et un plan cadastral du secteur sont fournis en annexe 1.

a) La zone de dépôts proprement dite

La zone de dépôt proprement dite est constituée de plusieurs tas de résidus de laverie contenant des matériaux fins de couleurs beige à jaunâtres (photo 1). Ces tas sont non végétalisés et le volume des dépôts est estimé à environ 61 500 m³ (Marroncle, 2004). En certains endroits, la hauteur du dépôt avoisine la dizaine de mètres. Ces dépôts contiennent localement des accumulations de gros blocs de roche volcanique.



Photo 1 : Résidus de la zone de dépôts de « Pontgibaud stade »

Dans sa partie sud-est, la zone de dépôt se caractérise par la présence d'un terril de scories non végétalisé (photo 2). Ce dernier est situé derrière les locaux de la DDE, non loin de l'intersection entre la D418 et la D941. Le volume de scories est estimé à 26 000 m³ (Marroncle, 2004) et le terril atteint une hauteur maximum de l'ordre de 7 m. Son allongement nord-sud a été estimé à 140 m (Géoderis, 2005). Ces scories sont principalement constituées de culots de fonderie. Elles se caractérisent par des blocs de taille centimétrique à décimétrique.



Photo 2 : Terril de scories du secteur de « Pontgibaud stade »

Pour la zone de dépôts, seuls les résidus de laverie ont été investigués, la granulométrie grossière des scories ne permettant pas la réalisation de mesures NITON[®]. En terme de risque sanitaire, les scories peuvent être considérées comme moins nocives que les résidus de laverie. Par rapport à ces derniers, elles constituent en effet des matériaux qui présentent un potentiel de relarguage en polluants beaucoup moins élevé. Enfin, comme nous l'avons déjà signalé, les scories présentent une granulométrie plus grossière que les résidus de laverie, ce qui les rend moins facilement ingérables et inhalables.

D'un point de vue chimique, les mesures de terrain (points n° 3, 4, 9, 10, 16, 20, 23, 24, 25) ont montré que les résidus de laverie se caractérisent par des teneurs très élevées en plomb (comprises entre 5165 ppm et 15974 ppm). Pour certains points de mesure on détecte également des teneurs très élevées en arsenic, jusqu'à environ 600 ppm. Ces résidus peuvent aussi être contaminés en antimoine et en argent (teneurs comprises entre

environ 100 et 300 ppm pour l'antimoine et entre 0 et 80 ppm pour l'argent). A noter également une teneur élevée en étain (de l'ordre de 100 ppm) pour le point n° 10 et en cuivre pour les points n° 23 et 25 (de l'ordre de 100 ppm). Comparativement aux résidus de même type rencontrés sur d'autres sites, les teneurs en zinc restent relativement peu élevées (comprises entre 310 et 1037 ppm). L'ensemble de ces résultats s'avère tout à fait cohérent avec l'analyse de laboratoire effectuée sur ces résidus par Géodéris en 2005.

Les observations de terrain ont montré que ces résidus de laverie présentaient localement des passées plus ou moins importantes, constituées d'un matériau argileux très fins de couleur blanchâtre (photo 3). Deux points de mesure ont été réalisés sur ce matériau (points n° 11 et 12). Le premier a été positionné directement sur les tas de résidus, alors que le second a été réalisé à la sortie d'un drain souterrain (coté Sioule) au niveau de laquelle il est possible d'observer ce matériau argileux. Les mesures effectuées sur ces deux points montrent qu'il s'agit d'un matériau très fortement contaminé en plomb (29358 ppm pour le point n° 11 et 24536 ppm pour le point n° 12). Des teneurs élevées en cuivre et en argent y sont également mesurées (de l'ordre de 80 ppm pour le cuivre et de la centaine de ppm pour l'argent). En ce qui concerne l'arsenic et l'antimoine, seul le point de mesure n° 11 s'avère contaminé avec des teneurs respectives avoisinant les 400 ppm et les 300 ppm. Là encore, les teneurs en zinc restent peu élevées (488 ppm pour le point n° 11 et 462 ppm pour le point n° 12).



Photo 3 : Passées blanchâtres argileuses identifiées au sein des résidus

L'ensemble des dépôts est fortement raviné par l'eau de pluie. Ces ravinelements ont par exemple entraîné le déchaussement des piquets d'une clôture située sur les dépôts (photo 4). L'érosion liée aux eaux de pluie est par ailleurs responsable d'un étalement progressif des résidus vers la zone des complexes sportifs, au niveau du premier stade de football. Ils remplissent d'ailleurs progressivement le bassin de décantation situé près de ce stade. Sur la bordure ouest, ces dépôts sont retenus par un mur de soutènement d'environ 3.5 m de hauteur, le long duquel on peut observer la trace d'un ancien petit canal dont la largeur avoisine les 80 cm. Les résidus fins s'étalent aujourd'hui jusqu'au sommet du mur, ce qui laisse supposer des départs de matière particulaire contaminée vers la Sioule lors des épisodes pluvieux intenses entraînant ainsi des risques de pollution des sédiments déposés en aval au niveau des zones de faible courant.



Photo 4 : Déchaussement de la clôture située sur les dépôts

Ces départs de matière contaminée sont par ailleurs favorisés au niveau du drain souterrain précédemment mentionné qui relie l'ancienne laverie à la Sioule. Un léger filet d'eau blanchâtre sortant de ce drain et se déversant directement dans la rivière a été observé lors de la visite de terrain (photo 5).

Un regard situé à l'aplomb de ce drain et au sein même des résidus miniers est toujours visible mais s'avère en très mauvais état (photo 6). Les jours de fortes pluies, ce regard constitue un point de déversement préférentiel par lequel les résidus miniers vont être entraînés vers le drain souterrain et donc vers la Sioule.

Une analyse de l'eau sortant du drain (analyse réalisée par Géoderis en 2005) montre des teneurs très élevées en polluants (manganèse, plomb, zinc, cuivre, cadmium....). Toutefois, compte tenu de son débit habituellement très faible, ce rejet présente un impact négligeable sur la qualité de l'eau de la Sioule. Ceci est confirmé par l'analyse qui a été effectuée dans le cadre de cette étude sur un échantillon d'eau prélevé dans la Sioule, en aval de la confluence avec le drain souterrain (« Pontgibaud stade 10-03-08 » : annexe 4). Comme nous venons de le signaler, ce drain peut par contre être responsable d'une pollution des sédiments de la Sioule dans la mesure où il constitue un passage préférentiel par lequel les résidus contaminés vont être déversés dans la rivière lors des épisodes pluvieux.



Photo 5 : Sortie du drain souterrain passant sous les dépôts



Photo 6 : Regard situé à l'aplomb du drain souterrain

Une mesure effectuée au pied du mur de soutènement des résidus confirme les départs de matériels particuliers contaminés vers la rivière. Une teneur en plomb très élevée a en effet été observée en ce point (4571 ppm), ce qui reflète une contamination du sol (terre fine de couleur marron) par les résidus de laverie. Une teneur en arsenic de l'ordre de 200 ppm y a par ailleurs été enregistrée.

Plusieurs points de mesures effectués sur sédiment ou sur sol, en bordure immédiate de rivière (points n° 13 (sédiment), 14 (sol), 30 (sol) et 35 (sol)), n'ont par contre pas permis de détecter ces épandages de matériels contaminés vers la Sioule. Les teneurs en plomb mesurées sur ces différents points restent en effet peu élevées, proches des ordres de grandeur du fond géochimique. Elles sont comprises entre 214 et 475 ppm. Une teneur en plomb beaucoup élevée a par contre été mesurée au point n° 30 (2072 ppm). Il faut signaler ici que ce dernier a été positionné au bout d'une zone qui représente de toute évidence un lieu de cheminement préférentiel des résidus de laverie vers la Sioule lors des épisodes pluvieux (clairement observé lors de la visite de terrain). A l'exception de ce dernier point, les mesures effectuées sur sédiment ou en bordure immédiate de rivière n'indiquent donc pas de contamination marquée. Il est probable ici qu'un phénomène de lessivage par les eaux de la rivière ait entraîné une chute des teneurs en polluants dans le matériau analysé, notamment par entraînement vers l'aval des particules les plus fines et donc les plus contaminées. Ces faibles teneurs en polluants pourraient aussi s'expliquer par une dilution liée à un apport de matériel non contaminé venu de l'amont. Quoiqu'il en soit, pour pouvoir mieux appréhender un éventuel impact lié aux décharges de matériel particulaire contaminé issu des résidus, il conviendrait d'analyser les sédiments situés en aval du site et accumulés dans les zones de faible courant. Dans le cas présent,

ce type de mesure n'a malheureusement pas pu être réalisé en aval direct du secteur de « Pontgibaud stade » compte tenu du niveau important de la Sioule. Il serait à réaliser dans le cadre d'un diagnostic environnemental détaillé du site.

b) Le complexe sportif

Comme nous l'avons signalé précédemment, l'érosion hydrique est responsable d'un épandage progressif des résidus de laverie vers le stade de football situé le près du gymnase (photo 7) ainsi que dans le bassin de décantation creusé à proximité de ce stade (photo 8).



Photo 7 : Epandage des résidus de laverie vers le stade



Photo 8 : Epandage des résidus au niveau du bassin de décantation

Plusieurs points de mesures (points n° 1, 2, 5 et 43) ont été réalisés sur le stade directement exposé aux épandages de résidus. Il apparaît que les teneurs en plomb sont supérieures au fond géochimique local puisqu'elles oscillent entre 1345 ppm et 2259 ppm. Ceci semble donc indiquer une contamination due à la proximité des résidus de laverie. Cette contamination est d'ailleurs confirmée par la mesure effectuée entre le gymnase et le stade (point n° 44). Cette dernière a été réalisée sur une terre brune fine, au niveau du talus situé en contre bas du gymnase. La teneur en plomb s'y avère là encore supérieure au fond géochimique puisqu'elle est de 1178 ppm.

Des phénomènes d'envols de poussières pourraient notamment être responsables d'une telle contamination. Pour le stade, l'utilisation des résidus comme couche de remblais pourrait également expliquer la contamination observée. Cette dernière hypothèse est tout à fait conforme à la teneur en plomb très élevée (point n° 6 : 12 981 ppm de plomb) enregistrée entre les deux stades de football, au niveau d'une zone constituée par un matériau d'apparence identique aux résidus de laverie. A l'issue des mesures effectuées sur les résidus de laverie, on y observe aussi des teneurs très élevées en arsenic (de l'ordre de 800 ppm), en antimoine (de l'ordre de 400 ppm), en argent (de l'ordre de 60 ppm), en étain (de l'ordre de 200 ppm) et en cadmium (de l'ordre de 70 ppm). Une teneur élevée en nickel y est également enregistrée (de l'ordre de 170 ppm). Les mesures effectuées sur le deuxième stade (stade le plus éloigné des dépôts) indiquent par contre des teneurs en plomb du même ordre de grandeur que celles du fond géochimique (points n° 8 et 40 : respectivement 246 et 334 ppm). Cette constatation semble indiquer que ce secteur n'a pas subi de remblayage et/ou d'impact lié à d'éventuels envols de poussières.

Une mesure effectuée à une quinzaine de mètres de la bordure ouest de ce stade montre par contre des teneurs en plomb plus élevées (1658 ppm). Il faut préciser ici que ce point d'analyse a été positionné dans un secteur qui semble figurer la trace d'un ancien canal qui longeait le deuxième stade. La zone est très humide et est constituée d'une terre fine de couleur ocre recouverte d'une couche de terre végétale d'environ 5 cm d'épaisseur. La mesure a été effectuée sous cette couche de terre végétale, directement sur la terre ocre.

c) Le chemin qui relie la station de traitement des eaux à la D 418

Avant de recouper les résidus miniers, ce chemin longe les locaux de la DDE. Il passe ensuite sur la bordure Est de la zone de dépôt avant de traverser cette dernière pour rejoindre la station de traitement des eaux. Au vu des observations effectuées sur le terrain, il apparaît que les résidus de laverie recouvrent ce chemin presque jusqu'à son intersection avec la D418 (photo 9). Ce recouvrement pourrait être imputé soit à un remblayage du chemin par les résidus, soit à l'épandage de ces derniers à partir de la zone de dépôt lors des épisodes pluvieux intenses. La mesure effectuée sur le chemin, non loin de la grille d'entrée (point n° 19), confirme la présence de ce recouvrement puisque les teneurs en polluants mesurées s'avèrent du même ordre de grandeur que celles qui ont été observées au niveau des matériaux stockés sur la zone de dépôt. Les teneurs mesurées au point n° 19 sont en effet de 9396 ppm pour le plomb, 525 ppm pour le zinc, et d'environ 130 ppm pour l'antimoine, 30 ppm pour l'argent et 250 ppm pour l'arsenic.



Photo 9 : Recouvrement du chemin par les résidus de laverie

Deux mesures ont par ailleurs été réalisées sur la portion qui passe au niveau de la bordure Est de la zone de dépôt. La première (point n° 17) a été effectuée au niveau du talus du chemin sur un matériau sableux jaunâtre mélangé à de gros blocs rocheux (photo 10). Elle indique une teneur très élevée en plomb (9689 ppm) et en arsenic (de l'ordre de 600 ppm). La seconde mesure (point n° 18) a été effectuée en bordure de chemin sur une terre marron. Les teneurs en plomb et en arsenic y sont encore très élevées (15372 ppm pour le plomb et de l'ordre de 1000 ppm pour l'arsenic). On y observe également une contamination en zinc (6598 ppm), en cuivre (environ 500 ppm), en antimoine (environ 500 ppm), en étain (environ 100 ppm) et en argent (environ 40 ppm).



Photo 10 : Mesure effectuée sur le talus du chemin qui mène à la station de traitement des eaux.

d) La zone de l'ancienne laverie

Cette zone correspond au secteur de l'ancienne laverie de Caravaux. Elle est située au sud de la zone de dépôt. Elle est végétalisée et est partiellement recouverte d'un bois de sapins. On y trouve la trace d'anciens vestiges miniers. Plusieurs habitations y sont aussi présentes dont certaines sont apparemment occupées en continu. Les analyses réalisées sur ce secteur mettent en évidence une forte contamination des sols. Ainsi, les mesures effectuées sur les sols situés en bordure du chemin qui longe la Sioule et qui mène à la D 941 (points n° 27, 28, 29) indiquent des teneurs en plomb très élevées puisqu'elles sont

comprises entre 3288 ppm et 8974 ppm. Les teneurs en cuivre peuvent également être élevées (de l'ordre de 130 et 240 ppm pour les points n° 28 et 29). Deux des points de mesure (points n° 27 et 28) présentent par ailleurs une forte contamination en arsenic (teneurs de l'ordre de 300 à 400 ppm). A noter aussi que les teneurs en zinc peuvent s'avérer relativement élevées par rapport aux autres points de mesure réalisés dans le cadre de cette étude, puisque des concentrations de 4351 ppm et 2032 ppm ont été respectivement mesurées pour les points n° 28 et 29.

Les mesures effectuées montrent que cette forte contamination des sols peut être constatée même à proximité des habitations comme en témoigne le point n° 28 qui a été positionné presque en limite d'une des propriétés habitées.

La contamination apparaît toutefois moins élevée dans le sous bois de sapins situé en contre bas, dans le prolongement direct des dépôts de résidus. Les deux mesures effectuées dans ce secteur (points n° 21 et 22) indiquent en effet des teneurs en plomb, en arsenic et en zinc moins élevées qu'à proximité des habitations (respectivement 2303 et 602 ppm pour le plomb, 333 et 236 ppm pour le zinc, une centaine et une trentaine de ppm pour l'arsenic). Le fait que cette contamination apparaisse moins élevée dans cette zone peut s'expliquer par la présence d'une quantité importante d'humus qui tend à faire chuter les teneurs en polluants par dilution.

Enfin, à l'aplomb du secteur de l'ancienne laverie, les observations de terrain montrent localement la présence de sables gris clairs déposés en bordure de Sioule. Une mesure effectuée sur ces matériaux (point n° 26) indique une teneur en plomb très voisine de celle du fond géochimique. En première hypothèse, cette absence de contamination laisse supposer que ces sables ne proviennent pas des terrains contaminés situés au dessus de la rivière. En deuxième hypothèse, elle peut aussi laisser supposer que ces sables proviennent effectivement des terrains contaminés mais qu'ils ont ensuite subi un phénomène de lessivage et/ou de dilution conduisant à une chute des teneurs en polluants.

e) Les anciens bassins de décantation situés au nord du secteur de dépôts, en bordure de la Sioule

Pour accéder à ces zones plates que l'on peut de toute évidence assimiler à d'anciens bassins de décantation, il suffit de suivre le chemin qui part de la partie nord du secteur de dépôt et qui longe la Sioule. Deux bassins situés en bordure de rivière, mais en hauteur par rapport à cette dernière, ont été clairement identifiés. Ils se caractérisent par une forme globalement circulaire.

Le premier de ces bassins (photo 11) présente un diamètre d'une trentaine de mètre. Son mur de soutènement est encore visible en bordure de Sioule et nous a semblé en bon état. L'intérieur du bassin est non végétalisé et est rempli d'un matériau argileux de couleur blanchâtre. La mesure effectuée sur ce matériau indique une teneur en plomb très élevée

(point n° 42 : 10318 ppm). Elle montre également une contamination en argent et en arsenic (une quarantaine de ppm pour l'argent et de l'ordre de 300 ppm pour l'arsenic). A noter aussi que ce bassin est en partie recouvert d'eau. Lors de la visite de terrain cette dernière présentait une température de 7.5 °C, un pH de 6.70 et une conductivité très faible de 31 µs/cm.



Photo 11 : Ancien bassin de décantation situé en bordure de la Sioule

Le deuxième bassin (photo 12) est situé à une soixantaine de mètres au nord du précédent. Il présente un diamètre d'une quinzaine de mètres et est végétalisé. Il est rempli d'un matériau fin de couleur marron à ocre. La mesure effectuée sur ce matériau (point n° 33) met là encore en évidence une contamination en plomb (6376 ppm), en argent (teneur de l'ordre de 20 ppm) et en arsenic (teneur de l'ordre de 250 ppm).



Photo 12 : Autre exemple de traces laissées par un ancien bassin de décantation situé en bordure de la Sioule

Ces deux bassins, clairement observables, et apparemment situés en enfilade l'un de l'autre sont localisés dans une zone où la présence d'autres bassins ne peut être exclue. Ainsi, l'accès au premier bassin depuis le chemin se fait en traversant une petite clairière enherbée, de forme allongée, et qui constitue une légère dépression dans le paysage. Cette dernière pourrait aussi représenter la trace d'un ancien bassin de décantation. Le sol de cette clairière est constitué d'un matériau argileux fin de couleur blanchâtre qui présente localement des passées rougeâtres. La mesure effectuée sur la fraction blanchâtre (point n° 32) indique là encore une très forte contamination en plomb (20361 ppm) ainsi qu'en arsenic (teneur de l'ordre de 600 ppm). Les teneurs en antimoine et en argent y sont également élevées (teneurs respectives de l'ordre de 180 ppm et 60 ppm).

Cette zone, située en bordure de Sioule, est donc fortement impactée du fait de la présence de ces bassins. Dans une moindre mesure, elle apparaît également impactée en dehors de ces derniers. A titre d'illustration, on peut citer le cas du point de mesure n° 31 qui a été positionné à une dizaine de mètres de hauteur par rapport à la rivière, sur le chemin qui longe la Sioule et qui permet d'accéder aux bassins. La mesure effectuée sur une terre végétale indique, là encore, un niveau de contamination élevé avec une teneur en plomb de 2943 ppm. Il en va d'ailleurs de même pour le point n° 36 qui se situe lui aussi relativement loin des bassins, à quelques mètres de la bordure d'une clairière. La mesure effectuée sur une terre fine de couleur brune indique encore un niveau de contamination très élevé avec une teneur en plomb de 7172 ppm. Les teneurs en

antimoine et en arsenic sont respectivement de l'ordre 150 ppm et 400 ppm. Comme en témoigne le point n° 37 effectué à une trentaine de mètres de la mesure précédente, il semble néanmoins qu'il existe une certaine hétérogénéité quant au niveau de contamination observé. Les teneurs en plomb et en arsenic mesurées en ce point (respectivement de 777 ppm et de l'ordre de 250 ppm) s'avèrent en effet moins élevées que celles qui ont été enregistrées pour le point précédent. Un effet de dilution lié à la présence d'une fraction de terre végétale ne semble pas pouvoir expliquer ces variations de teneurs. Les observations de terrain n'ont en effet pas mis en évidence de différence significative quant au pourcentage de terre végétale sur les deux points investigués (points n° 36 et 37).

f) Les zones exposées aux envols de poussières contaminées

Afin d'essayer d'appréhender les impacts liés à d'éventuels envols de poussières contaminées issues des dépôts, nous nous sommes ici essentiellement attaché à l'examen des prairies situées de part et d'autres de la D418, dans un rayon maximum d'environ 500 m au nord est de la zone de dépôt. Ces prairies qui représentent des zones potentielles de pâturage nous ont en effet semblé particulièrement exposées aux envols.

Plusieurs mesures ont été réparties sur ces prairies (points n° 45 à 51, 81 et 82). Elles ont toutes été réalisées sur une terre fine de couleur brune. Elles montrent des teneurs en plomb qui s'avèrent globalement supérieures au fond géochimique. Ces teneurs sont toutes supérieures à 400 ppm avec 5387 ppm pour la plus élevée.

Pour expliquer la présence de ces teneurs supérieures au fond géochimique, la contamination des sols par envols de poussières à partir de la zone de dépôt est une hypothèse qui semble pouvoir être retenue. A noter quand même que la teneur en plomb de 5387 ppm mesurée au point n° 47 apparaît anormalement élevée par rapport aux concentrations obtenues sur les autres points de mesure. Elle a été enregistrée sur une zone située en bordure de prairie, le long de la D418. Nous n'avons à l'heure actuelle aucune explication quant à la présence de ce point anormal. Nous pouvons simplement noter que le point n° 46 qui est également situé en bordure de prairie, le long de la D418, présente lui aussi une teneur en plomb plus élevée (2745 ppm) que celles qui ont été mesurées sur l'ensemble des prairies investiguées. La proximité de la route ne semble pas pouvoir expliquer ces fortes concentrations en plomb dans la mesure où il s'agit d'un axe de circulation relativement peu fréquenté. Par ailleurs, les autres points situés en bordure de champ et à proximité de la route (points n° 48 et 49), ne présentent pas ces niveaux de teneurs en plomb (annexe 2). Par rapport aux points de mesure environnants, il semble donc ici que la bordure Est de la prairie dans laquelle ont été positionnés les points n° 46 et 47 présente une anomalie de concentration en plomb, au moins pour la partie qui longe la D418. Ceci demanderait toutefois à être confirmé par un plus grand nombre de points de mesure régulièrement répartis le long de cette zone.

g) La zone de la fonderie

Cette zone est située à l'emplacement de l'ancienne fonderie, entre le centre ville de Pontgibaud et la zone de dépôt de résidus miniers. On peut notamment y observer une ancienne cheminée aux dimensions particulièrement impressionnantes (photo 13).

Trois points de mesure ont été réalisés sur cette zone (points n° 83 à 85). Ils montrent qu'elle peut être localement fortement contaminée en plomb et en arsenic.



Photo 13 : Vue de la cheminée de la fonderie

La première mesure (point n° 83) a été prise juste en pied de cheminée, en bordure de route. Le matériau investigué est une terre noire mélangée à une fraction importante de graviers. La teneur en plomb (280 ppm) s'avère y être du même ordre de grandeur que celle du fond géochimique.

La seconde mesure (point n° 84) a été réalisée en face du point précédent mais de l'autre côté de la route. Elle a été positionnée dans l'allée qui longe le cimetière, en lisière d'un bois de sapins. Elle a été réalisée sur du matériau sableux jaunâtre qui a très probablement servi de remblai pour cette allée. Ce type de matériau apparaît ici fortement contaminé en plomb (9658 ppm), en arsenic (teneur d'environ 600 ppm), en antimoine (teneur d'environ 300 ppm), en argent (teneur d'environ 40 ppm) et en cuivre (teneur d'environ 60 ppm). La teneur en zinc y est également relativement élevée (1203 ppm).

Le troisième point de mesure a été effectué à l'entrée de la fonderie (point n° 85). Le sol y est constitué d'un matériau fin de couleur noirâtre mélangé à des pierres anguleuses. La

mesure a été effectuée sur la fraction fine et met en évidence une forte contamination du sol en plomb (13653 ppm), en zinc (2129 ppm), en arsenic (teneur d'environ 500 ppm), en antimoine (teneur d'environ 100 ppm) et en cuivre (teneur d'environ 150 ppm).

4.3.3. Le secteur de Roure/les Rosiers

Ce secteur est situé sur la commune de Saint-Pierre-le-Chastel. Il est localisé sur la concession de la Roure, à environ 300 m au Nord du village de Roure. On y accède facilement, en voiture, par un chemin qui se raccorde à la D986.

Un plan d'ensemble et un plan cadastral du secteur est fourni en annexe 1.

Deux laveries se sont succédées sur ce secteur. La laverie des Rosiers, aujourd'hui disparue, et la laverie COMIREX dont les bâtiments sont encore visibles au bord du chemin d'accès. On peut notamment y observer les vestiges d'un ancien bassin de décantation constitué par une cuve maçonnée d'environ 8 m de diamètre. Aucune mesure n'a malheureusement pu être effectuée à l'intérieur de ce bassin très végétalisé.

Un volume très important de résidus de traitement a été stocké sur le secteur de Roure/les Rosiers (estimé à 257 000 m³; Géodéris, 2005). Les dépôts, non végétalisés, forment un Y calqué sur le ruisseau de la Faye et sur celui de la Veysière.

L'ensemble du secteur apparaît relativement isolé mais semble faire l'objet d'une forte fréquentation par les amateurs de moto-cross. Un groupe de maisons habitées est par ailleurs situés non loin des dépôts (bâtiments de la mine des Rosiers).

Les mesures de terrain ont ici été presque exclusivement concentrées sur les résidus de traitements. Par rapport aux haldes également présentes sur le secteur, nous avons en effet considéré que les résidus de traitement représentaient les matériaux les plus toxiques en terme de santé publique du fait de leur forte teneur en polluants et surtout de leur faible granulométrie (matériaux facilement inhalables et ingérables). Les haldes présentent quant à elles une granulométrie plus grossière et sont donc moins facilement ingérables et inhalables.

a) Dépôts du vallon de la Veysière

Ces dépôts constituent la branche sud du Y. Ils sont stockés en bordure rive gauche du ruisseau de la Veysière (photo 14). Ils forment un tas d'environ 200 m de long sur une trentaine de mètres de large. La hauteur maximum a été estimée à 7 m. Ils sont essentiellement constitués d'un matériau fin de couleur jaunâtre à blanchâtre. Ils présentent des traces d'érosion hydriques importantes comme en témoignent l'existence de ravines plus ou moins profondes. Ainsi, les observations de terrain montrent clairement que, lors des épisodes pluvieux intenses, ces dépôts sont responsables de

décharges importantes de matériel particulaire dans le ruisseau qui les borde. A noter ici que ce dernier apparaît déjà fortement impacté par l'émergence minière de Sainte Anne (couleur orangée des eaux). Nous rappelons au passage qu'une analyse effectuée par Géoderis en 2005 sur les eaux rouges sortant dans la prairie sous les travaux de la partie Est de Sainte Anne avait montré une contamination en fer (10.72 mg/l), en manganèse (1069 µg/l), en arsenic (686 µg/l) et en plomb (13 µg/l).



Photo 14 : Dépôts de résidus de traitement du ruisseau de la Veyssière

Les mesures effectuées sur ces dépôts (points n° 56 et n°59) indiquent des teneurs très élevées en plomb (respectivement 14056 ppm et 14481 ppm). On y observe également des teneurs élevées en antimoine et en argent. Les teneurs en arsenic, en étain et en cuivre apparaissent, pour leur part, très hétérogènes d'un point à l'autre. Pour le point n° 56 on observe en effet une contamination en arsenic, en étain et en cuivre (de l'ordre de 700 ppm pour l'arsenic ; 100 ppm pour l'étain et 60 ppm pour le cuivre). A l'inverse, pour le point n° 59, les concentrations de ces trois éléments se situent sous la limite de détection de la mesure.

L'ensemble de ces résultats s'accorde avec ceux qui ont été obtenus par Géoderis en 2005 sur un échantillon prélevé au niveau des dépôts du vallon de la Veyssière. Seules les teneurs en plomb diffèrent de manière importante puisqu'elles sont ici presque deux fois plus élevées que celles qui ont été mesurées en 2005. Nous n'avons pour l'instant pas trouvé de réelle explication à cette différence de composition, si ce n'est peut être des hétérogénéités locales du résidu de traitement comme en témoigne la variabilité observée au niveau des teneurs en arsenic, en étain et en cuivre. Cette différence de composition

pourrait aussi être liée à la profondeur d'investigation de la mesure. Nous rappelons en effet que la mesure NITON[®] est une analyse de surface (entre 0 et 3 cm), alors que les échantillons qui ont été collectés en 2005 intégraient un matériau prélevé entre la surface et une profondeur de l'ordre de 20 cm (com. orale A. Dommanget).

Par rapport à cette zone de dépôts, il convient aussi de signaler deux mesures (points n° 57 et 58) qui ont été réalisées dans la zone marécageuse située en contre bas de l'extrémité ouest du tas de résidus de traitement. La première (point n° 57) a été effectuée au sein même de ce secteur marécageux, à proximité d'une zone recouverte par une lame d'eau rougeâtre de 2 à 3 cm d'épaisseur. Elle a été réalisée sur une terre marron riche en humus et contenant beaucoup de morceaux de racines. Les teneurs en plomb et en arsenic y sont très élevées (3742 ppm pour le plomb et de l'ordre de 1000 ppm pour l'arsenic). On y mesure également une teneur élevée en cuivre (de l'ordre de 80 ppm). Par rapport aux points de mesures environnants, la teneur en zinc s'avère aussi relativement élevée avec 1941 ppm. Ces résultats montrent que la zone marécageuse située en contre bas du tas de résidus de traitement peut s'avérer localement impactée, soit par des apports de matériel particulière contaminé issus des résidus lors des forts épisodes pluvieux, soit par des phénomènes d'envols de poussières issus de ces mêmes résidus.

La seconde mesure (point n° 58) a été effectuée en bordure de la zone marécageuse sur une terre fine de couleur marron. Par rapport au point précédent, cette mesure met en évidence une contamination beaucoup moins marquée du sol, la teneur en plomb se limitant à 701 ppm. Il semble donc que la contamination se limite à la zone marécageuse. Ceci demanderait toutefois à être confirmé sur un plus grand nombre de points de mesure.

A noter pour finir que cette zone de dépôts comprend d'importants stocks de haldes dans sa partie ouest. Comme nous l'avons déjà précisé, ces dernières sont constituées d'un matériau de granulométrie plus grossière que les résidus de traitement. Elles peuvent de ce fait être considérées comme des matériaux moins nocifs en terme de santé publique que les résidus de traitement, car moins facilement inhalables et ingérables. Nous avons malgré tout choisi d'effectuer deux analyses sur ces haldes afin d'en apprécier la composition. Elles apparaissent globalement constituées d'un mélange entre un matériau de couleur blanchâtre et un matériau de couleur rougeâtre. Ces derniers ont chacun fait l'objet d'un point de mesure (points n° 54 et 55). Ils apparaissent tous les deux fortement chargés en plomb et en arsenic, avec des teneurs plus importantes dans le matériau blanchâtre (11738 ppm de plomb et environ 1300 ppm d'arsenic pour le matériau blanchâtre ; 7000 ppm de plomb et environ 700 ppm d'arsenic pour le matériau rougeâtre). Les teneurs en plomb et en arsenic enregistrées sur ces haldes sont du même ordre de grandeur que celles qui ont été mesurées sur les résidus de traitement. Les deux points de mesure montrent par ailleurs des teneurs élevées en antimoine (de l'ordre de 300 ppm), en étain (de l'ordre de 150 ppm), en cuivre (de l'ordre de 100 ppm) et en argent (de l'ordre de 50 ppm). A noter aussi une teneur élevée en cadmium (de l'ordre de 50 ppm) pour le matériau rougeâtre (point n° 55).

b) Le dépôt supérieur

Ces dépôts constituent la branche nord du Y. Ils sont stockés en bordure rive gauche du ruisseau de la Faye (photo 15). Il forme un tas d'environ 150 m de long et d'une quarantaine de mètres de large. La hauteur de ce tas a été estimée à environ 7 m. Ces résidus sont essentiellement constitués d'un matériau fin de couleur jaunâtre. Leur granulométrie apparaît toutefois globalement plus grossière que les résidus observés dans le dépôt précédent. La partie sud du tas est bordée par des matériaux plus grossiers qui contiennent des blocs rocheux de taille décimétrique. En contre bas direct de ces matériaux on observe une zone moins pentue qui constitue une petite terrasse dans le paysage. Là encore, ce tas de résidus s'avère localement raviné et les observations de terrain montrent clairement que, lors des épisodes pluvieux intenses, ces dépôts sont responsables de décharges importantes de matériel particulaire contaminé dans le ruisseau qui les borde.



Photo 15 : Dépôts de résidus de traitement du ruisseau de la Faye

Le point de mesure effectué au sommet du tas de résidus (point n° 60) indique des teneurs en plomb et en arsenic très élevées (13355 ppm pour le plomb et de l'ordre de 2000 ppm pour l'arsenic). Des teneurs élevées en étain, antimoine, cuivre et argent y sont également mesurées (respectivement d'environ 200 ppm, 300 ppm, 80 ppm et 60 ppm).

Cette composition diffère de celle déterminée par Géodéris en 2005. Les teneurs en plomb, étain et antimoine s'avèrent en effet supérieures à celles enregistrées en 2005. Ces différences de composition reflètent probablement là encore une certaine hétérogénéité du résidu minier. Cette hétérogénéité a d'ailleurs pu être mise en évidence grâce à un second point de mesure (point n° 61) qui a été positionné sur la plateforme située à la base du tas de résidu. La mesure a été effectuée sur un matériau sableux de couleur jaunâtre et de granulométrie plus grossière que le matériau investigué au point précédent. Là encore, les teneurs en plomb et en arsenic sont très élevées mais restent inférieures à celles mesurées au point précédent. Elles sont de 8417 ppm pour le plomb et de l'ordre de 400 ppm pour l'arsenic. Les teneurs en étain, antimoine et argent restent élevées (respectivement d'environ 100 ppm, 150 ppm et 40 ppm).

c) La zone de confluence entre les deux ruisseaux.

Cette zone, qui apparaît partiellement végétalisée, est située à l'intersection des deux branches du Y. Elle s'étend à l'extrémité ouest du grand dépôt de la laverie. La confluence s'effectue au sein même des résidus de traitement qui sont entraînés dans les deux ruisseaux lors des épisodes pluvieux. Ces matériaux sont d'ailleurs localement sapés au niveau des zones de plus fort courant, ce qui laisse apparaître des coupes partielles verticales au sein des résidus. Ces dernières avoisinent bien souvent le mètre de hauteur. La présence d'horizons (quelques centimètres d'épaisseur) constitués de matériaux fins de couleur bleuâtre est parfois clairement observable sur ces coupes verticales (photo 16). Le jour de la visite de terrain, aucune mesure n'a toutefois été possible sur ce type de matériaux qui s'est avéré trop humide pour permettre une analyse NITON®.



Photo 16 : Coupe verticale dégagée au niveau des résidus dans la zone de confluence des deux ruisseaux : on y devine des horizons de matériaux de couleur bleuâtre

Le point de mesure (point n° 62) réalisé sur la zone de confluence a été positionné directement sur les résidus miniers. Là encore, on y retrouve des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (16030 ppm pour le plomb et de l'ordre de 500 ppm pour l'arsenic). Les teneurs en étain, en antimoine et en argent restent élevées (respectivement d'environ 150 ppm, 180 ppm et 50 ppm).

d) Le grand dépôt de la laverie

Ce dépôt s'étend en rive gauche du ruisseau de la Veyssière, sur environ 200 m de longueur et sur une soixantaine de mètres de largeur (photo 17). Son épaisseur est très variable allant du mètre à environ 6 mètres. A l'image des précédents, il apparaît très raviné, ce qui témoigne d'une érosion hydrique intense. Positionné en bordure de ruisseau, il est notamment responsable de décharge de matériel particulaire contaminé au sein de ce dernier. En aval du dépôt, on trouve le grand étang du Rosier (photo 17) qui se caractérise par des eaux verdâtres et la présence de floccs rougeâtres déposés en bordure de la lame d'eau (photo 18). Ces eaux se déversent directement dans le ruisseau. Elles se caractérisent par un pH acide et une teneur en plomb très élevées (pH de 4.8 et teneur en plomb de 4.4 mg/l ; Géodéris, 2005).



Photo 17 : Grand étang des Rosiers (premier plan) et grands dépôts de la laverie (arrière plan).



Photo 18 : Flocs rougeâtres situés en bordure du grand étang des Rosiers

Ce dépôt est principalement constitué d'un matériau fin de couleur jaunâtre. Près de la piste qui le longe, on observe localement la présence de scories et d'un matériau fin de couleur rouge. Dans le même secteur, on trouve également un matériau fin de couleur grise, mélangé avec une fraction caillouteuse de granulométrie millimétrique.

La mesure effectuée sur les résidus jaunâtres (point n° 63) indique des teneurs en plomb et en arsenic particulièrement élevées (26682 ppm pour le plomb et de l'ordre de 1000 ppm pour l'arsenic). Les teneurs en antimoine, en étain, en cuivre et en argent y sont également élevées (respectivement d'environ 400 ppm, 300 ppm, 100 ppm et 60 ppm). A noter, là encore, une teneur en plomb qui est beaucoup plus élevée que celle qui a été trouvée dans le cadre des analyses effectuées par Géodéris en 2005.

A titre de comparaison, des mesures ont aussi été effectuées sur les matériaux fins de couleur rouge et grise dont nous avons signalons l'existence ci-dessus. Pour les matériaux gris, la mesure (point n° 64) indique des teneurs en plomb et en arsenic beaucoup moins élevées que celles qui ont été mesurées sur les résidus jaunâtres. Ces teneurs sont en effet de 2086 ppm pour le plomb et de l'ordre de 200 ppm pour l'arsenic. La teneur en antimoine reste pour sa part encore élevée (de l'ordre de 180 ppm). On enregistre aussi pour ce point une teneur élevée en nickel (de l'ordre de 160 ppm). A l'inverse, pour les matériaux rouges, la mesure (point n° 65) montre des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (8692 ppm pour le plomb et de l'ordre de 1000 ppm pour l'arsenic). La teneur en plomb reste malgré tout inférieure à celle qui a été mesurée sur les résidus jaunâtres. A noter aussi que ce matériau rouge se caractérise par des teneurs élevées en étain, en antimoine, en cadmium, en cuivre et en argent (respectivement d'environ 150 ppm, 350 ppm, 40 ppm, 90 ppm et 50 ppm).

e) Les dépôts de la COMIREX

Ces dépôts s'inscrivent entre le grand étang du Rosier et la zone des anciens bassins de décantation. Ils s'étendent en rive gauche du ruisseau de la Veyssière sur environ 180 m de longueur et sur une soixantaine de mètres de largeur (photo 19). Là encore, ils apparaissent très ravinés et sont responsables de décharges de matériel particulaire contaminé au sein du ruisseau lors des épisodes pluvieux intenses.



Photo 19 : dépôts de résidus de traitement de la laverie COMIREX

Ces dépôts sont constitués d'un matériau fin de couleur jaunâtre à blanchâtre qui présente localement des passées de couleur ocre à orange. Les mesures effectuées (points n° 52, 53, 66 et 67) indiquent toutes des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (comprises entre 11815 et 15472 ppm pour le plomb et entre 1000 et 2000 ppm pour l'arsenic). Ces matériaux contiennent par ailleurs des quantités élevées d'antimoine (comprises entre 100 et 350 ppm) et d'étain (comprises entre 100 et 300 ppm). Pour deux des points de mesure (points n° 53 et 67), dont un a été réalisé sur une passée de couleur orangée (point n° 53), on constate également des teneurs élevées en cadmium (de l'ordre de 40 ppm), en cuivre (de l'ordre de 70 ppm) et en argent (de l'ordre de 50 ppm). A noter que les teneurs en plomb mesurées dans le cadre de cette étude s'avèrent, là encore, très supérieures à celles qui ont été obtenues par Géodéris en 2005.

Un point de mesure réalisé sur le chemin qui mène à l'ancienne laverie COMIREX (point

n° 78 réalisé à environ 150 m avant d'arriver à la laverie) semble indiquer que ce chemin, au moins pour la portion située entre la laverie et le point de mesure (figure 2), a pu faire l'objet d'un remblayage partiel avec les résidus (résidus localement visibles sur les accotements du chemin) ou qu'il fait régulièrement l'objet de décharges de matériels particuliers contaminés issu de ces résidus. La teneur en plomb mesurée sur ce chemin est en effet très élevée avec 11800 ppm.

f) La zone des anciens bassins de décantation

Ces anciens bassins (photo 20) sont situés dans la partie aval de la zone de dépôt. Ils sont en partie végétalisés et s'étendent sur un secteur d'environ 200 m de longueur et une trentaine de mètres de largeur.



Photo 20 : Anciens bassins de décantation situés dans la partie aval du site

Le sol de ces bassins est constitué par un matériau sableux fin, de couleur jaune à ocre. Ce dernier présente aussi des passées plus argileuses de couleur légèrement rougeâtre. Les trois mesures (points n° 68, 69 et 70) effectuées à l'intérieur de ces bassins indiquent des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (respectivement 8091 ppm et 7510 ppm pour le plomb et de l'ordre de 500 ppm pour l'arsenic). Pour les autres éléments (étain, antimoine, cuivre et argent), il existe une forte hétérogénéité de composition entre les différents points de mesure. On observe par exemple des teneurs élevées en étain et en antimoine uniquement pour le point n° 68, alors que ces deux éléments se situent sous la limite de détection pour les deux autres points.

g) Les terrains situés en bordure de rivière, en aval des anciens bassins de décantation.

Plusieurs terrains, qui font apparemment office de pâturages (présence de bétail observée lors de la visite de terrain), sont situés en aval du site minier et sont traversés par le ruisseau de la Veysière. Nous avons vu que ce ruisseau pouvait faire l'objet d'importantes décharges de matériel particulaire contaminé issus des tas de résidus de traitement situés en amont. Lors des périodes de forte crue, ce ruisseau peut donc être et/ou avoir été générateur de pollution sur les terrains situés en aval. Afin d'évaluer cet impact, une série de points de mesure a été effectuée en bordure de rivière sur les terrains situés entre les anciens bassins de décantation et la D986 (points n° 71 à 75, 79 et 80 ; photo 21).



Photo 21 : Terrains situés en aval du site, en bordure du ruisseau de la Veysière

Ces points de mesures confirment le fort impact des résidus de traitement sur les terrains investigués. Pour les points les plus proches du ruisseau, les teneurs en plomb s'avèrent élevées à très élevées (comprises entre 2824 ppm et 9566 ppm). Il en va de même pour les teneurs en arsenic (comprises entre des valeurs de l'ordre de 200 à 500 ppm). Dans les secteurs plats situés dans les zones concaves du ruisseau, il est ainsi possible d'observer, sous la couche de terre végétale, la présence d'un matériau fin d'apparence identique aux résidus de traitement. Ce type de matériau est aussi localement observable sur les bordures du ruisseau au niveau des zones fortement érodées par le courant.

A noter que l'impact lié aux résidus miniers tend à décroître dès lors que le secteur considéré est situé en hauteur par rapport au ruisseau. Ceci est notamment démontré par les deux points de mesures n° 72 et 74 qui ont été positionnés à quelques mètres de hauteur par rapport au ruisseau. On y observe ainsi des teneurs en plomb et en arsenic plus faibles que pour les points précédents (978 et 962 ppm pour le plomb et de l'ordre de 100 ppm pour l'arsenic).

L'impact généré par les résidus de traitement sur les terrains aval a ici été suivi jusqu'à la D486 au niveau du pont permettant au ruisseau de la Veyssière de franchir la route. Les deux mesures effectuées à ce niveau (points n° 79 et 80) montrent que l'impact des résidus miniers y est encore largement observable puisque les teneurs en plomb (respectivement 1015 et 4546 ppm) et en arsenic (respectivement de l'ordre de 200 et 400 ppm) restent bien supérieures au fond géochimique. Le point le plus contaminé (point n° 80) a été enregistré sur un matériau fin et ocre issu du curage d'un des cours d'eau situés près du pont, en contre bas de la route (photo 22). A noter que les mesures n'ont pas été poursuivies au-delà du pont et qu'il est très vraisemblable que l'impact des stocks de résidus miniers se fasse ressentir beaucoup plus en aval, au moins jusqu'au point de confluence avec la Sioule.



Photo 22 : Mesure effectuée en contre bas de la route sur un matériau issu du curage du ruisseau

Enfin, du strict point de vue de la qualité des eaux, l'analyse effectuée par Géoderis en 2005 et celle qui a été réalisée dans le cadre de cette étude (« Rosier 75 12-03-08 » : annexe 4) ont montré que le ruisseau de la Veyssière présente une contamination en plomb et en arsenic. Pour ces deux études, les teneurs mesurées sont respectivement de 128 µg/l et 61 µg/l pour le plomb et de 46 µg/l et 20 µg/l pour l'arsenic. Il convient aussi de signaler que l'analyse effectuée par Géoderis en 2005 avait montré une contamination en manganèse (202 µg/l), contamination qui n'a pas ici été retrouvée.

4.3.4. Le secteur de Barbecot

Ce secteur s'inscrit à cheval entre les communes de Chapdes-Beaufort et de Bromont-Lamothe. Il est situé sur la concession de Barbecot et est localisé à environ 5 km au nord de la ville de Pontgibaud. En rive droite de la Sioule, il est constitué par un imposant terril adossé à flanc de coteau et visible de la D418. En rive gauche, il est constitué par la zone de l'ancienne laverie située en contre bas de la D418. Ce site s'avère éloigné de toutes habitations.

a) La zone du terril

Cette zone constitue une propriété privée. Elle est accessible à pied, à partir du pont de Pranal par un chemin qui longe le versant du vallon.

Un plan d'ensemble de la zone est fourni en annexe 1.

En surface projetée, les dépôts occupent une superficie d'environ 9 000 m² et leur volume est estimé à 60 000³ (Rougeaud et Sauter, 1984). Ils sont non végétalisés et retenus en bordure de Sioule par un mur de soutènement dont l'état s'avère globalement satisfaisant (photo 23). Dans sa partie ouest, le terril est bordé par un petit fossé qui est censé canaliser les eaux de ruissellement venant de l'amont (photo 24).



Photo 23 : Terril principal de Barbecot avec son mur de soutènement dont le bord est visible sur la photo, en contre bas du terril



Photo 24 : Canal latéral creusé sur la bordure ouest du terril

Une galerie de petite section débouche à la base du mur de soutènement, à peu près dans l'axe central du terril. Cette dernière constitue une émergence de faible débit par laquelle s'écoule une eau rougeâtre qui induit un dépôt d'oxyhydroxydes de fer sur la berge, jusque dans la rivière (photo 25).

Une mesure effectuée sur ce dépôt indique qu'il présente des teneurs en plomb et en arsenic du même ordre de grandeur que celles du fond géochimique. Par rapport à ce dernier, la teneur en zinc s'avère par contre plus élevée puisqu'elle est de 1088 ppm. Il convient toutefois de rester prudent quant à l'ensemble des résultats affichés par la mesure car cette dernière a été réalisée sur un matériau à fort taux d'humidité, ce qui fausse généralement les résultats de l'analyse NITON[®] (annexe 5).

Des analyses montrent que l'eau sortant de la galerie est riche en calcium, en magnésium, en sodium et en bicarbonates (Géoderis, 2005 et « Barbecot 13-03-08 » : annexe 4). Elles indiquent par ailleurs que cette eau présente des teneurs très élevées en fer, en manganèse, en zinc, en cadmium, en lithium, ainsi qu'une légère contamination en arsenic.



Photo 25 : Dépôts d'oxyhydroxydes de fer en sortie de la galerie débouchant à la base du mur du terril

Le terril apparaît fortement raviné ce qui témoigne d'une érosion hydrique intense. Ceci se traduit par des décharges de matériel particulaire contaminé au sein de la Sioule lors des forts épisodes pluvieux. Une ravine importante et débouchant directement sur la rivière est d'ailleurs clairement observable à la base du flanc ouest du terril. De plus, le niveau des résidus affleure localement le sommet du mur de soutènement et des traces laissées sur ce mur témoignent du débordement de ces résidus lors des fortes pluies. Ces derniers sont alors rejetés directement dans la Sioule, entraînant ainsi une pollution des sédiments. En dehors de ces zones de passage préférentiel, on constate que le niveau des résidus se situe à environ 30 cm sous le sommet du mur de soutènement.

Il semble que des travaux destinés à stabiliser le terril aient été réalisés. Des banquettes et des fossés longitudinaux destinés à modifier le profil du tas ont ainsi été créés (photo 26). On peut toutefois penser que ces travaux ne seront très probablement pas suffisants pour éviter l'érosion hydrique du terril compte tenu du manque de tenue mécanique des résidus. La réalisation de tels travaux avait d'ailleurs déjà été demandée au propriétaire du site suite à une pollution de la Sioule liée à des déversements importants de matériaux contaminés issus du terril.



Photo 26 : Banquettes et fossés longitudinaux destinés à modifier le profil du tas

Les résidus stockés sur ce terril sont principalement constitués de matériaux fins, sableux, de couleur ocre à jaune. Ces derniers peuvent contenir localement des passées de couleur rouge à orange. En surface du terril, on peut aussi observer des zones constituées par un matériau très argileux dont la couleur varie du blanchâtre à l'orangé. Ce dernier semble s'accumuler préférentiellement dans la partie du terril qui borde le mur de soutènement (photo 27). Cette observation peut s'expliquer par la granulométrie extrêmement fine du matériau qui va donc être facilement mobilisable par les eaux de ruissellement et qui va venir se redéposer sur la zone plane du terril située juste en bordure du mur de soutènement (photo 27). Lors des épisodes pluvieux intenses, une partie de ce matériau argileux, très fortement contaminé, va alors être entraînée vers la Sioule au niveau des zones de passage préférentiel observées au sommet du mur.



Photo 27 : Matériau argileux blanchâtre rencontré sur le terril

Du point de vue de la composition chimique, les points de mesures effectués sur le matériau sableux de couleur ocre à jaune (points n° 90, 102 et 111) indiquent des teneurs très élevées en plomb et en arsenic. Les teneurs en plomb sont comprises entre 8320 ppm et 9836 ppm, celles en arsenic sont de l'ordre de 800 à 1000 ppm. Les teneurs en étain, en antimoine et en argent y sont également élevées (de l'ordre de 100 ppm pour l'étain, de 300 ppm pour l'antimoine et de 40 ppm pour l'argent). A noter aussi que ce type de matériau peut être localement contaminé en cuivre et en cadmium (annexe 2).

Les points de mesures effectués sur les passées rouges à oranges observées dans le matériau sableux (points n° 92, 93, 114) indiquent des teneurs en plomb supérieures à celles mesurées sur le matériau précédent (comprises entre 12331 ppm et 20435 ppm). Les teneurs en arsenic, en antimoine et en argent y sont par contre du même ordre de grandeur. Pour l'arsenic, à noter quand même une valeur anormalement élevée au niveau du point n° 114 (de l'ordre de 1800 ppm). Ce dernier apparaît d'ailleurs très enrichi en plomb, en zinc et en cuivre.

Pour les deux matériaux précédemment décrits, les teneurs en zinc apparaissent globalement plus élevées que celles qui ont été mesurées sur les dépôts des secteurs de « Pontgibaud stade » et de Roure/les Rosiers.

L'ensemble de ces résultats apparaît cohérent à la fois avec ceux qui ont été obtenus par par Rougeaud et Sauter en 1984, par ANTEA en 1995 et par Géodéris en 2005.

Les points de mesure effectués sur le matériau argileux (points n° 91, 103, 104, 112 et 113) indiquent, pour l'essentiel, des teneurs en plomb particulièrement élevées (teneurs pouvant atteindre des valeurs de l'ordre de 80000 ppm). Il en va d'ailleurs de même pour l'arsenic puisque les teneurs mesurées s'inscrivent dans une gamme de valeurs comprises entre 1000 ppm et 8000 ppm. Les teneurs en antimoine, en chrome, en cuivre, en cadmium, en nickel et en argent peuvent également y être élevées à très élevées (annexe 2). Ce type de matériau se distingue aussi par sa teneur en zinc qui apparaît plus élevée que celles qui ont été mesurées sur les matériaux précédents. Une teneur en zinc de 16750 ppm est notamment observée pour le point n° 91.

A noter que pour ce matériau argileux, les teneurs en polluants s'avèrent beaucoup plus élevées que celles qui ont été mesurées sur le terril par Rougeaud et Sauter en 1984, par ANTEA en 1995 et par Géodéris en 2005. Ces différences sont attribuables à des hétérogénéités de composition importantes au niveau des résidus. Il est ainsi probable que le matériau argileux ici investigué et qui constitue apparemment des dépôts de surface n'ait pas été analysé lors des études précédentes où les prélèvements ont été effectués jusqu'à 1.25 m de profondeur.

Afin d'évaluer l'impact des décharges de matière particulaire contaminée au niveau de la berge de la rivière, quelques points de mesure ont été positionnés en rive droite de la Sioule, à l'aplomb du terril (points 105, 106, 107 et 116) et légèrement en aval de ce dernier (points n° 109, 110).

Au moins pour un point, les résultats obtenus confirment l'impact lié à ces décharges de matière particulaire. Il s'agit du point de mesure qui a été réalisé à proximité de la base du mur de soutènement (point n° 106). Les teneurs en polluants s'y avèrent très élevées. Elles reflètent une composition voisine de celles qui ont été mesurées sur le matériau argileux trouvé en surface du terril, à proximité du mur de soutènement. Cette observation confirme que ce type de matériau subi un entrainement vers la Sioule lors des épisodes de forte précipitation.

Pour les autres points de mesures qui ont tous été positionnés en bordure immédiate de rivière (points n° 105, 107, 109, 110 et 116), les teneurs en polluants s'avèrent globalement beaucoup plus faibles que celles qui ont été enregistrées sur le point précédent (point n° 106). Les teneurs en plomb sont par exemple comprises entre 213 ppm et 4482 ppm. A l'image de ce qui a déjà été observé en bordure de Sioule pour le secteur de dépôt de « Pontgibaud stade », cette diminution des teneurs en polluants peut ici s'expliquer par un phénomène de lessivage des résidus par la rivière et/ou par une dilution de ces résidus avec du matériel non contaminé venu de l'amont.

Là encore, l'appréciation d'un éventuel impact lié à des décharges de matériel contaminé issu du terril doit être basée sur des analyses effectuées au niveau des sédiments de la Sioule accumulés dans les zones de faible courant.

Une mesure a pu être réalisée sur des sédiments au niveau d'un îlot situé au centre de la rivière, en aval du terril et en amont du secteur de Pranal (point n° 135 ; photo 28). Les teneurs en plomb et en arsenic qui ont été enregistrées sur ce point s'avèrent légèrement supérieures à celles du fond géochimique. Elles sont de 618 ppm pour le plomb et de l'ordre de 90 ppm pour l'arsenic. Une contamination en antimoine, en étain, en cadmium et en argent y a également été observée (teneurs respectives d'environ 200 ppm, 100 ppm, 40 ppm et 20 ppm). Ces résultats tendent à indiquer qu'il existe une contamination des sédiments de la Sioule liée à l'ensemble des dépôts de résidus situés en amont du point de mesure (dépôts de Barbecot, de « Pontgibaud stade » et de Roure/les Rosiers). Dans le cas présent, cette contamination reste toutefois assez peu marquée car l'îlot investigué est très vraisemblablement régulièrement lessivé par les eaux de la Sioule compte tenu de sa position.

Quoi qu'il en soit, la présence de cet ensemble de dépôts ne semble pas affecter significativement la qualité de l'eau de la Sioule, comme en témoigne une analyse d'eau effectuée au pied du pont de Pranal et donc en aval de ces dépôts (analyse « Barbecot 116 13-03-08 » : annexe 4).



Photo 28 : Ilot situé en aval du terril de Barbecot et en amont des bassins de décantation de Pranal et des déblais miniers du Chalard

Pour clore l'interprétation des mesures effectuées en rive droite de la Sioule, nous nous devons de présenter les résultats d'analyses réalisées à l'écart du terril, au niveau du flanc de coteau sur lequel repose ce terril. A l'exception d'une mesure (point n° 97), les analyses effectuées sur les points les plus éloignés du terril (environ 80 m pour le plus éloigné et une vingtaine de mètres pour le plus proche; points n° 95, 96, 98, 99 et 115) indiquent des concentrations en polluants qui sont situées dans les niveaux de teneur du fond géochimique. Ce résultat montre que le terril ne semble pas avoir généré d'impact significatif sur le flanc de coteau, au moins au-delà d'une distance d'environ 20 m de part

et d'autre de ce terril. Pour le point n° 97, les teneurs en polluants observées apparaissent anormalement élevées compte tenu de son éloignement par rapport au terril (4262 ppm pour le plomb, respectivement de l'ordre de 1000 ppm pour le chrome, 350 ppm pour l'arsenic, 280 ppm pour le nickel et 30 ppm pour l'argent). Cette anomalie s'explique par la position du point de mesure, l'analyse ayant ici été réalisée sur le sol situé juste en sortie d'une galerie observable au niveau du talweg (présence de haldes mélangées au sol).

Pour les points situés à l'écart du terril, mais à une distance plus faible que les points précédents (distance inférieure ou égale à la vingtaine de mètres), les analyses indiquent des teneurs en polluants qui s'avèrent légèrement supérieures à celles du fond géochimique (points n° 94, 100 et 101). Ces teneurs restent malgré tout très inférieures à celles qui ont été mesurées sur les résidus de traitement. Les teneurs en plomb sont comprises entre 666 ppm et 743 ppm et celles en arsenic avoisinent les 100 ppm. Ces résultats montrent que le flanc de coteau s'avère légèrement impacté par le terril sur une zone d'environ 20 m de part et d'autre de ce dernier.

b) La zone de l'ancienne laverie

Cette zone constitue l'autre partie du site de Barbecot. On y accède en voiture par un chemin qui se raccorde à la D418. Elle fait face au terril principal, en rive gauche de la Sioule. On y retrouve les vestiges des ateliers de la laverie. On y trouve aussi quelques dépôts de résidus de traitement stockés en bordure de Sioule, en hauteur par rapport à cette dernière. Enfin, cette zone se caractérise aussi par la présence du puits Sainte Barbe dont les eaux font l'objet d'un important dégagement gazeux (photo 29).



Photo 29 : Le puits Sainte Barbe

Une analyse effectuée sur les eaux de ce puits (Géodéris, 2005) montre des caractéristiques chimiques voisines de celles observées au niveau des eaux sortant de la galerie qui passe sous le terril principal. Elle ne montre par contre pas de contamination en arsenic, ni en zinc. Les eaux du puits Sainte Barbe sont responsables de la formation de dépôts massifs rougeâtres à orangés au niveau du sol environnant (dépôts d'oxyhydroxydes de fer ; photo 30). Comme pour les dépôts observés en sortie de la galerie située au pied du mur de soutènement du terril principal, le point de mesure réalisé sur ces oxyhydroxydes de fer (point n° 87) indique, là encore, de faibles teneurs en polluants (82 ppm pour le plomb et sous la limite de détection de la mesure pour les autres polluants). A noter que ce type de dépôts est également observé en bordure rive gauche de Sioule où il se déverse directement dans la rivière (photo 31).



Photo 30 : Dépôts massifs d'oxyhydroxydes de fer au pied du puits Sainte Barbe



Photo 31 : Dépôts massifs d'oxyhydroxydes de fer en bordure rive gauche de la Sioule

Pour le secteur de l'ancienne laverie l'essentiel des points de mesure a été positionné entre la route D418 et le chemin situé en contre bas de cette dernière (points n° 86, 88, 140 à 143, 148 et 149). Le point n° 86 a été placé près du puits Sainte Barbe et le point n° 149 près des vestiges d'une ancienne roue à aube. Les autres points ont été positionnés, pour l'essentiel, dans le sous bois situé à proximité de ces vestiges et au sein duquel il est possible d'observer les traces d'un ancien canal. Toutes ces mesures indiquent un niveau de contamination des sols globalement très élevé avec des teneurs en plomb qui peuvent atteindre 27463 ppm. Les teneurs en arsenic y sont également très élevées puisqu'elles avoisinent au maximum des valeurs de l'ordre de 1700 ppm. Le chrome, l'antimoine, le cuivre, le nickel et l'argent peuvent aussi être présents en teneurs importantes (jusqu'à 600 ppm pour le chrome, 250 ppm pour l'antimoine, 130 ppm pour le cuivre, 200 ppm pour le nickel et 70 ppm pour l'argent). Les teneurs en zinc sont là encore globalement plus élevées que celles qui ont été mesurées sur les secteurs de « Pontgibaud stade » et de Roure/les Rosiers.

Le point le plus contaminé en plomb et en arsenic (point n° 140) a été enregistré sur le sol d'une zone partiellement enherbée et située à l'entrée de la prairie qui jouxte la lisière ouest du sous bois. Ce sol est constitué d'un sable argileux de couleur ocre à orange.

Pour le point n° 149 qui, rappelons le, a été réalisé près des vestiges d'une ancienne roue à aube, il convient de signaler, sous la couche de surface (terre argileuse orange), la présence d'encroutements composés par un matériau induré et stratifié (alternance de couches centimétriques à millimétriques de couleur ocre et orangé). Ce matériau (point n° 149B) se caractérise par des teneurs élevées en calcium et en manganèse. Les teneurs en polluants y sont par contre très faibles.

Pour compléter les analyses réalisées sur le secteur de l'ancienne laverie, deux points de mesure (points n° 146 et 147) ont par ailleurs été effectués sur les tas de résidus de traitement localisés en rive gauche de la Sioule, en face du terril principal. Ces derniers sont non végétalisés et sont essentiellement constitués d'un matériau fin de couleur jaunâtre (photo 32). Les deux analyses effectuées sur ces résidus indiquent des teneurs en plomb et en arsenic qui sont du même ordre de grandeur que celles qui ont été mesurées sur le matériau sableux du terril principal.



Photo 32 : En premier plan, dépôts de résidus de laverie situés en face du terril principal de Barbecot (arrière plan)

Enfin, de manière à pouvoir évaluer son niveau de contamination, quelques points de mesures ont aussi été effectués dans la prairie située presque en face du terril principal, juste à côté du secteur de l'ancienne laverie (prairie qui jouxte la lisière ouest du sous bois). Il convient ici de préciser que cette prairie constitue de toute évidence un lieu de pâturage. Trois points de mesure y ont été réalisés (points n° 89, 144 et 145). Pour deux d'entre eux, les mesures indiquent que les teneurs en plomb s'avèrent plus élevées que celles du fond géochimique. Ce résultat semble donc indiquer que la prairie a pu localement être impactée par l'ancienne activité minière. Compte tenu de la position de cette prairie, plusieurs hypothèses pourraient expliquer la contamination :

- un impact ancien lié à la proximité de la prairie par rapport au secteur d'activité de l'ancienne laverie.
- un impact lié à des phénomènes d'envols de poussières contaminées issus du terril principal (situé en rive droite de la Sioule) et des tas de résidus de traitement situés en face de ce terril (tas situés en rive gauche de la Sioule)
- un impact lié à des épandages anciens et/ou récents de résidus miniers lors d'épisodes exceptionnels de crue (inondation de la prairie).

4.3.5. Secteur de Pranal.

Ce secteur est situé sur la commune de Chapdes–Beaufort, à environ 1 km à l’ouest du terroir de Barbecot. Comme le secteur précédent, il s’inscrit dans la concession de Barbecot. On y distingue les bassins de décantation de Pranal, les déblais miniers du Chalard, plusieurs puits et entrées de galerie, le canal des eaux motrices ainsi que l’ancienne voie ferrée qui permettait d’acheminer le minerai jusqu’à la laverie de Barbecot. Ce site est éloigné de toutes habitations.

Un plan d’ensemble du secteur est fourni en annexe 1.

La visite de terrain et les mesures ont ici essentiellement porté sur les bassins de décantation de Pranal et les déblais miniers de la mine du Chalard. Quelques mesures ont aussi été effectuées sur la trace de l’ancienne voie ferrée.

a) Les bassins de Pranal

Ces bassins sont situés dans un méandre, en bordure rive droite de la Sioule. Ils sont d’un accès pédestre mal aisé. Il est notamment possible d’y accéder depuis la rive gauche de la Sioule, en traversant cette dernière à l’aval de l’ancien pont de la voie ferrée de la mine.

Ils sont non végétalisés et présentent une forme semi circulaire d’environ 100 m de diamètre (photo 33). Ils sont séparés de la rivière par une digue et sont remplis de résidus fins de couleur blanchâtre à jaunâtre. A quelques centimètres de profondeur, ces résidus apparaissent stratifiés et constitués d’une alternance de couches centimétriques de couleurs blanchâtre et rougeâtre. Le volume de résidus stocké dans ces bassins est estimé à environ 10 000 m³ (Rougeaud et Sauter, 1984). Ils sont partiellement recouverts d’une lame d’eau qui occupe à peu près la moitié de leur superficie. Une analyse chimique effectuée sur cette eau (« Pranal 13-03-08 » : annexe 4) indique qu’elle présente un pH de 5.3, une conductivité de 252 µS/cm et une très forte contamination en manganèse (291 µg/l), en plomb (4724 µg/l), en zinc (10610 µg/l) et en cadmium (55 µg/l).



Photo 33 : Les bassins de décantation de Pranal

Les trois points de mesure effectués sur les résidus, au sein même de ces bassins (points n° 118 à 120), indiquent tous des teneurs en plomb et en arsenic très élevées (teneurs pouvant atteindre des valeurs de l'ordre de 40000 ppm pour le plomb et teneurs de l'ordre de 1000 ppm pour l'arsenic). Ces résidus s'avèrent également riches en antimoine (teneurs comprises entre 140 ppm et 300 ppm) et en argent (teneurs comprises entre 30 ppm et 100 ppm). Ils peuvent aussi s'avérer localement contaminés en cuivre à l'image du point n° 120 (teneur de l'ordre de 80 ppm). Là encore, les teneurs en zinc (comprises entre 1730 ppm et 2604 ppm) sont supérieures à celles qui ont été mesurées sur les résidus des secteurs de « Pontgibaud stade » et de Roure/les Rosiers.

Le point n° 117, effectué entre la rivière et l'entrée des bassins, montre quant à lui des teneurs en polluants beaucoup plus faibles (931 ppm de plomb et de l'ordre de 90 ppm pour l'arsenic).

Les résultats des mesures effectuées sur les résidus de décantation contenus dans ces bassins sont globalement conformes à ceux qui ont été obtenus par ANTEA en 1995. Les teneurs en plomb sont par contre beaucoup plus élevées que celles qui ont été enregistrées par Rougeaud et Sauter en 1984 et par Géodéris en 2005. Il convient aussi de signaler que l'étude ANTEA avait permis de mettre en évidence une contamination en cadmium dont les teneurs pouvaient atteindre localement 73 ppm. Ce niveau de contamination n'a pas été observé dans le cadre des autres études réalisées sur le secteur. Dans le cas présent, toutes les teneurs en cadmium se sont avérées inférieures à la limite de détection de la mesure. Les teneurs en cadmium mesurées dans le cadre des travaux de Rougeaud et Sauter (1984) et de Géodéris (2005) avoisinaient, quant à elles, les 10 ppm.

De façon à apprécier une éventuelle contamination des berges de la Sioule due à un entraînement des résidus hors des bassins lors des périodes de crue, plusieurs points de mesure ont été positionnés entre la Sioule et ces bassins (points n° 121 à 124). Ils indiquent tous des teneurs en plomb et en arsenic qui s'avèrent globalement supérieures à celles du fond géochimique, ce qui tendrait à indiquer un impact effectivement lié à des dépôts anciens et/ou récents de résidus hors des bassins.

b) Les déblais miniers du Chalard

Les investigations de terrains ont ensuite portés sur les déblais miniers du Chalard. Ces derniers sont situés en aval des bassins de décantations et sont facilement accessibles en suivant la trace de l'ancienne voie ferrée. Ils sont partiellement végétalisés et sont stockés en bordure rive droite de la Sioule sous la forme d'un tas qui borde la rivière sur environ 150 m. Leur volume est estimé à 9000 m³ (Rougeaud et Sauter, 1984). Les observations de terrain indiquent clairement que ces dépôts sont responsables de décharges de matériel particulaire au sein de la Sioule lors des épisodes pluvieux (photo 34).



Photo 34 : Déblais miniers du Chalard situés juste en bordure de la Sioule

Ces déblais sont constitués d'un matériau grossier mélangé à une fraction fine de couleur jaunâtre à ocre (photo 35). On y observe localement la présence d'une terre brune mélangée à une fraction caillouteuse.



Photo 35 : Autre illustration des déblais miniers du Chalard

Quatre mesures y ont été effectuées (points n° 126 à 129). Elles ont porté sur la fraction fine (matériau jaunâtre à ocre et terre brune) et indiquent toutes des teneurs très élevées en plomb et en arsenic. Les teneurs en plomb sont en effet comprises entre 8613 ppm et 29532 ppm. Celles en arsenic sont comprises dans une gamme de valeurs allant d'environ 600 ppm à 2700 ppm. Les mesures montrent également que ces déblais peuvent localement contenir des teneurs élevées à très élevées en antimoine (jusqu'à 800 ppm), en étain (jusqu'à 300 ppm), en cuivre (jusqu'à 100 ppm), en cadmium (jusqu'à 100 ppm) et en argent (jusqu'à 100 ppm).

A noter que les teneurs en plomb apparaissent ici beaucoup plus élevées que celles qui ont été mesurées par Rougeaud et Sauter en 1984 (3430 ppm). Cette différence de composition pourrait s'expliquer par l'hétérogénéité des déblais qui, nous le rappelons, sont constitués d'une fraction grossière mélangée à du matériau beaucoup plus fin. Il est possible que le prélèvement effectué dans le cadre des travaux de Rougeaud et Sauter ait pu intégrer une partie de cette fraction grossière, alors que la mesure ici réalisée n'a porté exclusivement que sur la fraction fine.

Afin d'évaluer un éventuel impact sur les sédiments de la Sioule lié à des décharges de matière particulaire contaminée issues des bassins de Pranal et/ou des déblais du Chalard, un point de mesure a été réalisé en aval de ces derniers (point n° 130). Aucune analyse sur sédiment n'a malheureusement ici été possible, ce qui nous a obligé à positionner le point de mesure sur une zone plane (zone enherbée) située juste en bordure de rivière, à environ 30 m en aval des tas de déblais. Au niveau de la zone de berge investiguée, les résultats de cette mesure ne mettent pas en évidence d'impact significatif généré par les déblais et les bassins situés en amont. Les teneurs en plomb et en arsenic mesurées sur cette zone (respectivement 659 ppm et de l'ordre de 80 ppm) s'avèrent en effet très voisines de celles qui ont été enregistrées sur le point positionné en amont du système bassins/déblais (point n° 135 ; cf. 4.3.4.a).

La zone analysée ne semble donc pas avoir été contaminée par des épandages de matériel fin issu des bassins de décantation de Pranal et des déblais miniers du Chalard situés en amont. Cette observation, qui n'est basée que sur un seul point de mesure (point n° 130), ne peut toutefois être étendue à l'extérieur de la zone investiguée et ne peut permettre d'écarter une possible contamination des sédiments de la Sioule accumulés en aval. Comme pour les secteurs précédents, des mesures directes sur sédiments seraient ici nécessaires en aval du système bassins/déblais pour apprécier un éventuel impact lié à des épandages de matériel particulaire contaminé au sein de la rivière. Ces mesures n'ont malheureusement pas pu être réalisées dans le cadre de la visite de terrain. A noter qu'un enrichissement en plomb (et dans une moindre mesure en arsenic) des sédiments situés à l'aval des bassins avait été mis en évidence dans le cadre de l'étude ANTEA de 1995. Nous rappelons par ailleurs que la présence de sols contaminés au plomb détectée entre les bassins de Pranal et la Sioule semble ici témoigner de l'existence d'épandages de matériel contaminé depuis ces bassins vers la rivière.

Enfin, du strict point de vue de la qualité des eaux, une analyse effectuée en aval des bassins de Pranal (ANTEA, 1995) a par ailleurs montré que l'eau de la Sioule ne présentait pas de signe de contamination due à la présence de ces bassins et des résidus situés en amont.

c) L'ancienne voie ferrée

Il s'agit ici de la trace de l'ancienne voie ferrée qui permettait d'acheminer le minerai jusqu'à la laverie de Barbecot. Elle est en grande partie située sur la rive droite de la Sioule. A son extrémité Est, elle passe ensuite sur la rive gauche de la rivière, entre le pont de Pranal et les bassins de décantation. Son tracé est plus ou moins bien repérable selon les secteurs concernés. Entre les bassins et les déblais de la mine du Chalard, elle se traduit, par exemple, par un cordon pierreux qui longe la Sioule. Les deux points de mesures effectués sur ce cordon (points n° 125 et 131) indiquent des teneurs très élevées en plomb et en arsenic. Pour le plomb, elles sont respectivement de 4922 ppm et 3804 ppm. Pour l'arsenic, elles sont de l'ordre de 400 ppm. A noter aussi une teneur anormale en chrome pour l'échantillon n° 125 (de l'ordre de 3000 ppm).

En amont des bassins de décantation, deux points de mesure ont été effectués sur le tracé supposé de la voie ferrée (points n° 134 et 136). Ces derniers, situés à proximité de la Sioule indiquent, là encore, des teneurs très élevées en plomb et en arsenic (teneurs atteignant des valeurs de l'ordre de 80000 ppm pour le plomb et de 5500 ppm pour l'arsenic). Ces deux points s'avèrent également contaminés en antimoine (teneurs respectives d'environ 300 et 800 ppm), en étain (teneurs d'environ 100 ppm) et en argent (teneurs respectives d'environ 40 et 150 ppm). A noter que le point de mesure n° 136 qui a été effectué sur une terre jaune argileuse mélangée à de nombreux cailloux se caractérise par des teneurs en polluants particulièrement élevées.

Deux points de mesures (points n° 137 et 139) ont ensuite été positionnés au voisinage des vestiges du pont situés en rive gauche de la Sioule, au niveau de l'ancien passage de la voie ferrée au dessus de la rivière. Le premier de ces deux points (point n° 137) a été réalisé au pied des vestiges, à proximité de la Sioule. Il a été effectué sur un sable fin de couleur gris foncé. Les teneurs en polluants y sont proches de celles trouvées sur les sédiments situés en amont des bassins (point n° 135 ; cf. 4.3.4.a). Les teneurs enregistrées sont par exemple de 779 ppm pour le plomb et de l'ordre de 90 ppm pour l'arsenic. Le deuxième point (point n° 139) a été positionné au dessus des vestiges du pont, sur une terre jaune caillouteuse et recouverte d'une couche de terre végétale d'environ 5 cm d'épaisseur. La mesure qui a été effectuée après avoir décapé cette couche de terre végétale indique des teneurs en polluants beaucoup plus élevées que pour le point précédent. Pour le plomb on enregistre une valeur de 7902 ppm et pour l'arsenic une valeur de l'ordre de 1000 ppm. Ce point s'avère également contaminé en antimoine (teneur de l'ordre de 300 ppm), en étain (teneur de l'ordre de 150 ppm), en chrome (teneur de l'ordre de 800 ppm), en cadmium (teneur de l'ordre de 50 ppm) et en argent (teneur de l'ordre de 30 ppm).

L'ensemble de ces mesures effectuées sur le tracé supposé de l'ancienne voie ferrée permet donc de mettre clairement en évidence l'impact dû au passage de cette dernière. Cet impact a pu ici être généré soit par la présence de ballast minéralisé, soit par la chute de minerai en dehors des wagonnets lors du transport vers la laverie de Barbecot.

5. CONCLUSION GENERALE

Pour les quatre sites analysés, les mesures de terrain ont été axées sur les dépôts de résidus de traitement qui apparaissent comme les matériaux les plus toxiques en terme de santé publique du fait de leur faible granulométrie. Quelques analyses ont également été effectuées au niveau des eaux superficielles. Elles ont localement mis en évidence des niveaux de contamination importants liés à des résurgences minières et à la présence des dépôts de résidus de traitement.

Les analyses de terrain, réalisées sur environ 150 points de mesure, démontrent une nouvelle fois la forte toxicité des résidus de traitement. Par rapport aux analyses antérieures déjà effectuées sur ces résidus, elles montrent par ailleurs que ces matériaux peuvent présenter de fortes hétérogénéités de composition. Le plomb et l'arsenic y constituent les polluants majeurs avec des teneurs qui peuvent s'avérer particulièrement élevées : jusqu'à environ 80000 ppm pour le plomb et 8000 ppm pour l'arsenic. Ces résidus peuvent aussi présenter localement des teneurs importantes en antimoine, en étain, en cadmium, en cuivre et en argent. Les teneurs en chrome sont quant à elles élevées pour la très grande majorité des points de mesure. Les analyses de laboratoire montrent aussi que ces résidus s'avèrent souvent fortement contaminés en baryum. Enfin, par comparaison à d'autres mines polymétalliques étudiées dans la région Languedoc-Roussillon (Malines, Bleymard, La Croix de Pallière...), les teneurs en zinc restent par contre globalement moyennes à peu élevées, ces dernières étant la plupart du temps inférieures à 2000 ppm.

Pour le secteur de « Pontgibaud stade » le volume du dépôt de résidus de traitement avoisine les 60 000 m³. Les teneurs en plomb y sont globalement comprises entre 5000 ppm et 1.6 % avec des passées particulièrement contaminée puisqu'elles présentent des teneurs en plomb qui avoisinent les 3 %. Pour ce secteur, le matériau peut localement présenter des teneurs élevées en arsenic (jusqu'à 600 ppm).

Pour le secteur de Roure/les Rosiers, le volume de dépôts de résidus de traitement est beaucoup plus important que celui du secteur précédent. Il est estimé à environ 257 000 m³. Pour ces résidus, les teneurs en plomb s'échelonnent entre environ 8000 ppm et 2.6 %. Là encore, la concentration en arsenic peut s'avérer très élevée puisqu'elle peut atteindre localement des valeurs de l'ordre de 2000 ppm.

Les résidus de traitement du secteur de Barbecot présentent, pour leur part, un volume de l'ordre de 60 000 m³. Ils se caractérisent par des teneurs en plomb qui sont du même ordre de grandeur que pour le secteur de Roure/les Rosiers (comprises entre environ 8000 ppm et 2 %). Ils contiennent par contre localement du matériel argileux qui se caractérise par une très forte contamination en polluants et notamment en plomb et en arsenic. Dans ce matériel, la teneur en plomb peut atteindre 8 % et celle en arsenic peut s'élever jusqu'à des valeurs de l'ordre de 8000 ppm.

Enfin, pour le secteur de Pranal, le volume de résidus de traitement stocké au niveau des bassins est estimé à 10 000 m³. Ces résidus présentent des teneurs en plomb très élevées qui sont globalement comprises entre environ 2 % et 4 %. Là encore, les teneurs en arsenic s'avèrent très élevées puisqu'elles avoisinent les 1000 ppm.

Pour l'ensemble des secteurs étudiés, les tas de résidus miniers situés en bordure de rivière ou de ruisseaux, sont affectés par une forte érosion hydrique et sont responsables de décharges de matériel particulaire contaminé vers le réseau hydrographique superficiel lors des épisodes pluvieux. Ces décharges sont alors potentiellement responsables d'une pollution des sédiments dans les zones de dépôt préférentiels (zones de faible courant et pied de barrage). Dans le cadre de ce travail, une contamination importante liée à ces décharges de matière particulaire a notamment pu être mise en évidence au niveau des zones de prairies située en bordure du ruisseau de la Veyssière, en aval du dépôt de Roure/les Rosiers.

Les mesures effectuées sur certains terrains situés à proximité des dépôts de résidus de traitement (prairies situées à proximité des dépôts de « Pontgibaud stade » et en contre bas du terroir principal de Barbecot) montrent par ailleurs qu'il existe localement une contamination qui pourrait être attribuée à des envols de poussières à partir de ces dépôts.

Enfin, à noter que des teneurs en plomb supérieures à celles du fond géochimique ont été enregistrées au niveau d'un des deux stades de football de Pontgibaud (stade situé le plus près du gymnase). Il est ici très vraisemblable que ce stade ait fait l'objet d'un remblayage avec les résidus miniers situés à proximité.

A l'exception des secteurs de « Pontgibaud stade » et de Roure/les Rosiers qui sont respectivement proches de la ville de Pontgibaud et du village des Rosiers, les deux autres secteurs (secteurs de Barbecot et de Pranal) sont isolés de toutes habitations. Le secteur de Pranal est difficile d'accès et donc peu propice à une exposition régulière et prolongée. Pour ce secteur nous proposons simplement d'installer une signalisation au niveau des bassins, indiquant le danger lié à la forte toxicité des matériaux qui y sont stockés. Pour le secteur de Barbecot, le terroir principal s'avère également d'un accès peu aisé. Il est donc, lui aussi, peu propice à une exposition régulière et prolongée. Nous préconisons donc que le propriétaire du site mette en place une signalisation indiquant le danger. La zone du secteur de Barbecot située en rive gauche de la Sioule est quant à elle facilement accessible à partir de la route. Dans la mesure où elle s'avère en certains endroits fortement contaminée, nous préconisons d'en limiter l'accès et d'y installer une signalisation indiquant le danger.

Pour les deux autres secteurs, plus sensibles en terme d'enjeux (proximité d'habitations), nous préconisons aussi de limiter l'accès aux dépôts et d'installer une signalisation indiquant le danger. Pour le secteur de « Pontgibaud stade », le contrôle de l'accès à partir de la D418 est déjà grandement facilité par l'existence de la grille installée au niveau du chemin d'accès de la station de traitement des eaux. Ces préconisations pourront également être étendues aux anciens bassins de décantation situés en bordure de Sioule. Enfin, toujours pour le secteur de « Pontgibaud stade » et en terme de santé publique, il nous semble aussi important d'informer les habitants des quelques maisons installées sur la zone de l'ancienne laverie et qui peuvent être régulièrement exposés aux sols contaminés situés à proximité immédiate de leur propriété.

Pour le secteur de Roure/les Rosiers, outre le fait de limiter l'accès aux dépôts et d'installer une signalisation indiquant le danger au niveau de ces dépôts, il nous semble important d'empêcher le bétail d'accéder aux zones de berges du ruisseau de la Veyssière pour les prairies situées en aval des dépôts. Nous avons en effet constaté que ces zones de berge pouvaient être fortement contaminées par les résidus de traitement (forte contamination au plomb). L'eau du ruisseau apparaît par ailleurs contaminée en plomb et en arsenic.

Enfin, pour les quatre secteurs étudiés, il nous semble ici essentiel de réfléchir à des solutions techniques adaptées permettant de limiter, voire d'éliminer, les épandages de matériel particulaire contaminés au sein du réseau hydrographique superficiel ou, comme c'est le cas sur le secteur de « Pontgibaud stade », au niveau des terrains situés en pied de dépôt. Des mesures d'urgence, n'impliquant pas la mise en œuvre de travaux lourds avaient déjà été proposées par Géoderis en 2005. Elles restent ici d'actualité et permettraient d'obtenir un abaissement significatif de l'impact environnemental des dépôts de résidus miniers.

Sur la seule base de ce travail, nous nous limiterons à ces quelques recommandations simples et faciles à mettre en œuvre. Il ne s'agit pas ici d'anticiper les éventuelles conclusions d'une démarche s'inscrivant dans la méthodologie nationale relative à la gestion des sites et sols pollués et dont l'application permettrait d'aboutir à une gestion optimale du risque.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Rougeaud J., Sauter M. (1984) – Evaluation des possibilités de réutilisation de déchets miniers de la division minière du massif central. Rapport BRGM 84 SGN 095.

ANTEA (1995) – Réhabilitation des anciennes mines de Pranal (63). Diagnostic environnemental et pré-faisabilité du réaménagement. Rapport ANTEA A 03774.

Marroncle J.L. (2004) – District plombo-argentifère de Pontgibaud (63). Concession de Barbecot, de Combes et de Roure : inventaire des vestiges miniers et préconisations de mise en sécurité. Rapport BRGM/RP-53513-FR

Géoderis (2005) – Ouvrages débouchant au jour et résidus miniers des concessions de Barbecot, Combes et Roure (63) ; état des lieux et propositions de mise en sécurité. GEODERIS-05-AUV-2101-R01/AD.

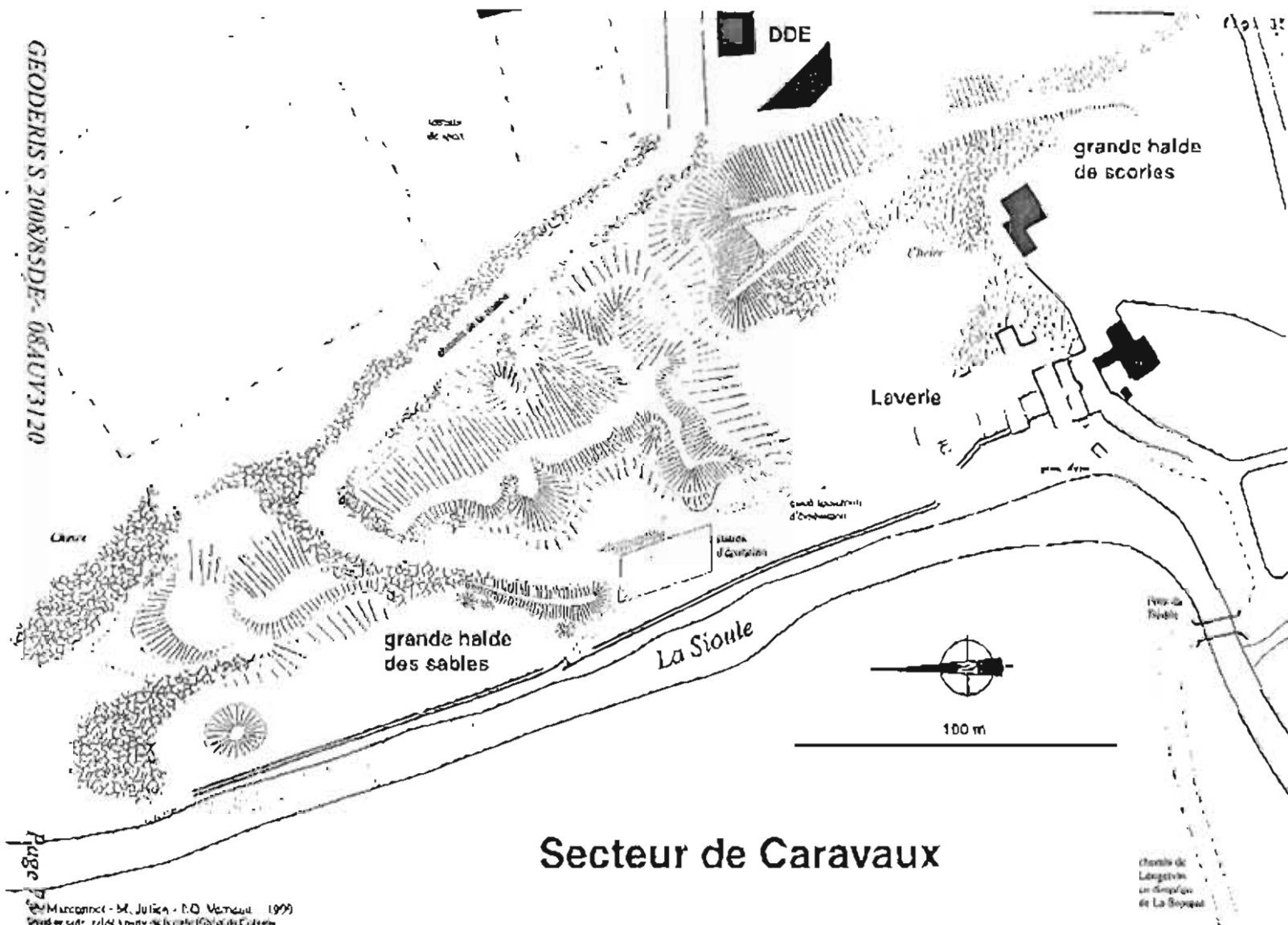
Laperche V. (2005) – Evaluation des performances du spectromètre portable de fluorescence X Niton XL723S (au laboratoire et sur le terrain). Rapport BRGM n° RP-53377-FR.

BRGM (2008) – Compte rendu de mission sur les sites miniers du secteur de Pontgibaud. Analyses de sol par spectrométrie de fluorescence X portable NITON XLT 792WY. Prélèvements et analyses de sol et d'eau. BRGM/Note-2008-350-EPI-CEE.

ANNEXE 1

Plans des différents secteurs étudiés (Géodéris, 2005)

GEODERIS S 2008/85DE-08AUV3120



Secteur de Caravaux

Schéma des stocks de résidus de traitement de Pontgibaud (extrait Document C.Marconnet)

Marconnet - M. Julien - P.O. Vermeil - 1999
Schéma de site - 1/25000 - Pontgibaud (Gard) - C. Marconnet

Page 73 sur 97

Cadastre des usines de Pontgibaud

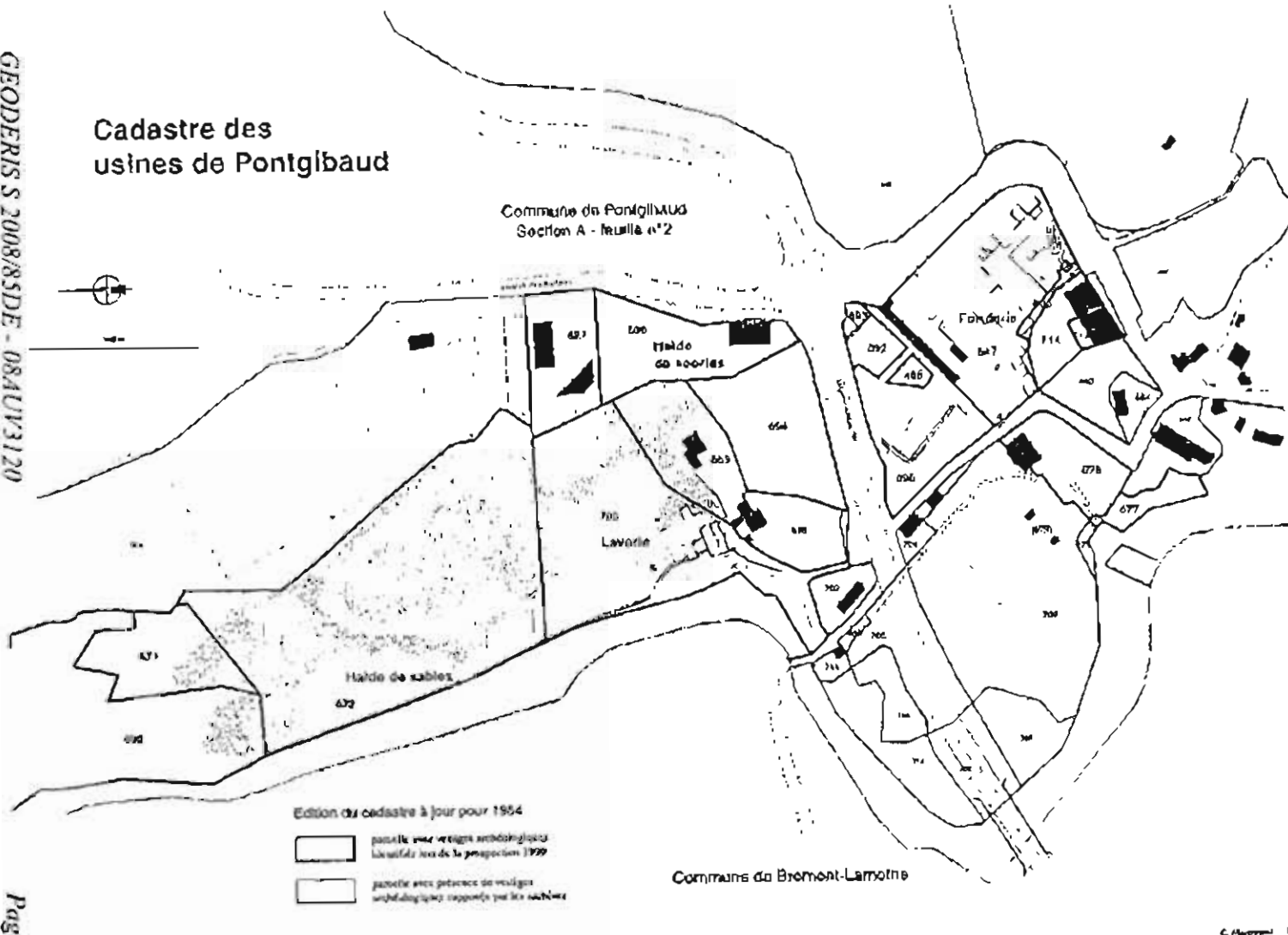
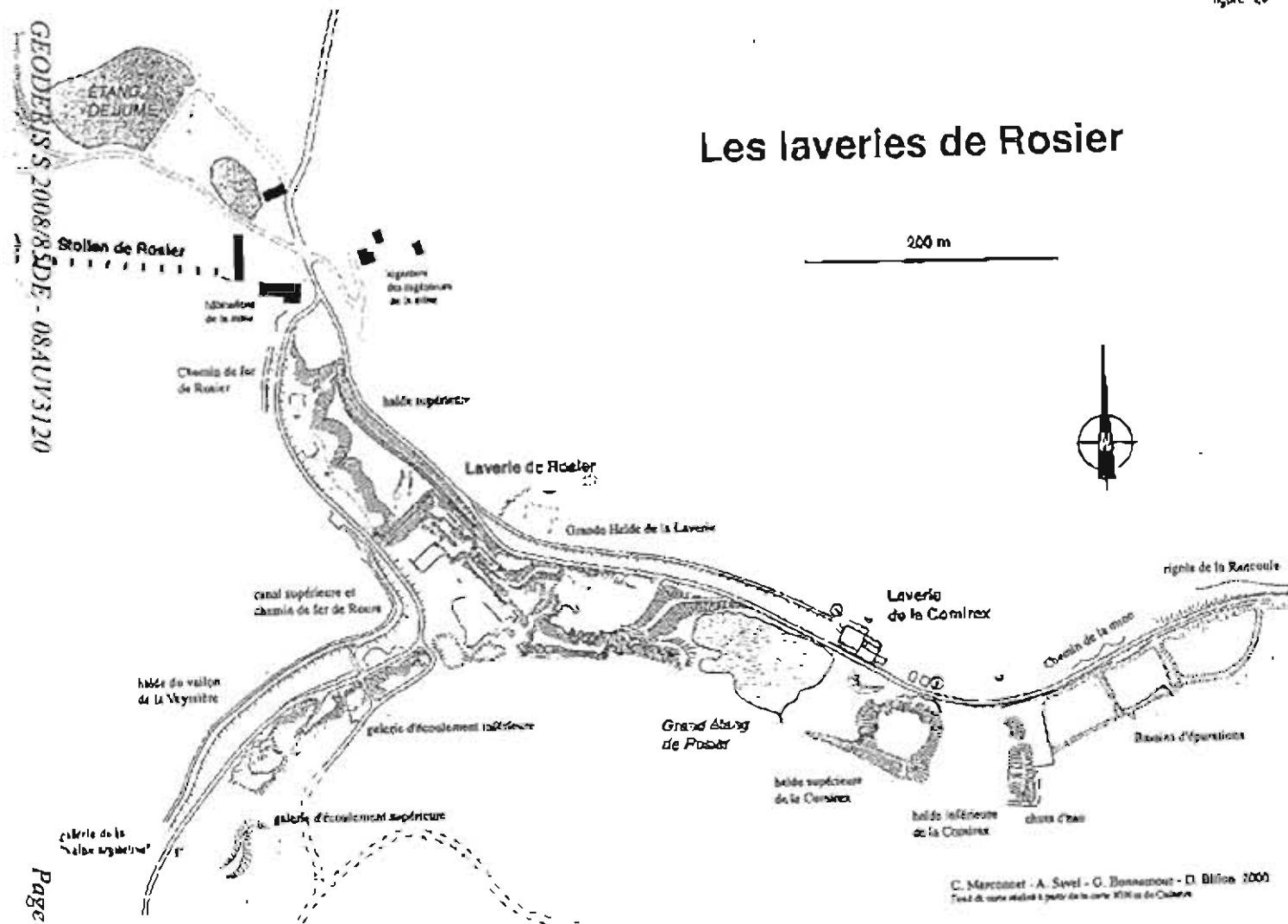


Schéma de l'ensemble industriel de Pontgibaud sur fond cadastral. (extrait Document C Marconnet)

Les laveries de Rosier

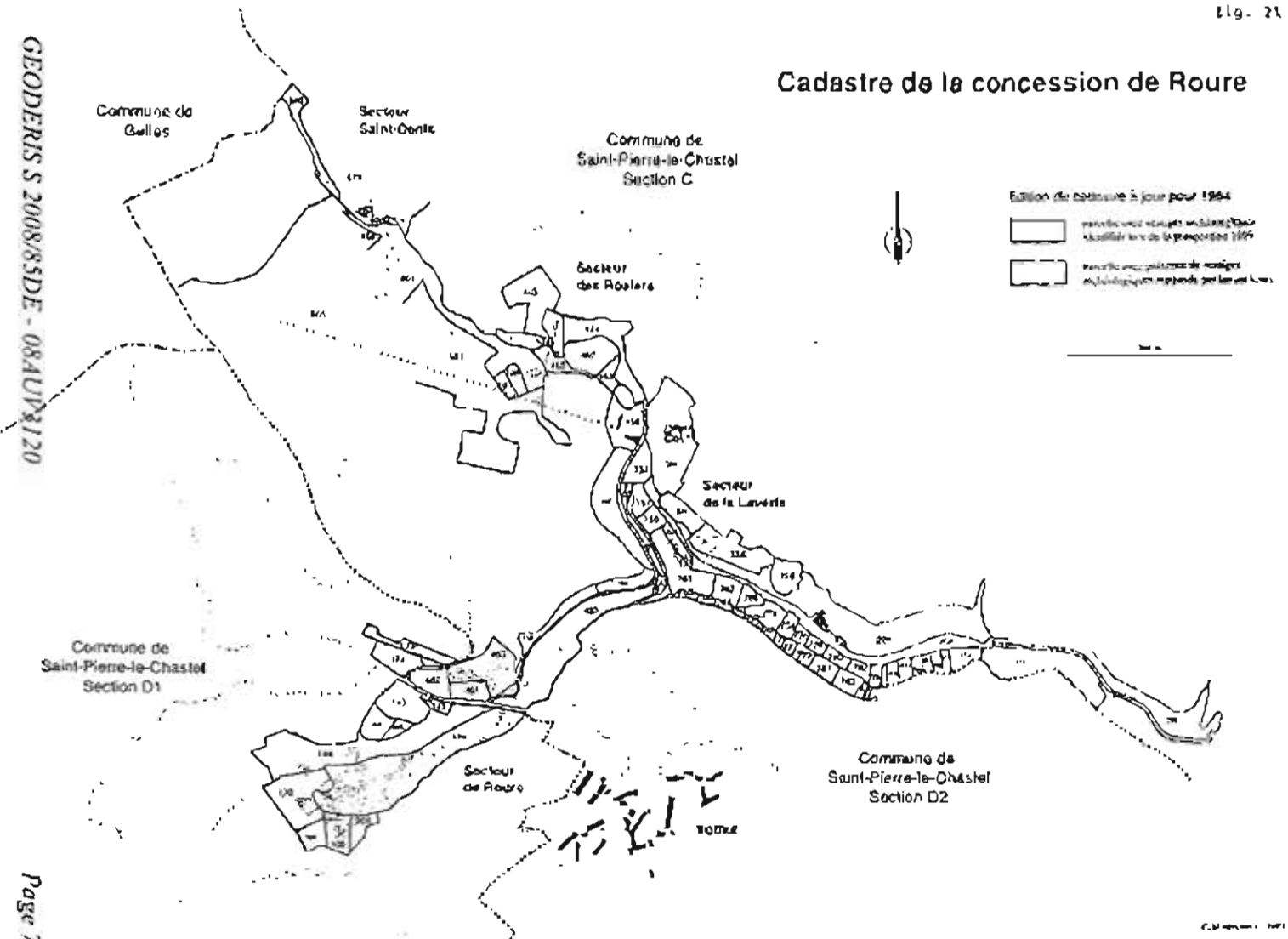


GEODERIS S 2008/852DE - 0841173120

Page 75 sur 97

Détail des stocks de résidus de traitement présents sur Roure - Rosier. (extrait Document C Marconnet)

Cadastre de la concession de Roure

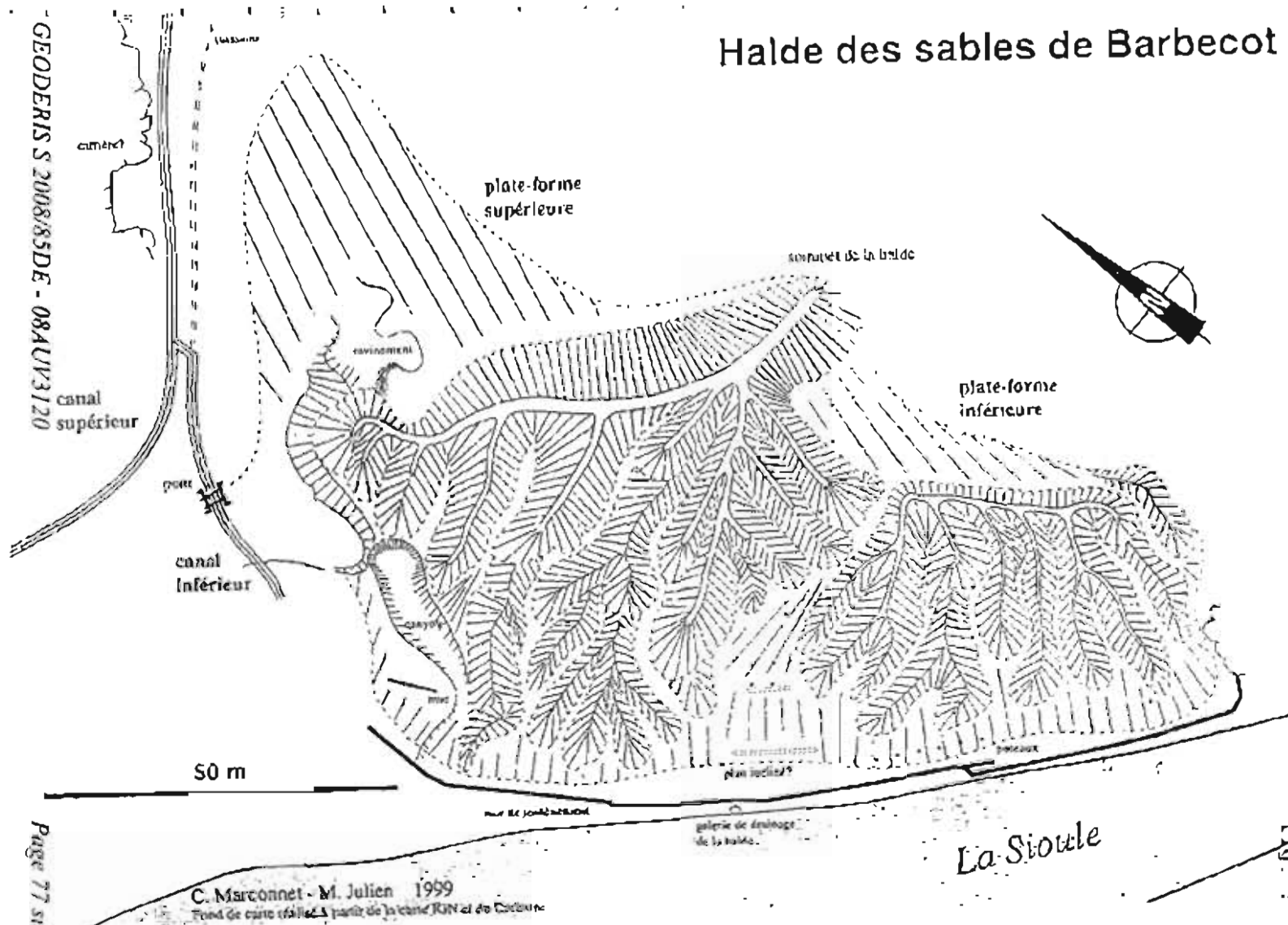


GEODERIS S 2008/85DE - 084UP8120

Page 76 sur 97

Schéma de l'ensemble du secteur Roure - Rosier sur fond cadastral, (extrait Document C Marconnet)

Halde des sables de Barbecot



Page 77 sur 97

C. Marconnet - M. Julien 1999
Plan de carte réalisé à partir de la carte IGN et de Cadastre

Schéma du stock de résidus de traitement de Barbecot avant remodelage de la fin 2004. (extrait Document C.Marconnet)



GEODERIS 2008/85DE-084UV3120

PRANAL

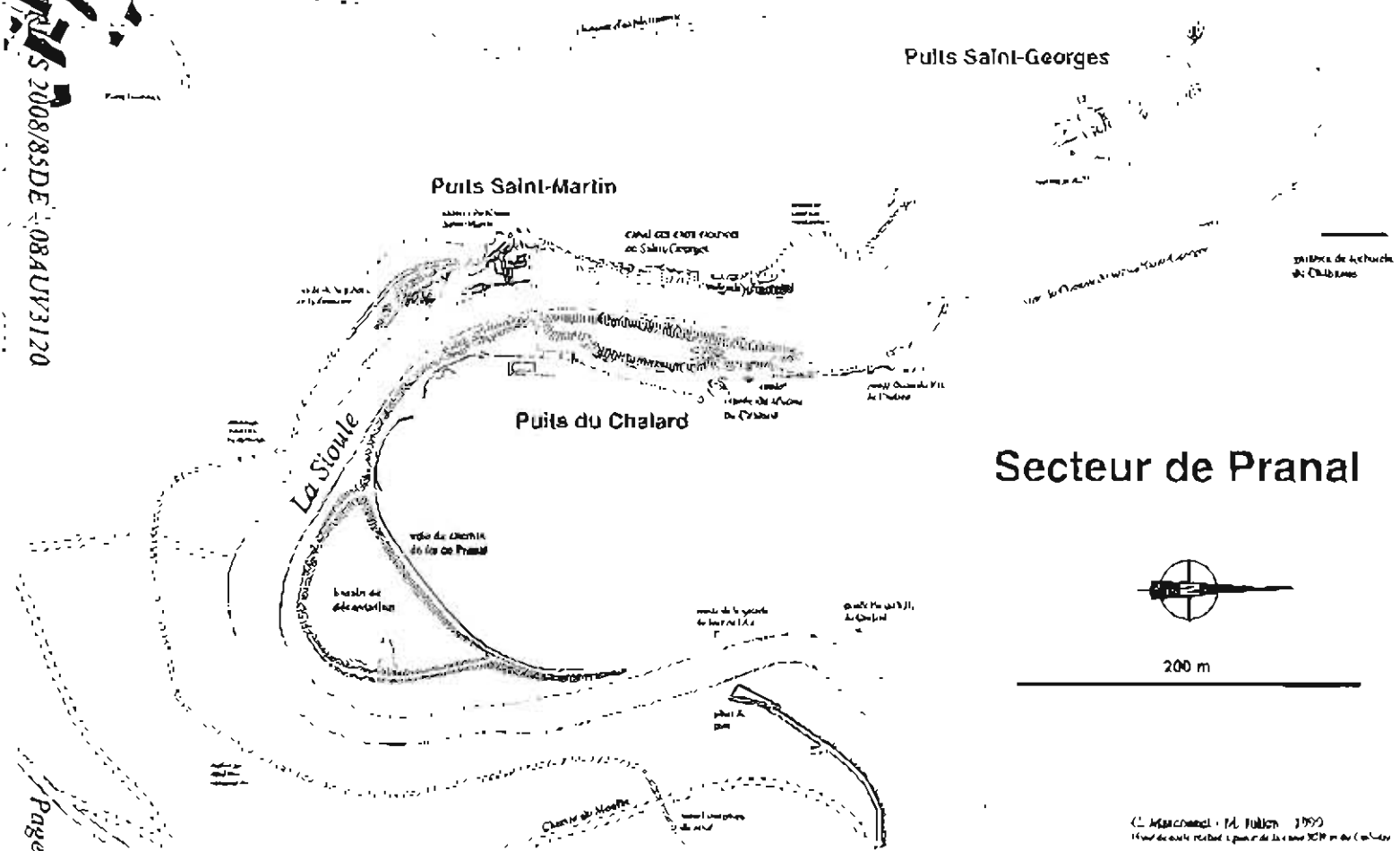


Schéma du secteur de Pranal et position du bassin de décantation. (extrait Document C.Marconnet)

Page 78 sur 97

© Marconnet - M. Fillion 1999
Plan de localisation du puits de la source de la Sioule

ANNEXE 2

**Résultats des mesures NITON®
(mesures données en ppm ; < LD : mesure inférieure à la limite
de détection)**

Secteur de « Pontgibaud stade »

Analyses directes sur le sol (mode bulk)														
Analyseur : XLT 792 WY														
Temps de comptage : 60 secondes														
Éléments en dessous de la limite de détection : Hg et Se														
Teneur en ppm														
En vert : échantillon de sol prélevé														
N° Point	Sb	Sn	Cd	Ag	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr
1	< LD	< LD	< LD	< LD	32	65	1345	137	307	< LD	< LD	23809	459	315
2	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	50	1832	108	494	< LD	< LD	18889	306	126
3	144	< LD	< LD	25	< LD	93	5302	250	413	< LD	< LD	8121	< LD	188
4	170	< LD	< LD	< LD	< LD	75	10973	190	702	< LD	< LD	9341	< LD	281
5	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	38	2259	134	364	< LD	< LD	14731	333	204
6	428	199	69	61	< LD	98	12981	804	1211	< LD	171	17820	< LD	312
7	< LD	< LD	< LD	< LD	49	64	228	100	88	< LD	< LD	19776	438	343
8	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	76	246	103	93	< LD	< LD	23817	534	104
9	135	< LD	< LD	32	< LD	107	5165	202	537	< LD	< LD	8779	< LD	169
10	199	103	< LD	71	< LD	85	5663	120	310	< LD	< LD	6164	< LD	196
11	293	< LD	< LD	120	98	125	29358	423	488	70	< LD	8299	< LD	272
12	< LD	< LD	< LD	86	57	71	24536	< LD	462	82	< LD	7223	< LD	362
13	< LD	83	< LD	< LD	24	75	275	36	253	< LD	< LD	9539	258	191
14	82	< LD	30	< LD	50	83	475	65	422	< LD	< LD	11869	228	162
15	< LD	< LD	< LD	< LD	32	46	4571	219	1363	< LD	< LD	10765	291	436
16	196	< LD	< LD	41	< LD	91	9414	544	793	38	< LD	11089	< LD	207
17	216	< LD	< LD	41	53	77	9689	621	695	83	< LD	14443	156	178
18	457	106	< LD	43	63	102	15372	991	6598	552	< LD	36106	652	177
19	133	< LD	< LD	29	< LD	77	9396	261	525	45	< LD	9716	< LD	314
20	224	< LD	< LD	65	< LD	116	15974	571	1037	56	< LD	14482	< LD	209
21	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	2303	133	333	< LD	< LD	1438	< LD	279
22	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	602	33	236	< LD	< LD	937	< LD	291
23	274	< LD	< LD	62	22	103	14872	375	521	104	< LD	11579	< LD	258
24	111	< LD	< LD	30	27	89	10756	330	541	< LD	< LD	8980	< LD	156
25	237	< LD	< LD	30	< LD	83	10070	658	781	91	< LD	12805	< LD	153
26	92	113	< LD	< LD	49	84	179	42	50	< LD	< LD	11461	254	159
27	151	< LD	< LD	39	< LD	88	8974	358	489	< LD	< LD	7464	< LD	246
28	< LD	< LD	< LD	< LD	56	45	6650	429	4351	132	< LD	35287	374	188
29	< LD	< LD	< LD	< LD	51	54	3288	137	2032	236	< LD	22161	484	262
30	87	< LD	< LD	19	19	65	2072	< LD	126	< LD	< LD	10466	193	194
31	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	15	2943	154	182	120	< LD	3487	< LD	275
32	184	< LD	< LD	61	12	76	20361	610	231	57	< LD	7284	< LD	287
33	139	< LD	< LD	25	27	111	6376	249	502	< LD	< LD	19209	176	209
35	< LD	< LD	< LD	< LD	17	53	214	39	50	< LD	< LD	11577	500	162
36	154	< LD	< LD	24	< LD	64	7172	430	626	39	< LD	16812	387	180
37	156	< LD	< LD	< LD	< LD	87	777	267	1369	40	< LD	24457	666	106
38	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	47	257	44	103	< LD	< LD	14148	450	521
39	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	39	105	35	61	< LD	< LD	23219	545	164
40	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	78	334	96	109	< LD	< LD	24411	446	129
41	< LD	< LD	< LD	< LD	15	68	1658	130	338	< LD	< LD	17776	542	170
42	< LD	< LD	< LD	34	51	127	10318	286	239	46	< LD	8879	< LD	408
43	< LD	< LD	< LD	< LD	65	56	2160	162	440	< LD	< LD	25146	581	108
44	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	57	1178	147	231	< LD	< LD	16291	274	226
45	< LD	< LD	< LD	< LD	17	64	1341	141	239	< LD	< LD	23146	422	174
46	< LD	< LD	< LD	< LD	42	68	2745	215	412	36	< LD	26684	842	112
47	100	< LD	< LD	< LD	37	64	5387	342	739	< LD	< LD	25383	494	184
48	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	75	644	190	200	< LD	< LD	21457	548	162
49	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	40	1371	57	173	36	< LD	11748	200	212
50	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	35	435	47	213	< LD	< LD	23122	654	170
51	< LD	< LD	< LD	< LD	13	42	970	169	278	< LD	< LD	22197	593	158
81	< LD	< LD	< LD	< LD	14	31	582	112	141	< LD	< LD	21791	233	258
82	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	42	478	102	52	< LD	< LD	13615	114	172
83	< LD	< LD	< LD	< LD	212	55	280	110	407	43	< LD	22657	688	182
84	303	< LD	< LD	45	< LD	95	9658	650	1203	64	< LD	14389	< LD	161
85	106	< LD	< LD	< LD	83	29	13653	517	2129	168	< LD	23459	483	199

Secteur de Roure/les Rosiers

Analyses directes sur le sol (mode bulk)														
Analyseur : XLt 792 WY														
Temps de comptage : 60 secondes														
Eléments en dessous de la limite de détection : Hg, Se														
Teneur en ppm														
En vert : échantillon de sol prélevé														
N° Point	Sb	Sn	Cd	Ag	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr
52	110	106	< LD	< LD	< LD	105	13391	966	352	< LD	< LD	10463	< LD	170
53	307	220	34	36	< LD	121	11815	2064	574	64	< LD	20663	< LD	224
54	288	147	< LD	28	< LD	146	11738	1324	1842	89	< LD	11782	< LD	258
55	281	179	56	57	< LD	125	7003	700	1868	115	< LD	29477	< LD	322
56	200	110	< LD	41	< LD	100	14056	728	317	66	< LD	7741	< LD	293
57	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	137	3742	1014	1941	82	< LD	40040	531	278
58	< LD	110	< LD	< LD	< LD	81	701	160	291	< LD	< LD	19094	745	165
59	127	< LD	< LD	21	< LD	104	14481	< LD	226	< LD	< LD	6629	< LD	277
60	311	206	< LD	57	< LD	89	13355	2157	228	81	< LD	17866	< LD	257
61	148	119	< LD	36	< LD	101	8417	428	298	< LD	< LD	9890	< LD	243
62	181	142	< LD	44	< LD	107	16030	525	216	< LD	< LD	9191	< LD	308
63	379	297	< LD	62	99	84	26682	1061	458	108	< LD	19287	< LD	NM
64	175	< LD	< LD	< LD	< LD	121	2086	220	78	54	161	55328	2326	134
65	341	151	42	44	< LD	114	8692	1082	378	94	< LD	37749	395	136
66	232	143	< LD	25	< LD	95	15047	1101	653	< LD	< LD	10908	< LD	181
67	342	290	45	71	41	119	15472	1670	421	78	< LD	13035	< LD	220
68	136	162	< LD	39	< LD	90	8091	558	108	< LD	< LD	7715	< LD	254
69	< LD	< LD	< LD	37	< LD	67	7510	619	149	55	< LD	8097	< LD	325
70	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	63	8586	912	800	49	< LD	22474	266	305
71	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	62	8253	498	119	< LD	< LD	7519	< LD	300
72	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	80	978	130	233	< LD	< LD	25225	680	270
73	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	54	2824	261	277	< LD	< LD	18989	408	270
74	< LD	< LD	< LD	< LD	24	72	962	132	406	< LD	< LD	17593	521	261
75	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	85	9566	199	220	< LD	< LD	8261	262	236
76	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	81	50	35	50	< LD	< LD	30108	617	138
77	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	81	42	36	< LD	< LD	126	24870	368	498
78	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	63	11800	< LD	66	< LD	< LD	3473	< LD	287
79	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	80	1015	225	303	43	< LD	24076	504	200
80	174	172	38	41	< LD	112	4546	367	140	< LD	< LD	8809	< LD	153

Secteur de Barbecot

Analyses directes sur le sol (mode bulk)														
Analyseur : XLt 792 WY														
Temps de comptage : 60 secondes														
Eléments en dessous de la limite de détection : Hg et Se														
Teneur en ppm														
En vert : échantillon de sol prélevé														
N° Point	Sb	Sn	Cd	Ag	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr
86	388	116	< LD	54	52	151	15941	1393	1794	76	< LD	19984	< LD	225
87	< LD	< LD	< LD	< LD	80	< LD	82	< LD	< LD	< LD	< LD	95585	270	< LD
88	245	< LD	< LD	61	114	124	18015	820	1009	< LD	< LD	16826	< LD	617
89	< LD	< LD	< LD	< LD	19	76	1130	149	448	< LD	< LD	18521	505	400
90	359	121	48	51	68	127	8680	914	764	65	< LD	17298	< LD	349
91	623	265	150	141	277	184	37334	1448	16750	267	< LD	27946	< LD	826
92	248	< LD	< LD	33	< LD	127	12331	969	842	< LD	< LD	23344	< LD	163
93	252	< LD	< LD	50	32	148	13555	1038	885	< LD	< LD	24384	< LD	240
94	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	72	666	80	129	< LD	< LD	12863	293	166
95	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	67	397	69	120	< LD	< LD	12879	125	270
96	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	97	326	50	199	< LD	< LD	21384	142	347
97	257	< LD	< LD	33	< LD	127	4262	368	242	< LD	276	50533	588	1262
98	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	61	191	59	88	< LD	< LD	24536	< LD	303
99	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	48	162	20	42	< LD	< LD	14142	< LD	415
100	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	87	743	98	141	< LD	< LD	16674	558	401
101	< LOD	< LD	< LD	< LD	< LD	83	736	81	235	< LD	< LD	20729	622	224
102	318	128	< LD	44	18	140	9836	823	1211	< LD	< LD	14296	< LD	176
103	871	< LD	< LD	180	256	132	69038	7604	8086	417	< LD	94577	< LD	344
104	656	125	53	107	196	137	46058	4267	5095	253	227	56481	< LD	348
105	185	< LD	43	27	< LD	133	4482	359	444	48	< LD	10154	< LD	251
106	771	190	63	129	209	142	51950	5237	5815	268	< LD	61883	< LD	326
107	89	< LD	< LD	< LD	47	97	213	74	97	< LD	< LD	15503	364	191
108	< LD	< LD	28	< LD	< LD	< LD	147	56	1088	< LD	< LD	68036	< LD	< LD
109	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	103	949	106	1043	< LD	< LD	22966	2054	160
110	140	121	< LD	< LD	44	107	667	145	107	< LD	186	19999	492	348
111	313	128	36	33	30	147	8320	831	1124	< LD	< LD	13696	< LD	308
112	1135	182	80	198	330	118	79066	8473	10668	434	< LD	115963	< LD	675
113	282	< LD	< LD	146	143	113	40317	990	1958	138	< LD	10303	< LD	402
114	324	< LD	< LD	60	118	130	20435	1866	3760	137	< LD	31352	< LD	169
115	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	111	205	31	158	< LD	< LD	23614	385	366
116	108	97	< LD	< LD	28	103	756	143	118	< LD	< LD	16475	369	240
140	258	< LD	< LD	70	62	78	27463	1726	1449	130	< LD	26303	< LD	417
141	147	< LD	< LD	34	40	95	15072	1205	705	115	< LD	29416	398	207
142	< LD	< LD	< LD	< LD	63	54	6093	277	1011	< LD	< LD	28006	1306	< LD
143	< LD	< LD	< LD	28	48	79	13999	983	1914	69	< LD	43397	1009	179
144	< LD	< LD	< LD	< LD	37	85	423	112	258	< LD	< LD	19558	466	109
145	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	56	846	95	388	< LD	< LD	12328	387	200
146	443	176	< LD	55	102	163	18945	1701	1764	105	< LD	24731	< LD	281
147	445	186	53	73	94	145	17070	1486	1235	107	< LD	21216	< LD	251
148	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	36	1775	58	182	< LD	< LD	8532	112	304
149	145	< LD	< LD	< LD	324	324	2317	215	363	< LD	199	53956	2058	< LD
149B*	< LD	< LD	< LD	< LD	524	< LD	73	< LD	< LD	< LD	< LD	15351	3661	73

* mesure NITON effectuée au laboratoire après séchage, broyage et tamisage à 2 mm du matériau prélevé

Secteur de Pranal

Analyses directes sur le sol (mode bulk)														
Analyseur : XLT 792 WY														
Temps de comptage : 60 secondes														
Eléments en dessous de la limite de détection : Hg, Se et Sc														
Teneur en ppm														
N° Point	Sb	Sn	Cd	Ag	Sr	Rb	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr
117	< LD	< LD	< LD	< LD	17	53	931	94	363	< LD	< LD	14826	443	224
118	245	< LD	< LD	66	161	114	30718	1355	1730	< LD	< LD	35329	< LD	403
119	290	< LD	< LD	91	152	150	39543	1262	2604	< LD	< LD	30194	< LD	519
120	140	< LD	< LD	32	67	78	21658	899	1766	78	< LD	29808	< LD	310
121	< LD	< LD	< LD	< LD	16	65	4357	90	518	< LD	< LD	13884	245	145
122	83	< LD	< LD	< LD	50	69	859	118	322	< LD	< LD	17540	510	171
123	< LD	< LD	< LD	< LD	26	65	1254	120	551	< LD	< LD	17154	491	295
124	< LD	< LD	< LD	< LD	43	70	900	119	369	< LD	128	16209	425	226
125	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	58	4922	347	420	< LD	< LD	21315	237	3148
126	307	< LD	< LD	77	38	94	14019	930	754	99	< LD	35451	263	193
127	589	126	53	83	95	171	18139	2142	926	< LD	< LD	52585	295	297
128	830	326	100	100	98	179	29532	2704	1802	92	< LD	69053	< LD	< LD
129	385	171	47	58	< LD	182	8613	653	572	71	< LD	54109	< LD	269
130	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	43	659	76	220	< LD	< LD	11017	351	149
131	176	< LD	< LD	29	< LD	112	3804	488	221	< LD	< LD	28022	213	162
132	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	60	655	67	105	< LD	< LD	15109	168	261
133	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	42	270	30	57	< LD	< LD	12441	119	190
134	291	126	< LD	39	< LD	139	4577	466	369	< LD	< LD	35041	407	255
135	218	115	39	20	20	96	618	87	112	< LD	< LD	15309	439	170
136	795	103	< LD	146	342	179	77404	5564	3375	263	< LD	74146	< LD	400
137	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	57	779	89	318	< LD	< LD	13756	369	174
138	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	24	330	28	38	< LD	< LD	7213	< LD	187
139	337	152	55	29	< LD	140	7902	1090	249	< LD	< LD	29805	< LD	748

ANNEXE 3

**Résultats des analyses de solides réalisées au laboratoire;
comparaison avec les mesures de fluorescence X
(mesures NITON®)**

(NM: teneur non mesurée)

Elément analysé	Limite de détection	Unité	Point n°29		Point n°52		Point n°53		Point n°57		Point n°64	
			MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X
Hg	0.025	mg/Kg	0.39	< LD	0.03	<LD	0.09	<LD	0.12	<LD	0.04	<LD
Fe2O3t(fer total exprimé en Fe2O3)	1	%	6.8	2.2	1.6	1.0	2.8	2.1	6.4	4.0	10.8	5.5
Zn	5	mg/Kg	4270	2032	332	352	540	574	1900	1941	280	78
As	20	mg/Kg	212	137	1670	966	2230	2064	1270	1014	281	220
Cd	2	mg/Kg	5	<LD	2	<LD	2	34	12	<LD	3	<LD
Sb	10	mg/Kg	124	<LD	162	110	139	307	39	<LD	65	175
Ba	40	mg/Kg	4230	NM	4320	NM	5240	NM	700	NM	1120	NM
Pb	40	mg/Kg	6300	3288	20500	13391	12700	11815	4000	3742	4400	2086

Elément analysé	Limite de détection	Unité	Point n°82		Point n°91		Point n°103		Point n°114		Point n°149	
			MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X	MMA	FLUO X
Hg	0.025	mg/Kg	0.21	<LD	2.30	<LD	0.45	<LD	0.26	<LD	0.03	<LD
Fe2O3t(fer total exprimé en Fe2O3)	1	%	5.6	1.4	4.0	2.8	9.6	9.5	4.0	3.1	6.0	5.4
Zn	5	mg/Kg	204	52	8570	16750	6210	8086	3110	3760	424	363
As	20	mg/Kg	308	102	1545	1448	5150	7604	2000	1866	100	215
Cd	2	mg/Kg	3	<LD	47	150	6	<LD	2	<LD	4	<LD
Sb	10	mg/Kg	36	<LD	343	623	627	871	215	324	25	165
Ba	40	mg/Kg	536	NM	6540	NM	6860	NM	3910	NM	960	NM
Pb	40	mg/Kg	1070	478	40100	37334	53800	69038	18400	20435	3300	2317

ANNEXE 4

Résultats des analyses d'eau

Eléments analysés	Limite de quantification	Unités	Pranal 13-03-08	Pontgibaud stade 10-03-08	Rosier 75 12-03-08	Barbecot 13-03-08	Barbecot 116 13-03-08
Conductivité		µS/cm	252	140	270	2180	168
pH			5.3	7.87	7.6	7.6	7.45
Température		°C	12	4.7	7.5	7.5	7.1
As	0.05	µg/l	3	5	20	15	6
Ca	0,5	mg/l	2.3	8.5	6.0	206.0	9.1
Cd	0.025	µg/l	55	0.1	0.4	44	0.1
Cl	0,5	mg/l	2.1	13.3	5.6	46.2	16.9
Co	0.1	µg/l	7.7	0.1	0.5	5.5	0.2
Cr	1	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Cu	0.3	µg/l	5.7	1.0	1.8	0.4	1.0

Eléments analysés	Limite de quantification	Unités	Pranal 13-03-08	Pontgibaud stade 10-03-08	Rosier 75 12-03-08	Barbecot 13-03-08	Barbecot 116 13-03-08
Fe	0,02	mg/l	0.07	0.18	0.34	10.3	0.14
Hg	0.015	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
K	0,5	mg/l	1.2	3.2	2.5	11.7	3.2
Mg	0,5	mg/l	1.4	4.1	2.7	80.3	4.3
Mn	5	µg/l	291	18	48	1858	17
Nitrates exprimés en NO3	0,5	mg/l	< LQ	4.8	4.9	< LQ	6.2
Na	0,5	mg/l	1.4	9.2	4.4	128.4	11.3
Ni	0.5	µg/l	23	0.6	1.9	17	0.6
Pb	0.1	µg/l	4724	2	61	4	1
SO4	0,5	mg/l	40.4	3.9	5.5	59.0	5.5

Eléments analysés	Limite de quantification	Unités	Pranal 13-03-08	Pontgibaud stade 10-03-08	Rosier 75 12-03-08	Barbecot 13-03-08	Barbecot 116 13-03-08
Sb	1	µg/l	2	< LQ	< LQ	2	< LQ
Zn	2	µg/l	10610	15	81	4146	20
CO3	5	mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
HCO3	5	mg/l	< LQ	46	27	1515	50
Ba	2	µg/l	63	22	29	121	22

ANNEXE 5

La mesure NITON®

a) Spécificités et limites de la mesure NITON®

Même si la technique d'analyse NITON® est maintenant de plus en plus utilisée dans les études se rapportant aux sites et sols pollués, et même si pour des éléments tels que le plomb ou le zinc des analyses effectuées sur des matériaux de référence montrent que cette mesure peut être considérée comme fiable par rapport à une analyse de laboratoire, il convient malgré tout de rester prudent dans l'interprétation des valeurs obtenues avec la mesure NITON®.

Cette mesure se borne à une analyse de surface, la profondeur de pénétration des rayons X n'affectant que la tranche superficielle du matériau considéré (profondeur de pénétration dans les deux à trois premiers centimètres du sol). Elle ne représente donc que le reflet de la composition chimique du strict horizon superficiel.

En outre, la mesure peut être biaisée par un certain nombre d'artéfacts liés à la nature et/ou à la préparation de l'échantillon. Elle peut par exemple être faussée sur des échantillons qui présentent une forte teneur en eau. Elle peut aussi être biaisée sur des matériaux de granulométrie très hétérogène ou qui possèdent une proportion importante de matériaux grossiers (par exemple graviers).

Le choix des points de mesure devra donc être effectué avec le plus grand soin sur le terrain de façon à limiter au maximum l'effet de ces différents artéfacts. Les zones où le matériau apparaît contenir un trop fort taux d'humidité sont exclues. Pour les secteurs où le matériau est riche en graviers, l'analyse est effectuée après un grattage superficiel (sur 1 à 2 cm) destiné à écarter l'essentiel des fragments rocheux qui sont susceptibles de fausser la mesure. Pour chaque analyse, une homogénéisation grossière de l'horizon superficiel est effectuée.

Enfin, la nature elle-même du matériau analysé (minéralogique et chimique) peut induire des erreurs importantes au niveau de la teneur de certains polluants.

Ces différentes remarques montrent que toute comparaison entre une mesure NITON® et une analyse de laboratoire doit être effectuée en parfaite connaissance de cause, notamment par rapport aux conditions de mesures et à la préparation des échantillons.

Pour chaque cas d'étude, il est donc impératif de vérifier s'il existe un bon degré de corrélation entre la mesure obtenue avec le NITON® et l'analyse correspondante effectuée par une technique classique de laboratoire (spectrométrie ICP, AA). Cette vérification est effectuée sur une série d'échantillons prélevée sur le terrain. Même si d'un point de vue strictement quantitatif il peut parfois exister un décalage entre les valeurs fournies par ces deux types de mesures, l'obtention d'un bon degré de corrélation est la condition essentielle pour que la mesure NITON® puisse être considérée comme interprétable. Dans la plupart des cas, ce décalage est dû à des différences de préparations entre les échantillons destinés à la mesure NITON® et ceux qui sont soumis à l'analyse de laboratoire.

Au vu de ces précisions, il est clair que la mesure NITON[®] ne peut se soustraire totalement à des analyses de sols effectuées en laboratoire (plus onéreuses). A partir du moment où les polluants considérés répondent au critère précédemment mentionné (bonne corrélation entre la mesure NITON[®] et l'analyse de laboratoire), l'analyse NITON[®] doit être considérée comme un outil permettant de dégrossir le travail en délimitant les secteurs impactés par l'activité minière et en hiérarchisant leur degré de pollution. Le point fort de cette technique analytique repose sur le grand nombre de mesure qu'elle permet d'effectuer en un temps limité et pour un moindre coût. Elle est d'ailleurs souvent utilisée pour établir rapidement les contours des zones impactées sur des sites pollués. Elle permet alors d'orienter un échantillonnage spécifique et parfaitement ciblé destiné à déterminer précisément la teneur en polluants au sein de ces zones (déterminée par des analyses de laboratoire). La connaissance précise de la teneur en polluant en un point donné ne pourra de toute façon passer que par une véritable analyse de laboratoire.

Tout au long de cette étude, il est donc impératif de garder en mémoire l'ensemble de ces remarques, et de ne considérer les mesures effectuées avec le NITON[®] que comme un préalable destiné à délimiter et à hiérarchiser (en terme d'intensité et de superficie) les principaux secteurs impactés par l'activité minière et les zones d'anomalie géochimique d'origine naturelle.

b)Présentation de l' appareil utilisé

Le spectromètre de fluorescence X portable (FPXRF : Field Portable X-Ray Fluorescence) utilisé est le NITON[®] XLTT792 équipé d'un mini tube X (pas de source radioactive).



**Spectromètre de fluorescence X portable (NITON XLTT792)
équipé d'un mini tube X**

Les principales caractéristiques de cet appareil sont listées ci-dessous :

- Détecteur très haute résolution,
- Étalonnage automatique,
- Analyse des éléments (quantitatif) : Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sn, Pb, Hg, Sr, Zr, Mo, Cd, Ag, Ba, Sb,
- Détection des éléments (qualitatifs) : K (19) à Pu (94),
- Écran tactile renforcé,
- Stockage de 3000 analyses de sol,
- Analyse en 10 à 120 secondes (y compris calcul),
- Limite de détection de 15 à 100 ppm suivant les éléments,
- Autonomie : 2 x 6 heures,
- Possibilité de se connecter à un ordinateur pour transférer les données. Les données sont accessibles avec le logiciel fourni (NDT version 5), les fichiers sont automatiquement sauvegardés au format Excel.

c) Comparaison entre les résultats de la mesure NITON[®] et ceux des analyses de laboratoire

Cette comparaison est destinée à vérifier le bon degré de calibration de la mesure NITON[®]. Elle a été effectuée sur la base d'une dizaine d'échantillons prélevés sur les quatre sites étudiés. Elle n'a ici été possible que pour le plomb, le zinc, l'arsenic et l'antimoine (figures 1 à 4).

Entre 0,5 et 1 kg de matériau ont été prélevés par échantillon et mis dans des sacs plastiques fermés jusqu'au moment de l'analyse de laboratoire.

Toutes les comparaisons entre les résultats de spectrométrie ICP ou d'absorption atomique AA et les résultats de fluorescence X sont faites sur des échantillons ayant subis des préparations différentes. Les analyses de fluorescence X ont été effectuées directement sur le sol qui a subi une préparation très légère alors que les analyses de spectrométrie ICP ou d'absorption atomique ont été obtenues après séchage, tamisage à 2 mm et broyage à 80 µm des échantillons. Les comparaisons entre les différentes analyses sont présentées sous forme de graphique sur les figures 1 à 4.

Les résultats obtenus montrent un bon degré de corrélation pour le plomb et le zinc (coefficients de corrélation respectivement égaux à 0.96 et 0.99). Le léger décalage observé entre les valeurs mesurées par fluorescence X (mesure NITON[®]) et celles obtenues par les analyses de laboratoire (pentes des droites de calibration supérieures à 1) peut s'expliquer par les différences de préparation des échantillons. A noter quand même que pour la teneur en plomb supérieure à 4 %, la valeur enregistrée par la mesure NITON[®] tend à être surestimée par rapport à celle obtenue par l'analyse de laboratoire.

Les droites de calibration établies pour l'arsenic et l'antimoine montrent par contre un degré de corrélation qui s'avère moins bon que pour le plomb et le zinc.

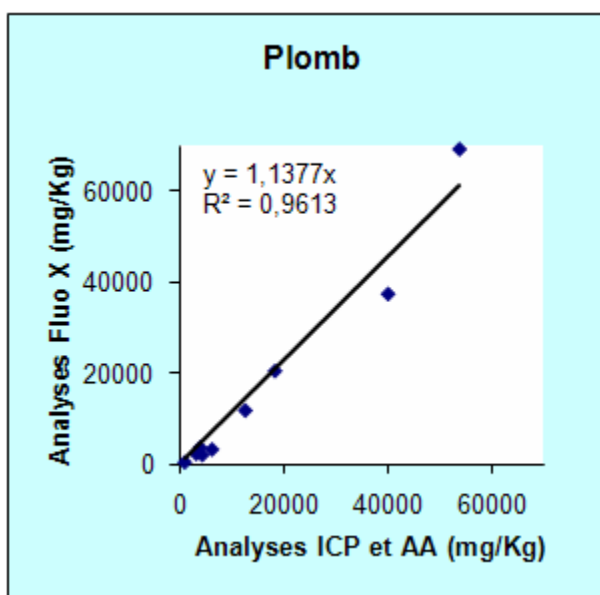


Figure 1 : Comparaison des teneurs en Pb mesurées à l'aide du spectromètre de fluorescence X (NITON®) et par analyse de laboratoire.

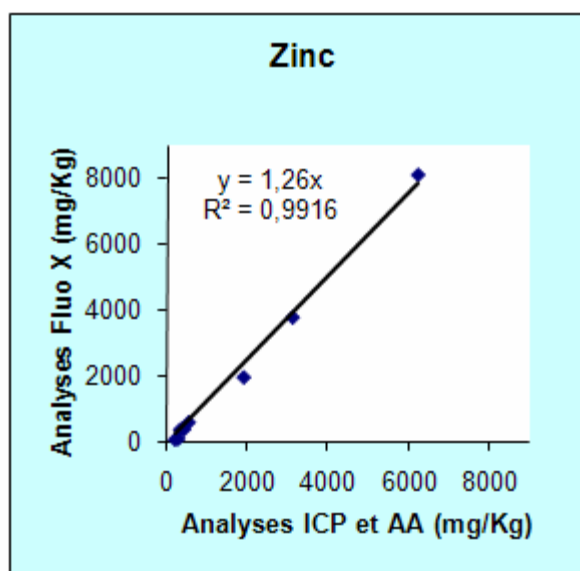


Figure 2 : Comparaison des teneurs en Zn mesurées à l'aide du spectromètre de fluorescence X (NITON®) et par analyse de laboratoire.

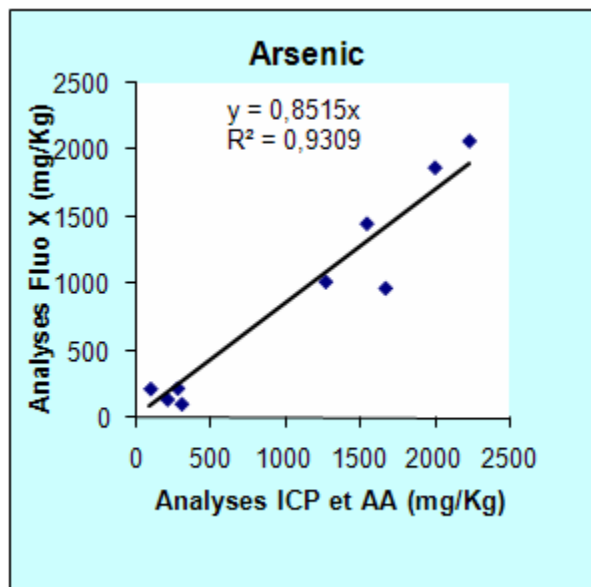


Figure 3 : Comparaison des teneurs en As mesurées à l'aide du spectromètre de fluorescence X (NITON®) et par analyse de laboratoire.

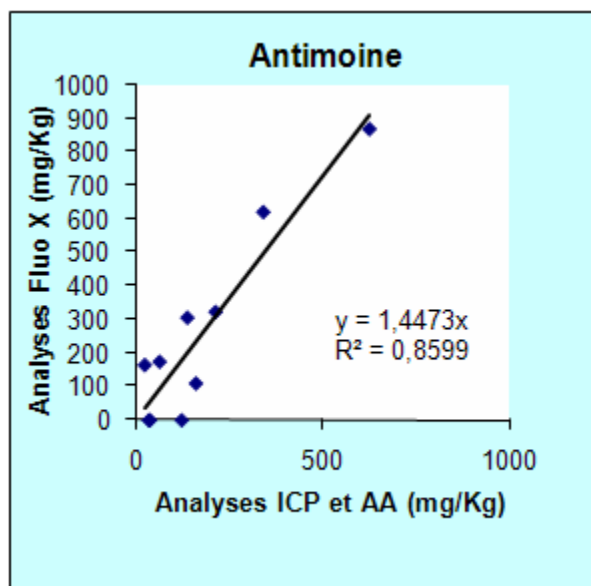


Figure 4 : Comparaison des teneurs en Sb mesurées à l'aide du spectromètre de fluorescence X (NITON®) et par analyse de laboratoire.