



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Valeurs de référence de fond pédogéochimique pour les sols développés sur alluvions de la vallée de l'Orbiel (Aude)

Rapport final

BRGM/RP-71820-FR

Version 1 du 2 février 2023

Étude réalisée dans le cadre des missions opérationnelles du DPSM pour le compte de l'État, sur subvention pour charges de Service public.

Melleton Jeremie, Belbèze Stéphane, Chevillard Matthieu, Vic Guillaume

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : D. Guyonnet	Nom : C. Didier
Fonction : Directeur de Programme Scientifique	Fonction : Directeur de la Direction des Géoressources
Date : 23/05/2022	Date : 24/01/2023
Signature : 	Signature : 

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

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

Sa communicabilité ultérieure à des tiers est définie conformément à l'article L-213-1 du Code du patrimoine.

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

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Fond pédo-géochimique, Sol sur alluvion, Après-mine, Orbiel, Aude

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

Melleton Jeremie, Belbèze Stéphane, Chevillard Matthieu, Vic Guillaume (2023) – Valeurs de référence de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions de la vallée de l'Orbiel (Aude). Rapport final V1. BRGM/RP-71820-FR, 73 p., 32 fig., 13 tab., 1ann.

Synthèse

La détermination des impacts anthropiques liés à l'ancienne activité minière dans le district de Salsigne (Aude) en aval sur le bassin-versant de l'Orbiel nécessite une évaluation des valeurs de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions, notamment pour aider à la classification des parcelles affectées par la crue de 2018 en secteurs d'information sur les sols (SIS) au sens de l'article L.125-6 du code de l'environnement. Des prélèvements réalisés dans le secteur risquent de s'avérer inutiles, l'activité minière ayant significativement affecté l'Orbiel en aval, notamment les sédiments transportés, et concomitamment les sols développés sur les alluvions récentes.

Du fait de sa similarité en termes de géographie et de géologie, la Clamoux, tributaire orientale de l'Orbiel a été proposée comme secteur équivalent pour tenter de définir des gammes de valeurs locales représentant le fond pédo-géochimique anthropisé. Les sols sur alluvions ont ainsi pu être prélevés et analysés sur ce bassin-versant et des prélèvements supplémentaires ont aussi été réalisés sur le secteur amont de l'Orbiel, afin de pouvoir comparer les concentrations obtenues entre les bassins-versants.

Cette étude a ensuite permis la mise en œuvre de deux approches pour définir des gammes de valeurs pouvant représenter le bruit de fond pédo-géochimique pour le bassin-versant de l'Orbiel. Pour le zinc et l'arsenic, la distribution spatiale des concentrations suggérant une relation avec les concentrations dans les sols des différents domaines géologiques traversés, déterminées précédemment (Melleton *et al.*, 2021), un modèle permettant de prédire des gammes de valeurs pour l'Orbiel a été défini. Les valeurs obtenues ont ensuite été confrontées à un second modèle propre à ce bassin-versant.

Pour les autres éléments d'intérêt (Ag, Bi, Cd, Cu, Pb, Sb), l'absence de lien spatial apparent a conduit à calculer des valeurs par une approche statistique plus classique, en utilisant la vibrisse de Tukey ou le percentile 90.

Pour l'arsenic, les valeurs de référence proposées pour le fond pédo-géochimique anthropisé, sur la base d'un modèle linéaire de transfert et accumulation depuis les trois domaines lithostratigraphiques cohérents (Melleton *et al.*, 2021) sont comprises respectivement entre 77 et 95 mg/kg en amont de Lastours, entre 70 et 86 mg/kg entre Moulin Claude et Lastours, entre 59 et 71 mg/kg entre Pont romain et Moulin Claude, et entre 47 et 57 mg/kg en aval du Pont Romain.

Cependant, le modèle utilisé pour appréhender les gammes de valeurs pour l'arsenic est un modèle linéaire très simpliste alors que les processus physico-chimiques de dispersion, sédimentaires et pédologiques sont très complexes. Les effets d'autres tributaires de l'Orbiel sur les concentrations en aval n'ont par ailleurs pas été appréhendés (Rieu Sec et Grésillou notamment).

Les valeurs de lignes de base du fond pédo-géochimique proposées ont vocation à servir de valeurs maximales au-delà desquelles il est possible de considérer une mesure comme pouvant représenter une anomalie d'origine potentiellement anthropique. Ces valeurs ont été déterminées par une approche mathématique, à partir d'un nombre limité de prélèvements, dont la répartition, tout en se voulant représentative de la zone d'étude, ne permet pas d'exclure la présence de variations locales.

Ces valeurs de référence ont été acquises pour une application cohérente avec le secteur d'étude, elles sont donc difficilement transposables à un autre secteur d'étude.

À noter qu'une première évaluation des gammes de concentrations de référence en métaux et métalloïdes dans les sédiments de la vallée de l'Orbiel (Aude) fait l'objet d'un rapport dédié. (Melleton *et al.*, 2023).

Sommaire

1. Contexte de l'étude	9
2. Contexte géologique de la zone d'étude	11
2.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE	11
2.2. GÉOLOGIE.....	12
3. Méthodes déployées	17
3.1. DÉTERMINATION DE VALEURS DE FOND PÉDOGÉOCHIMIQUE POUR LES SOLS DÉVELOPPÉS SUR ALLUVIONS DANS LA VALLÉE DE L'ORBIEL	17
3.2. SÉLECTION DES SITES DE PRÉLÈVEMENT	18
3.3. PRÉLÈVEMENT DE SOL.....	18
3.4. ANALYSES EN LABORATOIRE	19
3.5. DÉTERMINATION STATISTIQUE DES FONDS PÉDOGÉOCHIMIQUES	20
3.6. APPROCHE PRÉDICTIVE MISE EN ŒUVRE POUR LA PROPOSITION DE VALEURS DE RÉFÉRENCE SUR LA VALLÉE DE L'ORBIEL	21
4. Résultats	25
4.1. ÉLÉMENTS PRÉSENTANT UNE ÉVOLUTION DE L'AMONT VERS L'AVAL	25
4.1.1. L'arsenic	25
4.1.2. Le zinc	29
4.2. ÉLÉMENTS NE PRÉSENTANT PAS UNE TENDANCE ENTRE L'AMONT ET L'AVAL DE LA CLAMOUX.....	33
4.2.1. L'argent	33
4.2.2. Le bismuth.....	36
4.2.3. Le cadmium.....	39
4.2.4. Le cuivre.....	42
4.2.5. Le plomb.....	45
4.2.6. L'antimoine	48
5. Discussion – Conclusions	51
6. Bibliographie	55

Liste des figures

Figure 1 : Anciennes concessions minières présentes sur la zone d'étude (extrait de Serrand <i>et al.</i> , 2012)	11
Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Carcassonne (n° 1037) couvrant la zone d'étude. Nous renvoyons le lecteur vers cette dernière pour une légende précise des différentes formations géologiques cartographiées. Le tableau 1 en donne cependant un aperçu succinct.	13
Figure 3 : Représentation cartographique des trois grands domaines issus des regroupements des formations lithologiques cartographiées au 1/50 000 (carte de Carcassonne, n° 1037).....	14
Figure 4 : Méthode proposée pour approcher les valeurs de fond pédo-géochimique des sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de l'Orbiel	17

Figure 5 :	Exemple d'un prélèvement de sol tamisé à 2 mm.	18
Figure 6 :	Localisation des points de référence pour la détermination et le test d'une équation mettant en relation la concentration attendue dans les sols développés sur alluvions en fonction des valeurs de fonds pédo-géochimiques définis sur les domaines géologiques et les proportions de surfaces de ces domaines sur les bassins-versants correspondants.	23
Figure 7 :	Concentrations en arsenic mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux	26
Figure 8 :	Évolution des concentrations en Arsenic dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	27
Figure 9 :	Concentrations en As prédites comparées aux valeurs mesurées pour les points pour le secteur de la Clamoux.....	27
Figure 10 :	Concentrations en As (mg/kg) prédites pour les points de référence du secteur de l'Orbiel selon les modèles déterminés à partir des données de la Clamoux et de l'Orbiel	27
Figure 11 :	Concentrations en zinc mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	30
Figure 12 :	Évolution des concentrations en zinc dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	31
Figure 13 :	Concentrations en zinc prédites comparées aux valeurs mesurées pour le secteur de la Clamoux	31
Figure 14 :	Concentrations en zinc (mg/kg) prédites pour les points de référence du secteur de l'Orbiel selon les modèles déterminés à partir des données de la Clamoux et de l'Orbiel... ..	31
Figure 15 :	Concentrations en argent mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	34
Figure 16 :	Évolution des concentrations en argent dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	35
Figure 17 :	Comparaison des concentrations en argent mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux	35
Figure 18 :	Concentrations en bismuth mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	37
Figure 19 :	Évolution des concentrations en Bismuth dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	38
Figure 20 :	Comparaison des concentrations en bismuth mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux	38
Figure 21 :	Concentrations en cadmium mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	40
Figure 22 :	Évolution des concentrations en cadmium dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	41
Figure 23 :	Comparaison des concentrations en cadmium mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux	41
Figure 24 :	Concentrations en cuivre mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	43
Figure 25 :	Évolution des concentrations en cuivre dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	44
Figure 26 :	Comparaison des concentrations en cuivre mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux	44

Figure 27 : Concentrations en plomb mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	46
Figure 28 : Évolution des concentrations en plomb dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	47
Figure 29 : Comparaison des concentrations en plomb mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.....	47
Figure 30 : Concentrations en antimoine mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).....	49
Figure 31 : Évolution des concentrations en antimoine dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux	50
Figure 32 : Comparaison des concentrations en antimoine mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Éléments analysés et limites de détection associées pour la méthode de digestion à l'eau régale	19
Tableau 2 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en arsenic mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	25
Tableau 3 : Calculs et tests des paramètres pour les points de référence de la Clamoux et de l'Orbiel	28
Tableau 4 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en zinc mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	29
Tableau 5 : Calculs et tests des paramètres pour les points de référence de la Clamoux et de l'Orbiel pour le zinc.....	32
Tableau 6 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en argent mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	33
Tableau 7 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en bismuth mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	36
Tableau 8 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en cadmium mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel	39
Tableau 9 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en cuivre mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	42
Tableau 10 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en plomb mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	45
Tableau 11 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en antimoine mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg)	48
Tableau 12 : Propositions de valeurs de fond pédo-géochimique anthropisé pour les sols sur alluvions du secteur de l'Orbiel, pour différents tronçons, valeurs de référence déterminées par l'utilisation d'un modèle linéaire de transfert et accumulation depuis les trois domaines lithostratigraphiques cohérents.	51

Tableau 13 : Propositions de valeurs de fond pédo-géochimique anthropisé pour les sols sur alluvions du secteur de l'Orbiel, valeurs de référence déterminées statistiquement à partir des prélèvements opérés dans le secteur de la Clamoux. 52

Liste des annexes

Annexe 1 : Analyse en laboratoire des sols prélevés dans le secteur de la Clamoux et en amont de l'Orbiel 57

1. Contexte de l'étude

La région de Salsigne, localisée dans l'Aude, a fait l'objet d'une activité minière importante au cours du XX^{ème} siècle, notamment pour l'or. Le minerai exploité se caractérisait notamment par la présence importante d'arsenic.

Afin d'évaluer les impacts environnementaux liés aux exploitations minières et industrielles, et en particulier la dispersion géochimique d'origine anthropique, il convient d'évaluer au préalable les teneurs en métaux et métalloïdes naturellement présents, constituant le fond pédogéochimique naturel local. Pour les anciens sites miniers, la méthodologie nationale pour la gestion des sites et sols pollués (MTE, 2017) préconise la caractérisation de zones locales de référence afin de réaliser des comparaisons permettant l'évaluation des impacts. Ces zones de références doivent présenter des caractéristiques similaires aux sites impactés, au voisinage des anciens sites miniers, mais sans avoir été affectées par l'activité extractive.

Par fond (au sens fond géochimique ou pédogéochimique), on entend une gamme (ou population statistique) de concentrations d'une substance donnée dans le sol ou le sous-sol, à une profondeur donnée sur un territoire donné. Le fond pédogéochimique naturel n'a pas subi d'influence humaine. Il relève des seuls processus géologiques, pédologiques et biochimiques des matériaux en place (Ademe, 2018). Cette situation étant irréaliste pour nos territoires, on distingue le fond pédogéochimique anthropisé. Le fond pédogéochimique anthropisé est issu d'un apport diffus dû aux activités humaines présentes et passées. Les sources diffuses peuvent être automobiles, des substances introduites par les pratiques agricoles, des émissions de chauffage des villes, des dépôts de sédiments par voie hydrique ou aérienne.

Il convient de rappeler que dans le cas particulier des anciens sites miniers, les minéralisations qui ont été exploitées sont aussi à l'origine (avant exploitation) des anomalies géochimiques naturelles, c'est-à-dire une zone présentant des teneurs inhabituellement fortes d'un ou plusieurs métaux et métalloïdes dans le sol en lien avec des phénomènes géologiques. Ainsi, les éventuelles minéralisations non exploitées participent au fond pédogéochimique.

Dans la bibliographie récente sur la vallée de l'Orbiel (Delplace *et al.*, 2022), une évaluation du bruit de fond géochimique sur les sols est proposée. Cependant, dans un contexte de sites potentiellement pollués, tel que c'est le cas pour l'ancien site minier et industriel de la vallée de l'Orbiel, il convient de suivre la méthodologie nationale présentée dans le guide ADEME 2018 pour la détermination des valeurs de fonds dans les sols à l'échelle d'un territoire et d'un site. L'objectif du guide étant d'uniformiser les méthodes de détermination des valeurs de fonds dans les sols à l'échelle nationale, en particulier dans un contexte de terres contaminées pour gérer les risques pour la santé, associés à l'exposition aux polluants du sol comme, par exemple, l'arsenic. La démarche suivie décrite dans le présent rapport s'appuie sur cette méthodologie nationale. Cela a été présenté dans une réponse à l'article Delplace *et al.*, 2022 (Melleton *et al.*, 2022).

Une étude a permis récemment de déterminer les fonds pédogéochimiques pour les sols des trois grands domaines litho-tectoniques présents dans la région de l'ancien district minier de Salsigne (Melleton *et al.*, 2021). Cependant, la détermination des fonds pédogéochimiques pour les sols développés sur les alluvions présentes dans les lits majeurs des cours d'eau du secteur – celles-ci constituant un quatrième domaine géologique ; intégrateur des trois autres – a nécessité une campagne d'échantillonnage et d'analyse complémentaire. L'objectif de cette campagne est notamment d'obtenir des gammes de teneurs de référence pour la détermination des parcelles cadastrales concernées par les Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) en cours d'élaboration suite à la crue d'octobre 2018.

Ce rapport présente ainsi le protocole utilisé et les résultats obtenus pour proposer des valeurs représentant le fond pédogéochimique pour les sols développés sur alluvions du secteur.

2. Contexte géologique de la zone d'étude

2.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude représente une surface d'environ 50 km² localisée à une quinzaine de kilomètres au nord de la ville de Carcassonne, sur le flanc sud de la Montagne Noire. La morphologie générale correspond généralement à des plateaux pentés vers le sud, avec des entailles profondes formées par la rivière de l'Orbiel et ses affluents, principalement le Rieu Sec, le Grésillou à l'ouest et la Clamoux à l'est. Le relief s'intensifie fortement vers le nord, le sud correspondant à la plaine du Minervois.

La zone d'étude correspond principalement à des zones de forêts vers le nord, alors que l'on retrouve au sud une majorité de champs cultivés. Les zones d'habitations sont assez peu dispersées, étant principalement regroupées en villages et hameaux.

Elle comprend sept anciennes concessions minières : Salsigne, Malabau, Villardonnell, Pujol, Lastours, La Caunette et Villanière (cf. Figure 1).

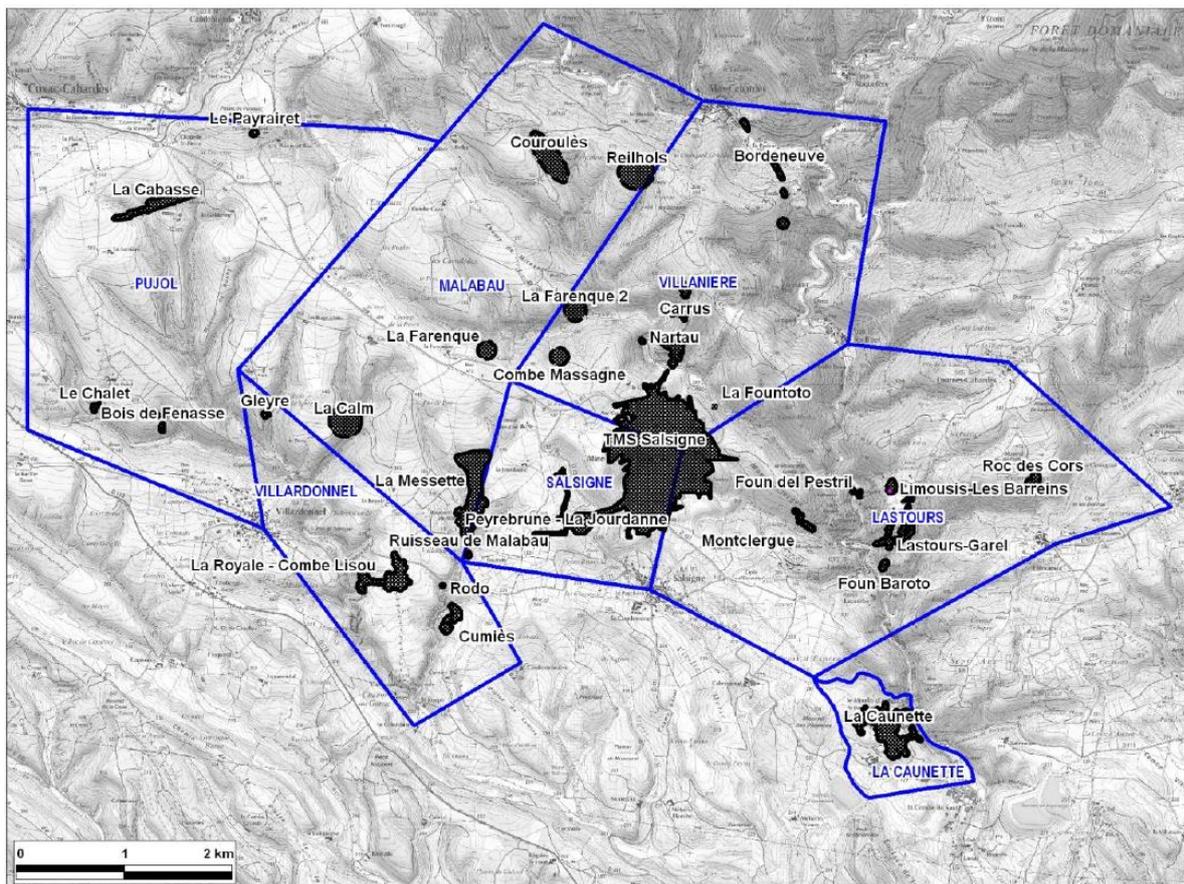


Figure 1 : Anciennes concessions minières présentes sur la zone d'étude (extrait de Serrand et al., 2012).

2.2. GÉOLOGIE

Le district aurifère de Salsigne s'étend sur environ 80 km² sur le versant sud de la Montagne Noire, au contact entre les séries schisteuses et gneissiques de la zone axiale et les séries sédimentaires paléozoïques de la nappe du Minervois (cf. Figure 2).

La zone axiale comprend principalement des séries para- et ortho-dérivées, issues d'un métamorphisme d'âge varisque.

Sur la bordure sud de la zone axiale, les schistes X (série du Cabardès et Saint-Pons) correspondent à une série grésopélitique monotone, avec un métamorphisme décroissant du nord vers le sud depuis son contact tectonique avec la zone axiale. Assez plissées, deux parties y ont été distinguées : la partie inférieure comprend des termes de shales hyper-alumineux et/ou graphiteux associés à des lits carbonatés, ainsi que des grès feldspathiques, alors que la partie supérieure est plus détritique et montre des termes volcanogènes. Certains termes graphiteux de la partie supérieure de cette série sont assez riches en pyrite et pyrrhotite disséminées. Une certaine corrélation partielle entre les séries para-dérivées de la zone axiale et les schistes X les surmontant a été proposée (Demange, 1975 ; 1985).

Les schistes X sont surmontés par une barre de quartzites couvertes de schistes et marquant le passage avec les unités du versant sud de la Montagne Noire (unité du Roc-Suzadou). Cet ensemble marque un contact tectonique majeur (Cassard *et al.*, 1993).

L'unité Nord-Minervois repose en contact tectonique anormal sur l'unité du Roc Suzadou, voir directement sur les schistes X au niveau de Salsigne. Elle est constituée à la base par une formation détritique, les grès de Marcory. Ceux-ci passent ensuite à des alternances grésocarbonatées du Cambrien inférieur, s'achevant par une barre de calcaires dolomitiques à archéocyathes. Dans le secteur de Salsigne, ces formations du Cambrien inférieur sont surmontées en discordance par des formations du Dévonien basal, constituées principalement de grès, conglomérats et pélites. Celles-ci sont recouvertes par des termes dévoniens carbonatés (pélites silteuses noires passant à des calcaires puis dolomie allant enfin vers des calcschistes versicolores).

Au sud de la zone d'étude, représentant l'aval des installations industrielles, les terrains tertiaires recouvrent en discordance ces formations paléozoïques. Celles-ci consistent en des alternances de formations conglomératiques et calcaires (environnements lacustres et marins), puis des formations à graviers et sableuses et s'achèvent par les formations molassiques (conglomérats, grès, marnes et sables et limons) de l'Éocène.

Afin de répondre aux préconisations de la norme ISO 19258:2018, un regroupement des formations lithostratigraphiques représentées sur la carte géologique au 1/50 000 de Carcassonne (cf. Figure 2), qui recouvre la zone de l'étude, a été réalisé selon trois grands ensembles (cf. Figure 3). Ce regroupement s'est basé sur l'homogénéité des domaines litho-tectoniques et sur la faible superficie de certaines formations lithostratigraphiques. Les trois ensembles sont ainsi distingués : schistes de la zone axiale, nappes du Minervois et bassin tertiaire. Le granite de Brousses, qui affleure en bordure nord-ouest de la zone d'étude, n'a pas été pris en compte, étant relativement éloigné de l'ancien secteur minier.

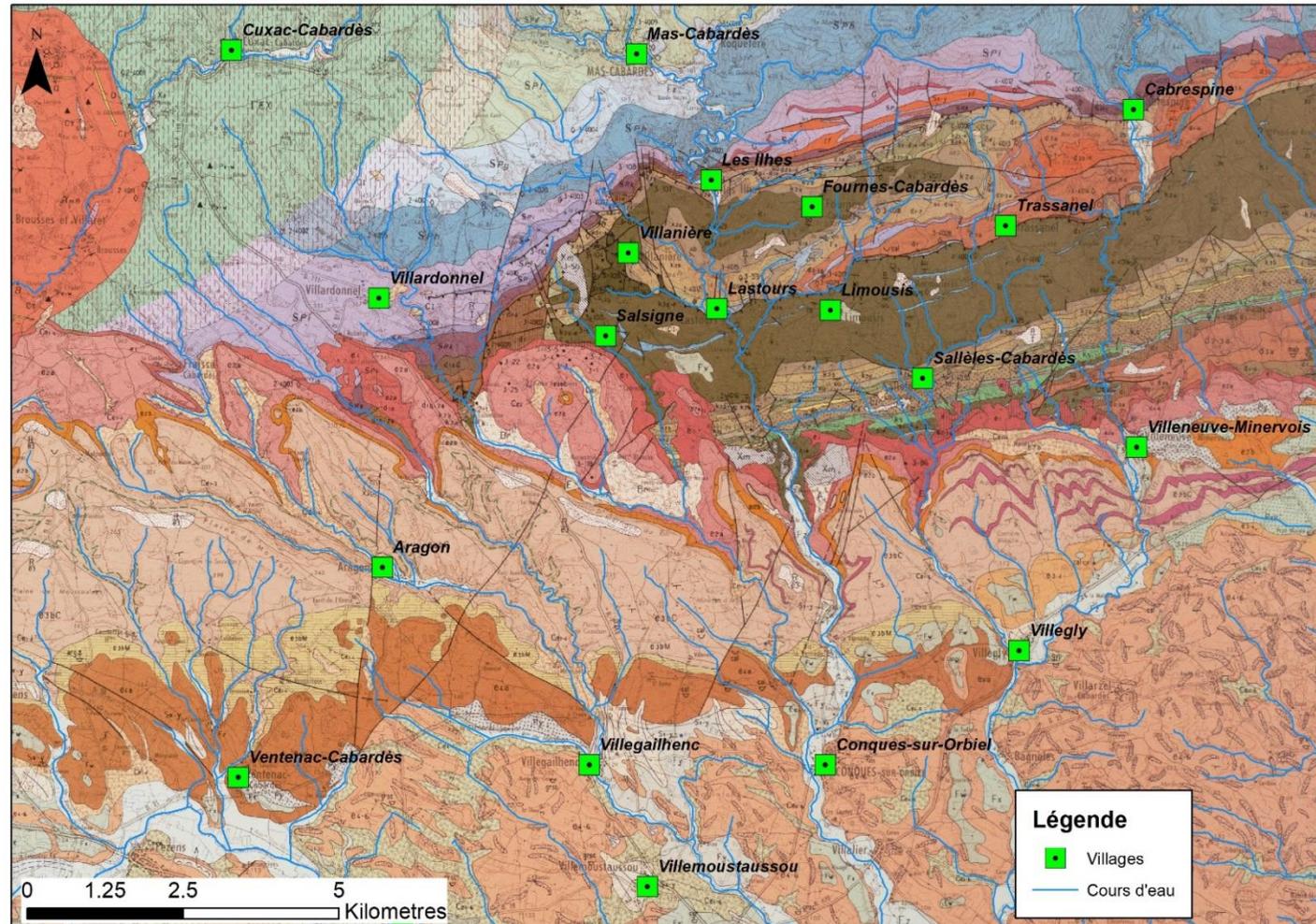


Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Carcassonne (n° 1037) couvrant la zone d'étude. Nous renvoyons le lecteur vers cette dernière pour une légende précise des différentes formations géologiques cartographiées. Le tableau 1 en donne cependant un aperçu succinct.

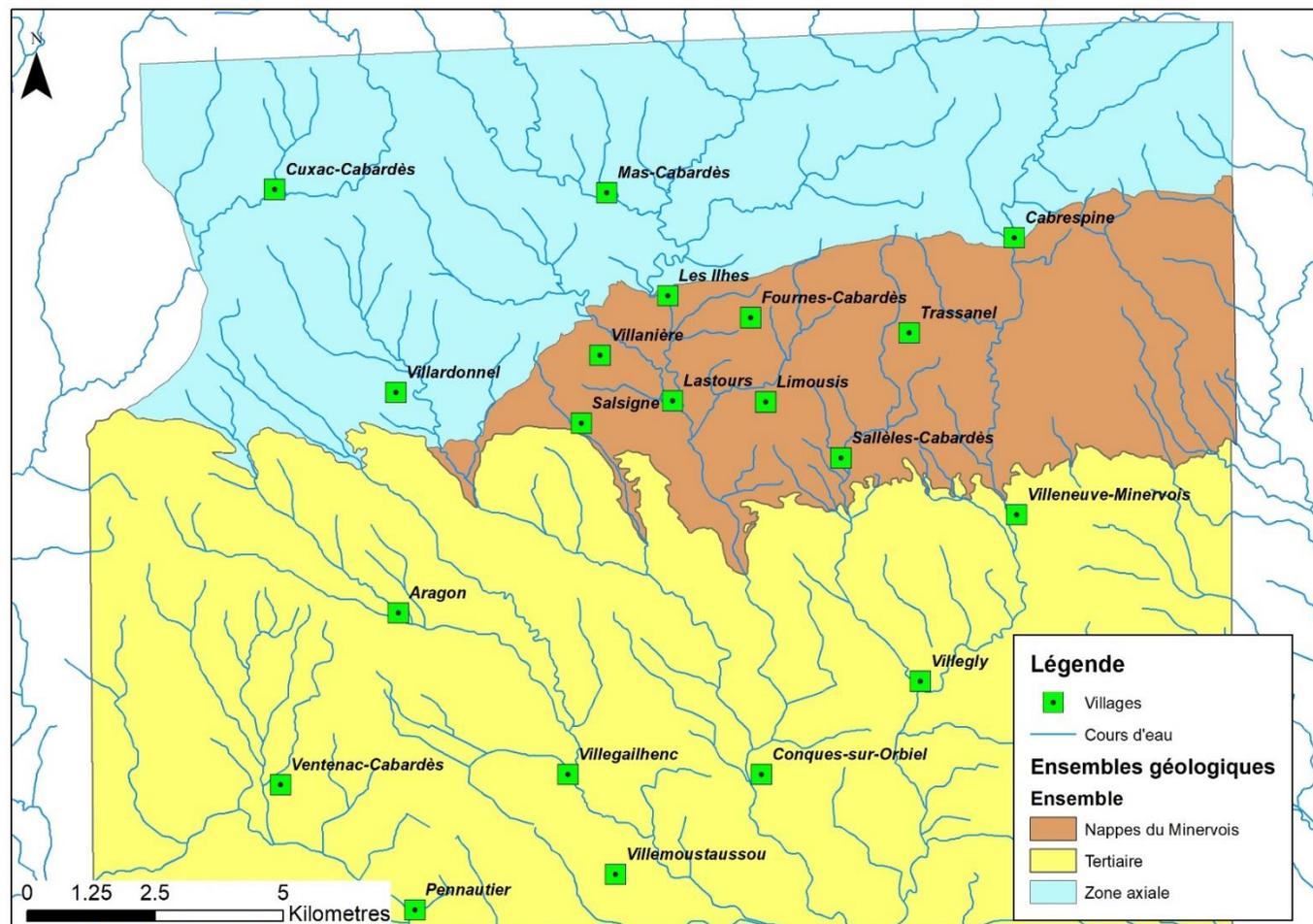


Figure 3 : Représentation cartographique des trois grands domaines issus des regroupements des formations lithologiques cartographiées au 1/50 000 (carte de Carcassonne, n° 1037).

Dans le secteur d'étude, plusieurs types d'alluvions ont été distinguées (Berger *et al.*, 1993) :

- les alluvions des très hautes terrasses (Fv), à blocs et galets, localisées en surplomb des vallées de la Montagne noire et à des altitudes relatives de + 100 à + 200 m. Elles sont principalement constituées de blocs quartzeux, avec des tailles pouvant fréquemment dépasser les 0,50 m de diamètre ;
- les alluvions des hautes terrasses (Fw), à galets quartzeux, localisées entre + 25 et + 60 m, et composées de galets grossiers (généralement inférieurs à 20 cm sauf en amont) et majoritairement de gneiss et schistes dans la Clamoux et l'Orbiel ;
- les alluvions des moyennes terrasses (Fx), à sables et galets, localisées entre + 10 et + 20 m, d'épaisseurs dépassant rarement le mètre et de taille moyenne de 20 cm, avec une composition lithologique similaire aux alluvions des hautes terrasses ;
- les alluvions anciennes des basses terrasses (Fy), à graviers et galets, localisées entre +5 et + 10 m, correspondant à une nappe de cailloutis et galets à la base des alluvions modernes ;
- les alluvions modernes (Fz), à limons, sables et graviers, de nature grossière pour les bassins-versants de l'Orbiel et de la Clamoux, avec des galets mal façonnés de dimensions moyennes de 10 cm environ.

Pour le secteur concerné (vallée de l'Orbiel), le contenu lithologique de ces différentes alluvions, principalement composées de schistes et gneiss de la zone axiale nous permet d'envisager un regroupement dans un même ensemble cohérent. Ainsi, pour la suite de ce rapport, nous utiliserons la terminologie simplifiée « alluvions » pour désigner l'ensemble de ces formations distinguées sur la carte géologique au 1/50 000.

Pour mémoire, la signature géochimique attendue pour les minéralisations du secteur comprend principalement les métaux et métalloïdes potentiellement impactants suivants : As, Ag, Bi, Cu, Pb, Zn, Sb (Melleton *et al.*, 2019). Ce sont donc ces éléments qui feront l'objet d'une présentation détaillée dans ce rapport.

3. Méthodes déployées

3.1. DÉTERMINATION DE VALEURS DE FOND PÉDOGÉOCHIMIQUE POUR LES SOLS DÉVELOPPÉS SUR ALLUVIONS DANS LA VALLÉE DE L'ORBIEL

L'activité minière qui s'est développée sur une partie du secteur amont de la vallée de l'Orbiel ayant eu un impact significatif en aval, il paraît difficile de caractériser le fond pédogéochimique pour les sols développés sur alluvions sur ce bassin-versant par échantillonnage et/ou mesure directe, l'absence de contribution anthropique ne pouvant pas être garantie.

En revanche, la Clamoux, affluent de la rive orientale de l'Orbiel, présente des caractéristiques géologiques et géographique sensiblement proche de ce dernier, mais en l'absence de travaux miniers significatifs. En particulier, le bassin-versant de la Clamoux est d'orientation globalement nord-sud (du moins jusqu'en aval de Villeneuve-Minervois) et traverse les mêmes formations lithostratigraphiques. En revanche, ce bassin-versant se localise dans une zone hors influence naturelle des minéralisations, c'est-à-dire avec des bruits de fond pédogéochimique plus faibles que dans les secteurs minéralisés (Melleton *et al.*, 2021).

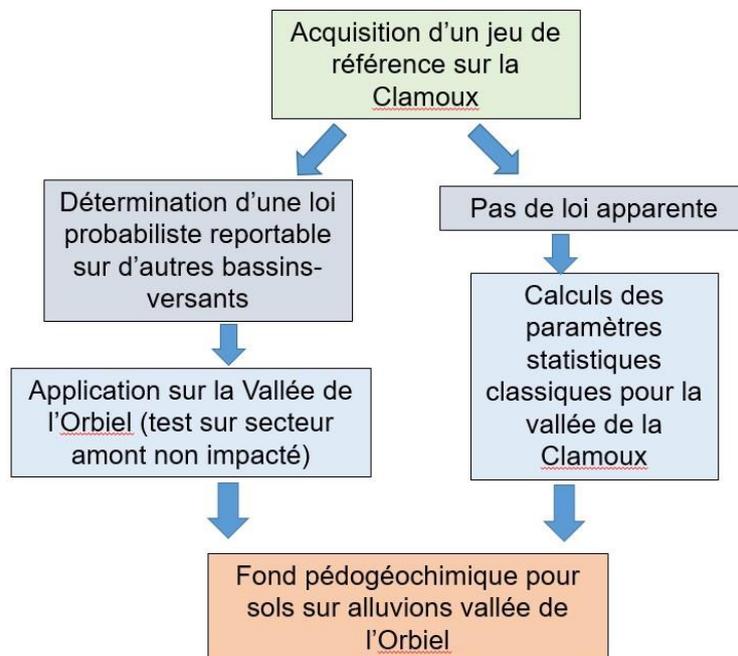


Figure 4 : Méthode proposée pour approcher les valeurs de fond pédogéochimique des sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de l'Orbiel.

À partir de cette apparente similarité, la méthode proposée (cf. Figure 4) pour cerner les valeurs de fond pédogéochimique pour la vallée de l'Orbiel repose donc sur l'approche suivante :

- 1/ Réalisation de prélèvements et analyses sur les sols sur alluvions du bassin-versant de la Clamoux. Le même protocole que celui utilisé pour la détermination des valeurs de référence pour les sols développés sur les formations de la zone axiale, des nappes du Minervois et du Tertiaire a été mis en œuvre.
- 2/ Étude de la répartition des gammes de valeurs obtenues et détermination d'une éventuelle loi mathématique de transfert entre les concentrations des sols sur grands ensembles lithostratigraphiques (voir Melleton *et al.*, 2021) et les sols sur alluvions.
- 3/ Test de cette loi sur le secteur amont de l'Orbiel.

Une approche prédictive de ce type a déjà été mise en œuvre sur des bassins-versants localisés en Écosse, les résultats montrant que la géochimie des sédiments de rivière est principalement contrôlée par un mélange conservatif entre les régions sources (Lipp *et al.*, 2020).

3.2. SÉLECTION DES SITES DE PRÉLÈVEMENT

Le choix des sites de prélèvement a fait l'objet d'une approche orientée. Les points ont été placés à l'avance le long de la Clamoux (51 prélèvements) et sur le secteur amont de l'Orbiel (11 prélèvements). Une répartition aussi homogène que possible sur les zones cartographiées sur la carte au 1/50 000 comme alluvions le long des deux bassins-versants a été appliquée tout en favorisant l'absence vraisemblable de potentielle contamination anthropique.

3.3. PRÉLÈVEMENT DE SOL

La procédure de prélèvement des échantillons de sol est strictement la même que celle mise en œuvre pour les projets en environnement minier du BRGM. L'horizon pédologique ciblé est l'horizon B, essentiellement constitué de minéraux d'altération et de fragments de roche mère. Pour ce faire, lors du prélèvement, l'horizon A essentiellement riche en humus et matière organique est décapé sur une surface carrée allant de 10 à 20 cm de côté. L'horizon ciblé correspond aux horizons majoritairement considérés dans le cadre d'études environnementales (principalement liés aux expositions par les sols de surface). Le prélèvement se fait à une profondeur variant entre 5 et 20 cm en fonction des conditions de développement du sol. Dans un environnement où la roche mère affleure, la surface du prélèvement sera agrandie pour avoir suffisamment de matériel. L'échantillon est tamisé sur place à 2 mm, fraction majoritairement considérée dans les études environnementales (Amalric *et al.*, 2015) puis homogénéisé (cf. *Figure 5*). Chaque échantillon (environ 500 g) a ensuite été prélevé dans un sachet plastique préalablement numéroté en respectant la numérotation du point théorique établie en amont afin d'être analysé en laboratoire.



Figure 5 : Exemple d'un prélèvement de sol tamisé à 2 mm.

3.4. ANALYSES EN LABORATOIRE

Les analyses en laboratoire ont été réalisées au laboratoire ALS Global localisé à Galway en Irlande (cf. Annexe 1). Encore une fois, le protocole utilisé est le même que celui pour la définition des fonds pédo-géochimiques de la région, présentés par Melleton *et al.* (2021). Cependant, les résultats de cette étude ayant démontré le peu d'intérêt d'une digestion totale des échantillons, seule la méthode d'analyse par digestion à l'eau régale a été appliquée. Pour rappel, la méthode de digestion par eau régale n'extrait pas toujours l'ensemble des éléments d'un échantillon, mais est très largement utilisée dans le domaine environnemental car elle serait considérée comme représentative de la fraction potentiellement d'origine anthropique du métal présent dans l'échantillon (Amalric *et al.*, 2017). Cette approche est idéale pour la dissolution des sulfures et le relargage des éléments fixés sur des argiles, ou piégés sur des oxydes et hydroxydes de fer et manganèse (note technique ALS). Le choix s'est ainsi porté sur cette méthode de digestion pour garantir la cohérence des valeurs de fond obtenues avec les études environnementales habituellement mises en œuvre.

Ainsi, après un broyage jusqu'à atteinte de 85 % de 250 g d'échantillon de granulométrie inférieure à 75 µm, les échantillons ont été soumis à une digestion de 0,5 g à l'eau régale (mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique concentrés à un ratio de 1:3) et analyse par ICP-MS et ICP-AES (code ME-MS41L).

Les éléments analysés et les limites de détection sont présentés dans le Tableau 1. La précision attendue est de ± 10 % (valeur donnée par le laboratoire).

ME-MS41L Analytes and Reporting Ranges											
Analyte	Units	Lower Limit	Upper Limit	Analyte	Units	Lower Limit	Upper Limit	Analyte	Units	Lower Limit	Upper Limit
Au	ppm	0.0002	25.0	Ag	ppm	0.001	100	Al	%	0.01	25.0
As	ppm	0.01	10000	B	ppm	10	10000	Ba	ppm	0.5	10000
Be	ppm	0.01	1000	Bi	ppm	0.0005	10000	Ca	%	0.01	25.0
Cd	ppm	0.001	1000	Ce	ppm	0.003	500	Co	ppm	0.001	10000
Cr	ppm	0.01	10000	Cs	ppm	0.005	500	Cu	ppm	0.01	10000
Fe	%	0.001	50	Ga	ppm	0.004	10000	Ge	ppm	0.005	500
Hf	ppm	0.002	500	Hg	ppm	0.004	10000	In	ppm	0.005	500
K	%	0.01	10	La	ppm	0.002	10000	Li	ppm	0.1	10000
Mg	%	0.01	25.0	Mn	ppm	0.1	50000	Mo	ppm	0.01	10000
Na	%	0.001	10	Nb	ppm	0.002	500	Ni	ppm	0.04	10000
P	%	0.001	1.00	Pb	ppm	0.005	10000	Pd	ppm	0.001	25.0
Pt	ppm	0.002	25.0	Rb	ppm	0.005	10000	Re	ppm	0.0002	50
S	%	0.01	10	Sb	ppm	0.005	10000	Sc	ppm	0.005	10000
Se	ppm	0.003	1000	Sn	ppm	0.01	500	Sr	ppm	0.01	10000
Ta	ppm	0.005	500	Te	ppm	0.003	500	Th	ppm	0.002	10000
Ti	%	0.001	10	Tl	ppm	0.001	10000	U	ppm	0.005	10000
V	ppm	0.1	10000	W	ppm	0.001	10000	Y	ppm	0.003	500
Zn	ppm	0.1	10000	Zr	ppm	0.01	500				

Tableau 1 : Éléments analysés et limites de détection associées pour la méthode de digestion à l'eau régale.

Le laboratoire ALS a appliqué son protocole interne de contrôle de la qualité des résultats obtenus avec l'analyse de différents standards et de blancs ainsi que la duplication de certains échantillons. Ce protocole n'a pas révélé de dérive pour les éléments d'intérêt de cette étude (voir partie GÉologie de ce rapport).

3.5. DÉTERMINATION STATISTIQUE DES FONDS PÉDOGÉOCHIMIQUES

Comme énoncé précédemment, l'approche proposée consiste à vérifier l'existence d'une relation simple entre les concentrations dans les sols développés sur les trois grands domaines géologiques régionaux (Melleton *et al.*, 2021) et les sols développés sur alluvions pour les bassins-versants les traversant. La détermination de cette relation permet de prédire des valeurs approchant celles du fond pédogéochimique pour les sols développés sur les alluvions de l'Orbiel.

Dans le cas où une telle relation s'avèrerait inexistante, nous proposons d'utiliser l'approche statistique utilisée dans Melleton *et al.* (2021), sur les concentrations obtenues dans le secteur de la Clamoux. Nous en rappelons les principes dans les paragraphes suivants.

Une fois les statistiques de base (moyenne, centiles, variances) déterminées, il convient de choisir une valeur statistique pour le calcul de la ligne de base du fond pédogéochimique (LBFG), c'est-à-dire la valeur maximale au-delà de laquelle les mesures pourront être considérées comme anormales, potentiellement en lien avec un impact d'activité anthropique. À ce jour, plusieurs valeurs sont utilisées dans la littérature :

- Médiane plus deux fois l'écart absolu médian (MED+2MAD) ;
- Centile 90 % (Q90) ou centile 95% (Q95) ;
- La Vibrisse supérieure de Tukey.

Les LBFG sont des mesures statistiques et à ce titre un nombre d'échantillons suffisant est nécessaire (en général > 30).

Il n'y a pas de consensus à l'heure actuelle (se référer à Belbeze *et al.*, 2019 pour une abondante discussion sur le sujet de l'établissement des fonds pédogéochimiques anthropisés pour la métropole toulousaine). En l'attente d'un consensus national, une règle provisoire et rationnelle a été appliquée par le BRGM pour la détermination des fonds :

- le calcul des teneurs est réalisé avec la méthode « Sancho » (rapport BRGM/RP-66306-FR d'octobre 2016) qui tient compte des limites de quantification des méthodes d'analyses ;
- les échantillons sont vérifiés comme étant correctement prélevés et de type « Sols sans influence anthropique i.e. non impactés ni sédiments ». Ce faisant, il n'y a pas de valeurs anormales *a priori* dans le jeu. Il n'y a plus alors de choix épistémique de valeurs de troncation entre populations ;
- si l'effectif est inférieur à 10, le maximum des concentrations est retenu (très incertain). Ceci permet d'être cohérent avec le guide de détermination des fonds à l'échelle du site (ADEME, 2018) ;
- si l'effectif est compris entre 10 et 30 ou taux de censure est supérieur à 25 %, le quantile Q90 est retenu. Le BRGM rejoint ici la recommandation de la SCM (Société de Calcul Mathématique, SA) en contexte sensible et l'approche allemande (LABO, 2003) ;
- si l'effectif est supérieur à 30, le taux de censure inférieur à 5 % et la distribution symétrique, la vibrisse supérieure de Tukey sera retenue. Il s'agit du cas classique ;
- si l'effectif est supérieur à 30 ou le taux de censure compris entre 5 % et 25 %, le quantile Q90 est retenu. Le BRGM rejoint ici la recommandation de la SCM en contexte sensible et l'approche allemande (LABO, 2003).

Dans le cadre de cette étude, le jeu de données obtenu à partir des prélèvements dans le secteur de la Clamoux correspondant à 51 observations (51), et l'absence de valeurs sous la limite de détection pour l'antimoine, l'arsenic, le cuivre, le plomb et le zinc permet d'utiliser la vibrisse supérieure de Tukey comme valeur de référence. Pour l'arsenic et le zinc, une évolution apparente de type linéaire d'amont vers l'aval permet d'utiliser une autre approche mathématique pour proposer des valeurs de fonds sur la vallée de l'Orbiel. Cette approche particulière est détaillée dans le chapitre suivant de ce rapport.

3.6. APPROCHE PRÉDICTIVE MISE EN ŒUVRE POUR LA PROPOSITION DE VALEURS DE RÉFÉRENCE SUR LA VALLÉE DE L'ORBIEL

La première étape du traitement des données obtenues a consisté à calculer des paramètres statistiques pour chacun des éléments d'intérêts et chacun des deux secteurs (Clamoux et Orbiel amont) puis à la réalisation d'un graphique décrivant la variation de l'amont vers l'aval des concentrations de ces éléments pour le secteur de la Clamoux (exemple Figure 8).

Pour les éléments pour lesquels une tendance a pu être mise en évidence (As, Zn, équation linéaire montrant une variation significative et un R^2 suffisamment robuste en écartant quelques valeurs anomales *i.e.* $R^2 > 0,3$), l'hypothèse que celle-ci pouvait être formalisée selon un modèle linéaire simple correspondant à l'équation 1 a permis de mettre en œuvre une approche prédictive des concentrations attendues pour le bassin-versant de l'Orbiel. Cette équation permet la mise en relation des concentrations présentes dans les sols développés sur alluvions avec les concentrations des sols développés sur les trois grands domaines géologiques, en prenant en compte les proportions de bassins-versants appartenant à ces domaines.

$$X_{\text{Alluvions}} = X_{\text{Zone axiale}} \times a \frac{S_{\text{Zone axiale}}}{(S_Z + S_N + S_T)} + X_{\text{Nappes}} \times b \frac{S_{\text{Nappes}}}{(S_Z + S_N + S_T)} + X_{\text{Tertiaire}} \times c \frac{S_{\text{Tertiaire}}}{(S_Z + S_N + S_T)}$$

Équation 1 : Hypothèse mathématique simple de relation linéaire entre les valeurs de bruits de fond pédo-géochimiques déterminés pour les trois ensembles géologiques cohérents ($X_{\text{Zone axiale}}$, X_{Nappes} et $X_{\text{Tertiaire}}$; Melleton et al., 2021) et les concentrations attendues dans les sols développés sur alluvions ($X_{\text{Alluvions}}$), en prenant en compte les surfaces des différents ensembles au point concerné ($S_{\text{Zone axiale}} = S_Z$, $S_{\text{Nappes}} = S_N$, $S_{\text{Tertiaire}} = S_T$).

Afin de déterminer les paramètres a, b et c de cette équation, nous avons fixé trois points de référence localisés respectivement en amont de Cabrespine, au niveau de Capitelle (en amont de Villeneuve-Minervois) et juste en aval de Malves-en-Minervois (cf. Figure 6). Ces points de référence ont été placés arbitrairement afin d'avoir différentes situations représentatives des proportions de surface de bassins-versants couvrant les différents domaines géologiques de l'évolution des contributions d'amont vers l'aval.

L'utilisation de la fonction « Solveur » du logiciel Excel de Microsoft nous a ensuite permis de déterminer des solutions optimales pour ces coefficients, pour chacun des éléments, en premier lieu sur le point de référence le plus en aval, c'est-à-dire celui localisé au niveau de Malves-en-Minervois (exemple pour l'arsenic en Tableau 3).

Ces paramètres ont ensuite été testés pour les autres points de référence de la Clamoux. La comparaison des valeurs calculées avec les concentrations mesurées au niveau des autres points de référence, en utilisant les paramètres déterminés à partir des données du point de Malves-en-Minervoies, montre une assez bonne cohérence (en accord avec la précision de 10 % donnée par le laboratoire ; voir exemple pour l'arsenic en Figure 9). Les paramètres obtenus sur la Clamoux ont ensuite été testés sur l'amont de l'Orbiel (point de référence Les Ilhes ; Figure 6, exemple pour l'arsenic en Tableau 3).

L'hypothèse que les phénomènes physico-chimiques régissant les concentrations de ces éléments dans les sols des alluvions de l'Orbiel (hors influence anthropique) sont similaires à ceux de la Clamoux permet de calculer des paramètres propres à la vallée de l'Orbiel selon un modèle linéaire équivalent. L'application de ces deux modèles pour des points de référence localisés en aval (cf. Figure 6) fournit des valeurs de références hautes et basses qui permettent d'encadrer le bruit de fond pédo-géochimique pour l'arsenic dans les sols développés sur les alluvions de la vallée de l'Orbiel (exemple pour l'arsenic en Figure 10). De la même façon que pour la Clamoux, ces points de référence ont été placés de manière à représenter le mieux possible les diverses proportions de domaines géologiques rencontrés en amont. Le nombre de points de référence a aussi été ajusté pour mettre en évidence la variabilité attendue sur le cours de l'Orbiel. Leur positionnement permet ainsi de déterminer quatre zones présentant des variations significatives en terme de teneur en arsenic : amont Lastours, Lastours - Moulin Claude, Moulin Claude - Pont Romain, et aval Pont Romain.

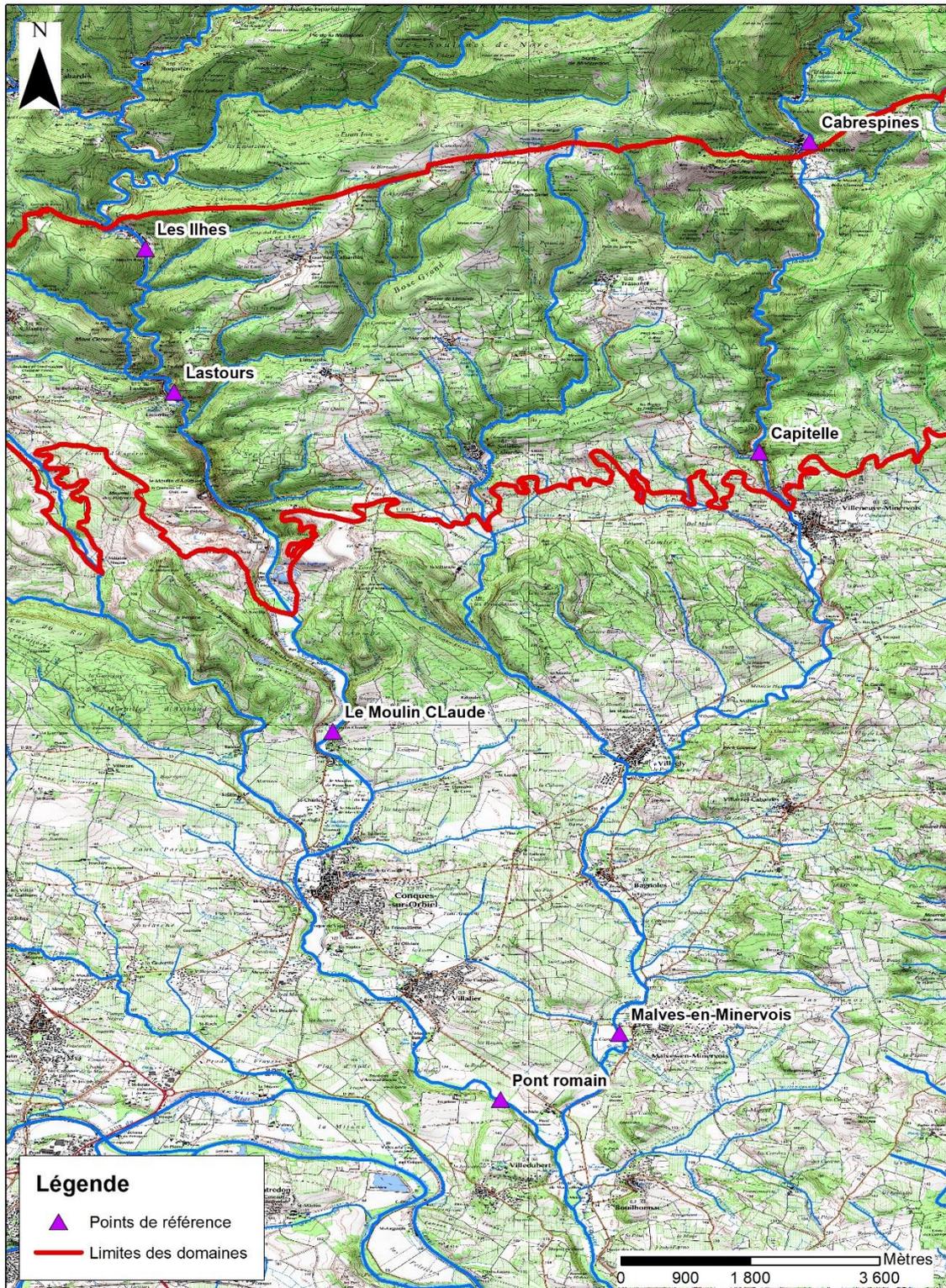


Figure 6 : Localisation des points de référence pour la détermination et le test d'une équation mettant en relation la concentration attendue dans les sols développés sur alluvions, en fonction des valeurs de fonds pédogéochimiques définis sur les domaines géologiques et les proportions de surfaces de ces domaines sur les bassins-versants correspondants.

4. Résultats

Le but de ces travaux étant principalement de proposer des valeurs de référence pour l'éventuelle classification en secteurs d'information des sols (SIS) des parcelles concernées par la crue de l'Orbiel d'octobre 2018, nous présenterons dans ce chapitre les résultats concernant les principaux éléments d'intérêt, c'est-à-dire l'arsenic, l'argent, l'antimoine, le bismuth, le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc.

4.1. ÉLÉMENTS PRÉSENTANT UNE ÉVOLUTION DE L'AMONT VERS L'AVAL

4.1.1. L'arsenic

Les concentrations en arsenic obtenues pour les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 18 et 113 mg/kg (cf. Tableau 2), avec une répartition montrant une diminution de l'amont vers l'aval (cf. Figure 7 et Figure 8).

Cette répartition semble montrer une relation linéaire (cf. Figure 8), et nous faisons l'hypothèse que nous pouvons formaliser cette relation selon un modèle linéaire simple correspondant à l'Équation 1.

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	18	80
Maximum	113	121
1er Quartile (Q1)	29	93
Médiane	42	101
3ème Quartile	55	114
Moyenne	46	102
Variance (n-1)	440	195
Ecart-type (n-1)	21	14

Tableau 2 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en arsenic mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

La comparaison des valeurs calculées avec les concentrations mesurées au niveau des autres points de référence en utilisant les paramètres déterminés à partir des données du point de Malves-en-Minervois montre une assez bonne cohérence (en accord avec la précision de 10 % donnée par le laboratoire) (cf. Figure 9).

Les paramètres obtenus sur la Clamoux ont ensuite été testés sur l'amont de l'Orbiel (point de référence Les Ilhes, Figure 6, Tableau 3).

La concentration prédite par le modèle, à 78 mg/kg est cependant plus basse que celle mesurée à 95 mg/kg (moyenne des quatre points les plus proches). L'application de ces deux modèles pour les points de référence localisés en aval fournit des valeurs de références hautes et basses qui permettent d'encadrer le bruit de fond pédo-géochimique pour l'arsenic dans les sols développés sur les alluvions de la vallée de l'Orbiel (cf. Figure 10).

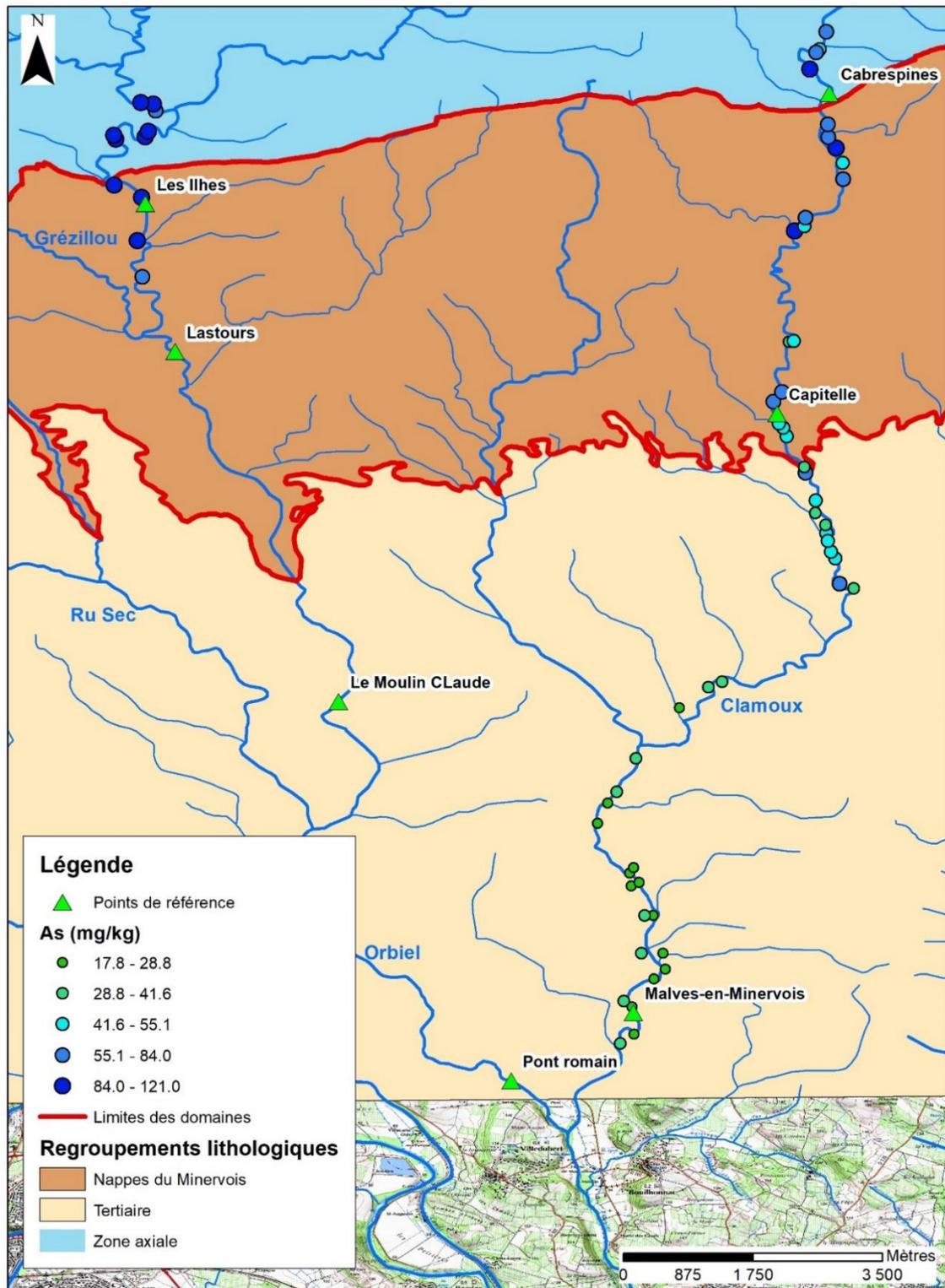


Figure 7 : Concentrations en arsenic mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux.

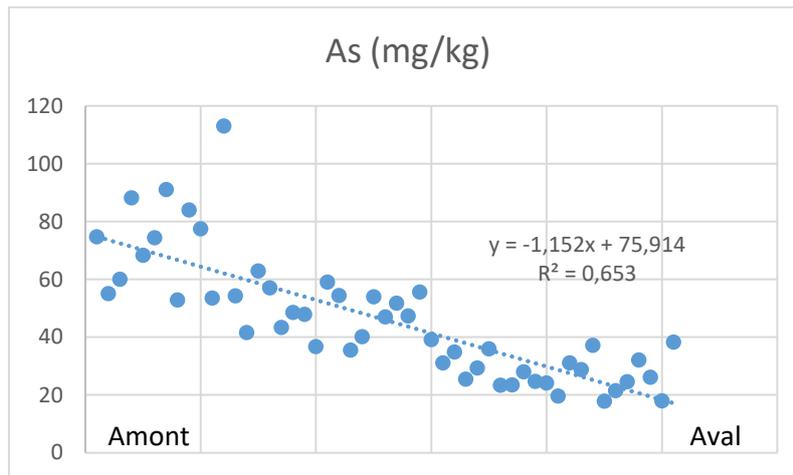


Figure 8 : Évolution des concentrations en Arsenic dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

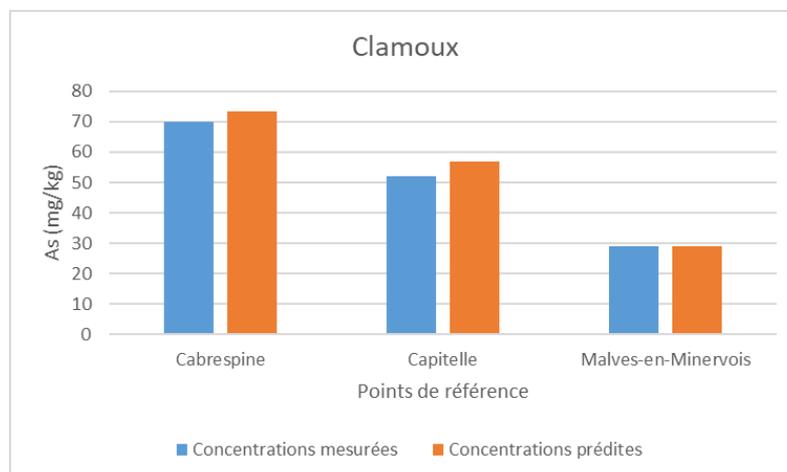


Figure 9 : Concentrations en As prédites comparées aux valeurs mesurées pour les points pour le secteur de la Clamoux.

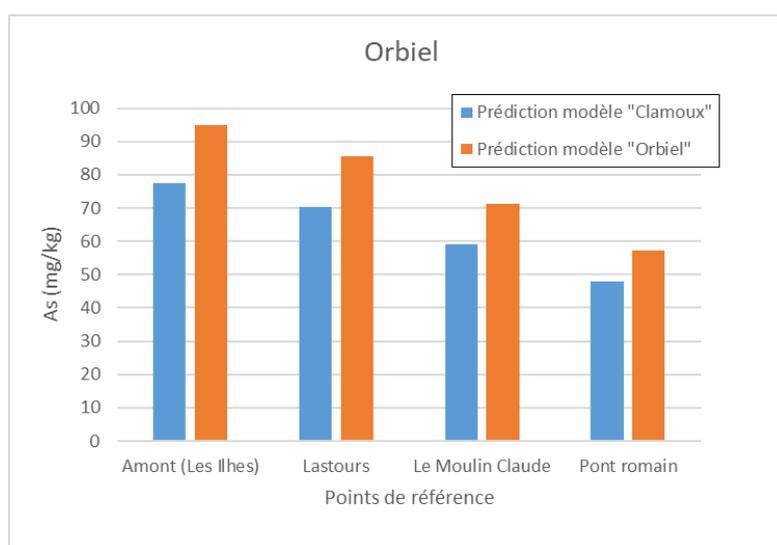


Figure 10 : Concentrations en As (mg/kg) prédites pour les points de référence du secteur de l'Orbiel selon les modèles déterminés à partir des données de la Clamoux et de l'Orbiel.

Valeurs de référence de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions de la vallée de l'Orbiel (Aude)

Points de référence	Xalluvions (mesuré) (mg/kg)	Xalluvions (objectif) (mg/kg)	Contribution Zone Axiale (mg/kg)	Contribution Nappes (mg/kg)	Contribution Tertiaire (mg/kg)	Xzone_axiale	a	Szone_axiale (km ²)	Xnappes	b	Snappes (km ²)	c	Xtertiaire	Stertiaire (km ²)	Commentaires
Secteur Clamoux															
Malves en Minervois	29	29.0	27.4	0.53	1.10	250	0.295	32.48	50	0.041	22.51	0.059	50	32.48	Calcul des paramètres par le solveur
Capitelle	52	56.8	56.3	0.48	0.00	250	0.295	32.27	50	0.041	10	0.059	50	0.001	Test des paramètres
Capitelle	52	52.0	52.0	0.00	0.00	250	0.272	32.27		0.000	10	0.000	50	0.001	Calcul des paramètres par le solveur
Cabrespine	70	73.5	73.5	0.01	0.00	250	0.295	28.47	50	0.041	0.08	0.059	50	0	Test des paramètres
Cabrespine	70	70.0	70.0	0.00	0.00	250	0.281	28.47	50	0.000	0.08	0.000	50	0	Calcul des paramètres par le solveur
Secteur Orbiel															
Amont (Les Ilhes)	95	77.6	77.5	0.08	0.00	267	0.295	48.16	120	0.041	0.77	0.059	120	0	Test des paramètres définis sur la Clamoux
Amont (Les Ilhes)	95	95.0	95.0	0.00	0.00	267	0.361	48.16	120	0.003	0.77	0.000	120	0	Calcul des paramètres par le solveur
Lastours	-	70.3	69.8	0.56	0.00	267	0.295	58.58	120	0.041	7.52		120	0	Paramètres Clamoux
Lastours	-	85.6	85.5	0.04	0.00	267	0.361	58.58	120	0.003	7.52		120	0	Paramètres Orbiel
Le Moulin Claude	-	59.1	57.7	1.07	0.34	267	0.295	59.22	120	0.041	17.685	0.059	120	3.93	Paramètres Clamoux
Le Moulin Claude	-	71.1	70.7	0.07	0.34	267	0.361	59.22	120	0.003	17.685	0.059	120	3.93	Paramètres Orbiel
Pont romain	-	47.9	45.2	0.83	1.81	267	0.295	74.66	120	0.041	22.03	0.059	120	33.26	Paramètres Clamoux
Pont romain	-	57.3	55.5	0.05	1.81	267	0.361	74.66	120	0.003	22.03	0.059	120	33.26	Paramètres Orbiel
Pont romain	-	46.8	45.2	0.83	0.75	267	0.295	74.66	120	0.041	22.03	0.059	50	33.26	
Pont romain	-	55.5	55.5	0.05	0.75	267	0.361	74.66	120	0.003	22.03	0.059	50	33.26	

Tableau 3 : Calculs et tests des paramètres pour les points de référence de la Clamoux et de l'Orbiel.

4.1.2. Le zinc

Les concentrations en zinc mesurées dans les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 42 et 190 mg/kg (cf. Tableau 4, Tableau 10, Figure 11 et Figure 12). Il semble exister une relation spatiale en lien avec la position dans le bassin-versant (cf. Figure 12). La même approche que celle utilisée pour l'arsenic est donc proposée.

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	42	100
Maximum	190	188
1er Quartile (Q1)	76	110
Médiane	89	121
3ème Quartile (Q3)	106	129
Moyenne	93	127
Variance (n-1)	774	763
Ecart-type (n-1)	28	28

Tableau 4 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en zinc mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

Les paramètres calculés et testés sont présentés dans le Tableau 5.

La comparaison des valeurs calculées avec les concentrations mesurées au niveau des autres points de référence en utilisant les paramètres déterminés à partir des données du point de Malves-en-Minervois montre une assez bonne cohérence (en accord avec la précision de 10 % donnée par le laboratoire) (cf. Figure 13).

De la même façon que pour l'arsenic, un modèle « Clamoux » et un modèle « Orbiel » ont été appliqués sur les concentrations des domaines géologiques à proximité du bassin-versant de l'Orbiel, en prenant en compte les proportions de ces domaines dans le bassin-versant pour différents cas de figure représentés par les points de référence. Les deux valeurs obtenues pour chaque point permettent de proposer une gamme de valeur dans laquelle le bruit de fond pédo-géochimique des sols sur alluvions devrait se placer (cf. Figure 14).

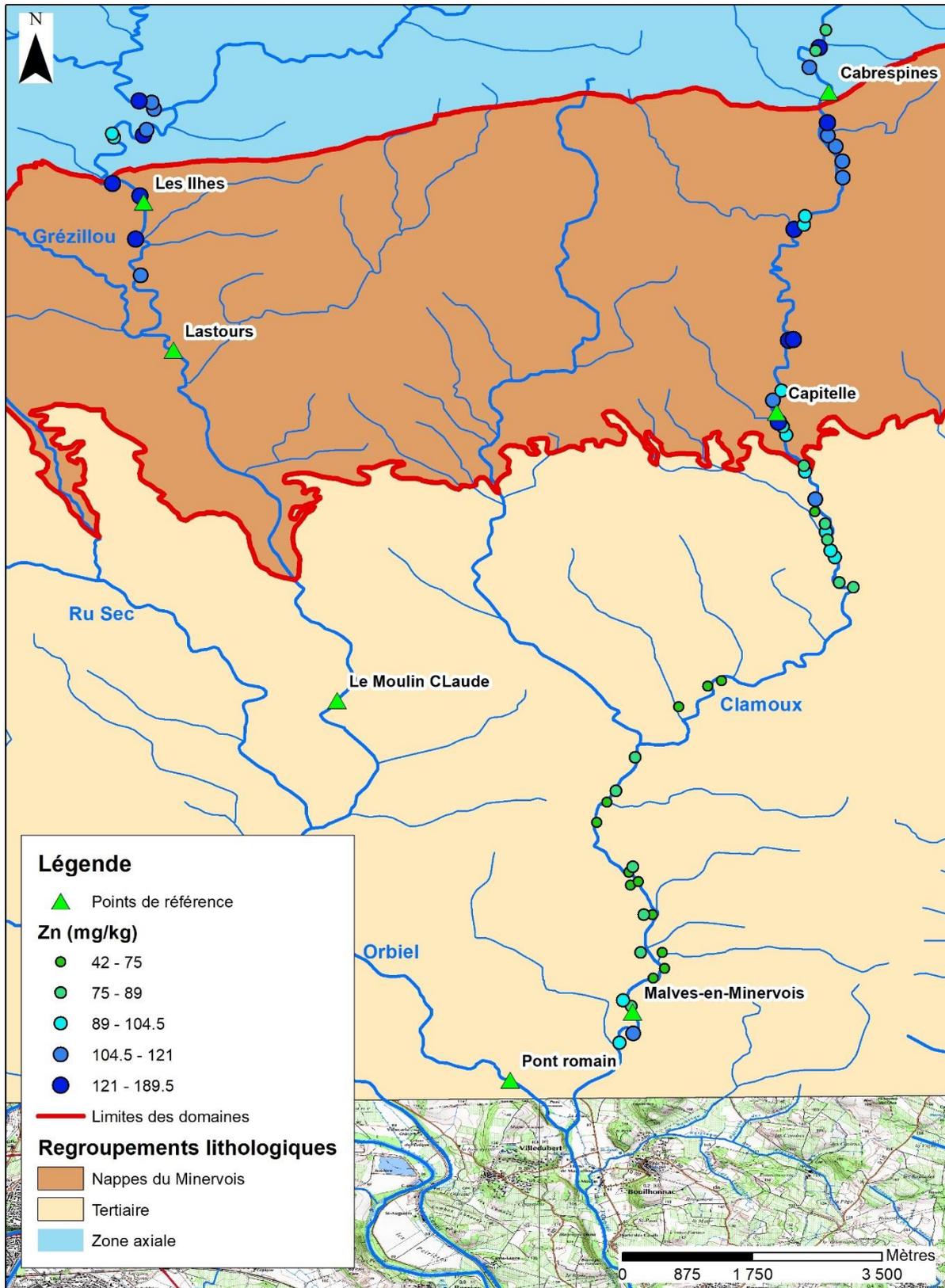


Figure 11 : Concentrations en zinc mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

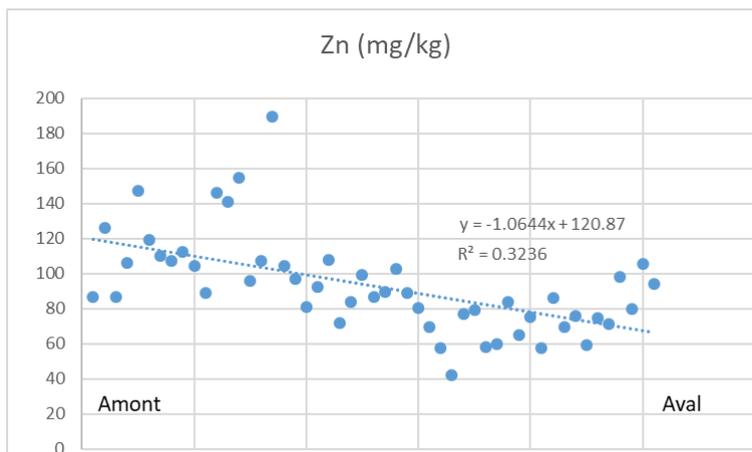


Figure 12 : Évolution des concentrations en zinc dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

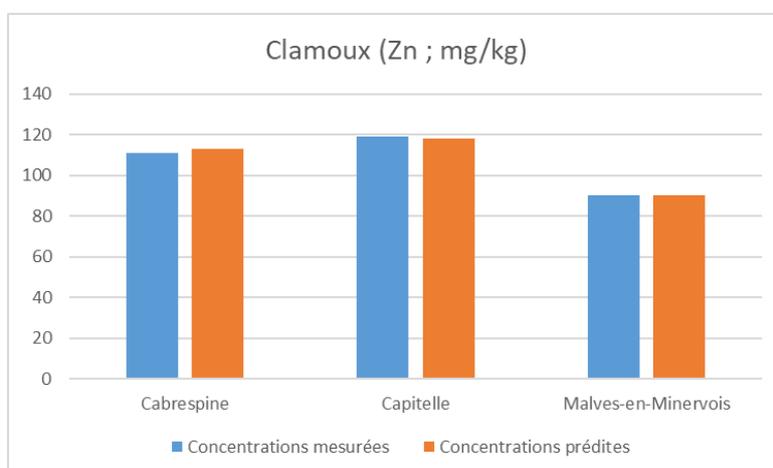


Figure 13 : Concentrations en zinc prédites comparées aux valeurs mesurées pour le secteur de la Clamoux.

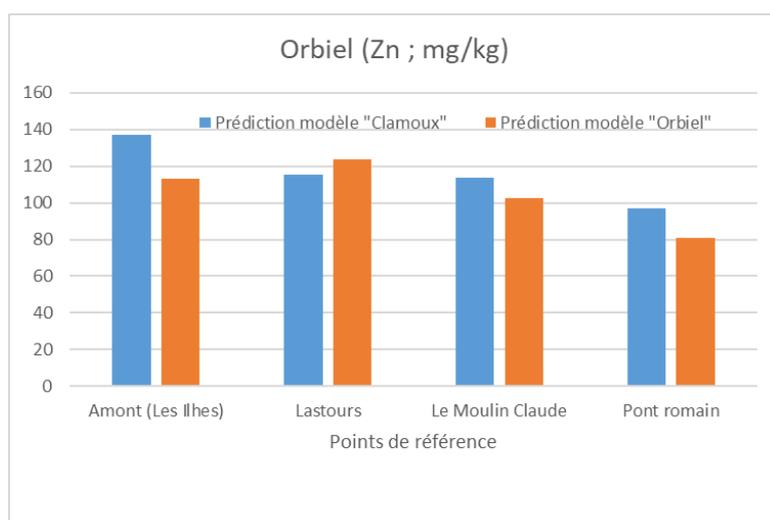


Figure 14 : Concentrations en zinc (mg/kg) prédites pour les points de référence du secteur de l'Orbiel selon les modèles déterminés à partir des données de la Clamoux et de l'Orbiel.

Valeurs de référence de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions de la vallée de l'Orbiel (Aude)

Points de référence	Xalluvions (mesurée) (mg/kg)	Xalluvions (calculée) (mg/kg)	Contribution Zone Axiale (mg/kg)	Contribution Nappes (mg/kg)	Contribution Tertiaire (mg/kg)	Xzone_axiale (mg/kg)	a	Szone_axiale (km²)	Xnappes (mg/kg)	b	Snappes (km²)	c	Xtertiaire (mg/kg)	Stertiaire (km²)	Commentaires
Malves en Minervoies	90	90.0	41.9	34.4	13.6	152	0.74	32.48	246	0.54	22.51	0.36	102	32.48	Calcul des paramètres par le solveur
Capitelle	119	117.9	86.2	31.6	0.0	152	0.74	32.27	246	0.54	10	0.36	102	0.001	Test des paramètres
Cabrespine	111	113.0	112.7	0.4	0.0	152	0.74	28.47	246	0.54	0.08	0.36	102	0	Test des paramètres
Secteur Orbiel															
Amont (Les Ilhes)	137	113.3	111.2	2.1	0.0	152	0.74	48.16	246	0.54	0.77	0.36	102	0	Test des paramètres définis sur la Clamoux
Amont (Les Ilhes)	137	137.0	136.9	0.1	0.0	152	0.92	48.16	246	0.02	0.77	0.00	102	0	Calcul des paramètres par le solveur
Lastours	-	115.3	100.1	15.2	0.0	152	0.74	58.58	246	0.54	7.52		102	0	Paramètres Clamoux
Lastours	-	123.8	123.3	0.5	0.0	152	0.92	58.58	246	0.02	7.52		102	0	Paramètres Orbiel
Le Moulin Claude	-	113.8	82.8	29.3	1.8	152	0.74	59.22	246	0.54	17.685	0.36	102	3.93	Paramètres Clamoux
Le Moulin Claude	-	102.8	101.9	0.9	0.0	152	0.92	59.22	246	0.02	17.685	0.00	102	3.93	Paramètres Orbiel
Pont romain	-	97.0	64.9	22.7	9.4	152	0.74	74.66	246	0.54	22.03	0.36	102	33.26	Paramètres Clamoux
Pont romain	-	80.6	79.9	0.7	0.0	152	0.92	74.66	246	0.02	22.03	0.00	102	33.26	Paramètres Orbiel
Pont romain	-	97.0	64.9	22.7	9.4	152	0.74	74.66	246	0.54	22.03	0.36	102	33.26	

Tableau 5 : Calculs et tests des paramètres pour les points de référence de la Clamoux et de l'Orbiel pour le zinc.

4.2. ÉLÉMENTS NE PRÉSENTANT PAS UNE TENDANCE ENTRE L'AMONT ET L'AVAL DE LA CLAMOUX

4.2.1. L'argent

Les concentrations en argent obtenues pour les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 0,046 et 0,278 mg/kg (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, Figure 15). Contrairement au cas de l'arsenic, il ne semble pas y avoir de corrélation claire entre les concentrations en argent et la position amont-aval au sein du bassin versant (cf. Figure 16). Les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent plutôt dans le domaine des nappes, ainsi que dans le début du Tertiaire (aval Capitelle). Pour l'Orbiel, les plus fortes concentrations sont plutôt localisées dans la zone axiale (cf. Figure 15 et Figure 18).

Les concentrations en argent sont par ailleurs nettement plus élevées dans le secteur de l'Orbiel amont (cf. Figure 17). Afin de proposer une valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel, nous proposons d'utiliser le Q90 des mesures réalisées dans le secteur Orbiel amont (voir p.20), qui correspond à 0,24 mg/kg.

Le calcul de la vibrisse de Tukey (VS), selon la formule $VS = Q3 + DIQ \times \alpha$, avec Q3 correspondant au troisième quartile, DIQ à la distance interquartile soit $Q3 - Q1$, et $\alpha = 1,5$ (Villanneau *et al.*, 2008), appliqué aux données du secteur de la Clamoux permet de définir une valeur de référence pour ce secteur. La valeur obtenue est ainsi de 0,190 mg/kg (applicable au secteur de la Clamoux).

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	0.046	0.106
Maximum	0.278	0.581
1er Quartile (Q1)	0.077	0.131
Médiane	0.095	0.156
3ème Quartile	0.123	0.206
Moyenne	0.113	0.199
Variance (n-1)	0.003	0.016
Ecart-type (n-1)	0.055	0.128

Tableau 6 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en argent mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

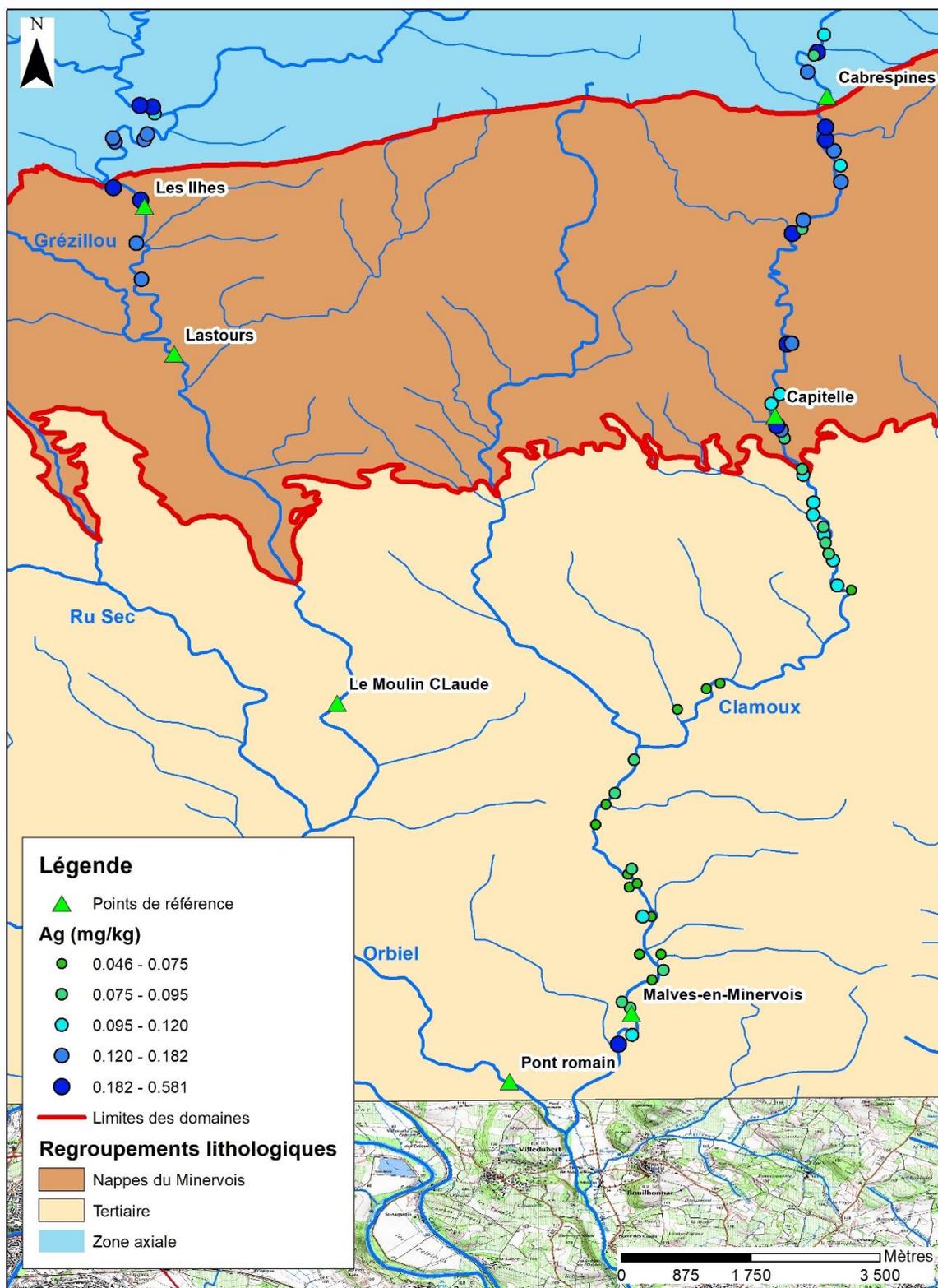


Figure 15 : Concentrations en argent mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

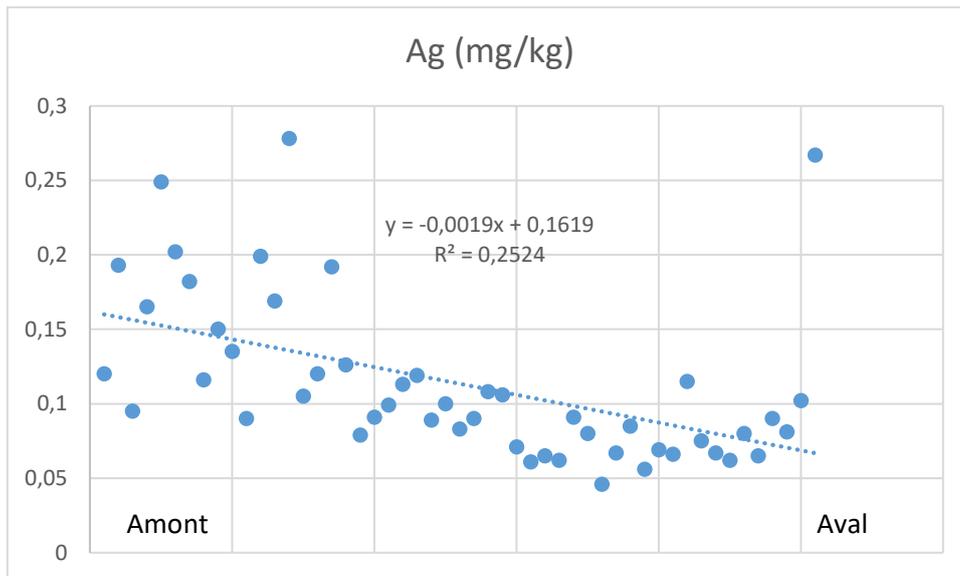


Figure 16 : Évolution des concentrations en argent dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

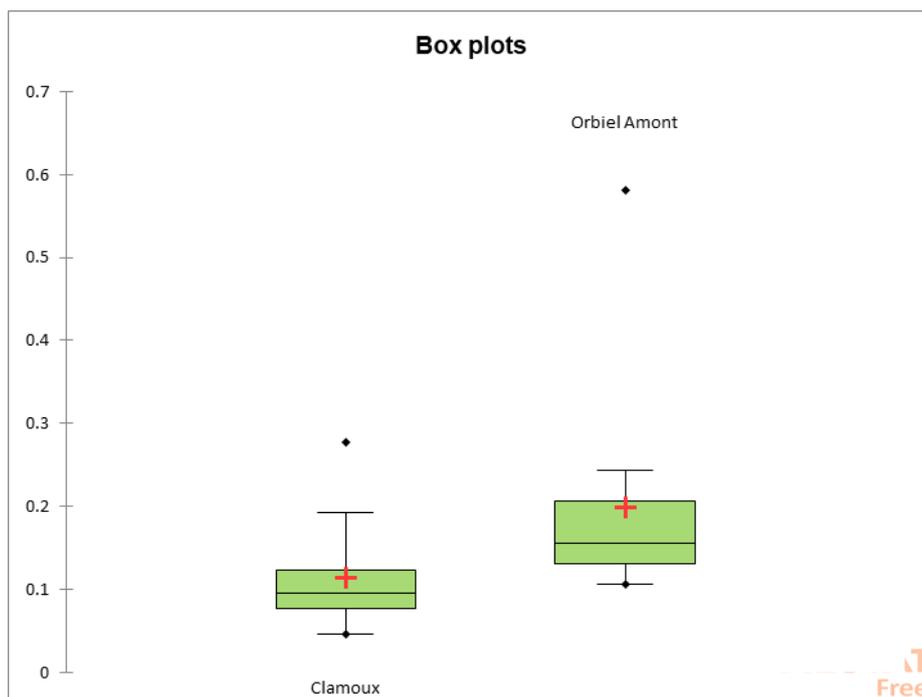


Figure 17 : Comparaison des concentrations en argent mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

4.2.2. Le bismuth

Les concentrations en bismuth obtenues pour les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 0,197 et 0,903 mg/kg (cf. Tableau 7, Figure 18 et Figure 19). De même que pour l'argent, il ne semble pas y avoir de corrélation claire entre les concentrations et la position amont-aval au sein du bassin versant. Les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent plutôt dans le domaine des nappes, ainsi que dans le début du Tertiaire (aval Capitelle). Pour l'Orbiel, les plus fortes concentrations sont plutôt localisées dans la zone axiale (cf. Figure 18).

Les concentrations en bismuth sont par ailleurs nettement plus élevées dans le secteur de l'Orbiel amont (cf. Figure 20 et Figure 18).

Afin de proposer une valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel, nous proposons d'utiliser le percentile Q90 des mesures réalisées dans le secteur Orbiel amont (voir p.20), qui correspond à 1,38 mg/kg.

Le calcul de la vibrisse de Tukey (VS) appliqué aux données du secteur de la Clamoux permet de définir une valeur de référence pour ce secteur. La valeur obtenue est ainsi de 1,04 mg/kg, applicable au secteur de la Clamoux.

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	0.197	0.648
Maximum	0.903	2.380
1er Quartile (Q1)	0.372	0.825
Median	0.452	0.924
3ème Quartile (Q3)	0.551	1.058
Moyenne	0.464	1.058
Variance (n-1)	0.024	0.232
Ecart-type (n-1)	0.155	0.481

Tableau 7 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en bismuth mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

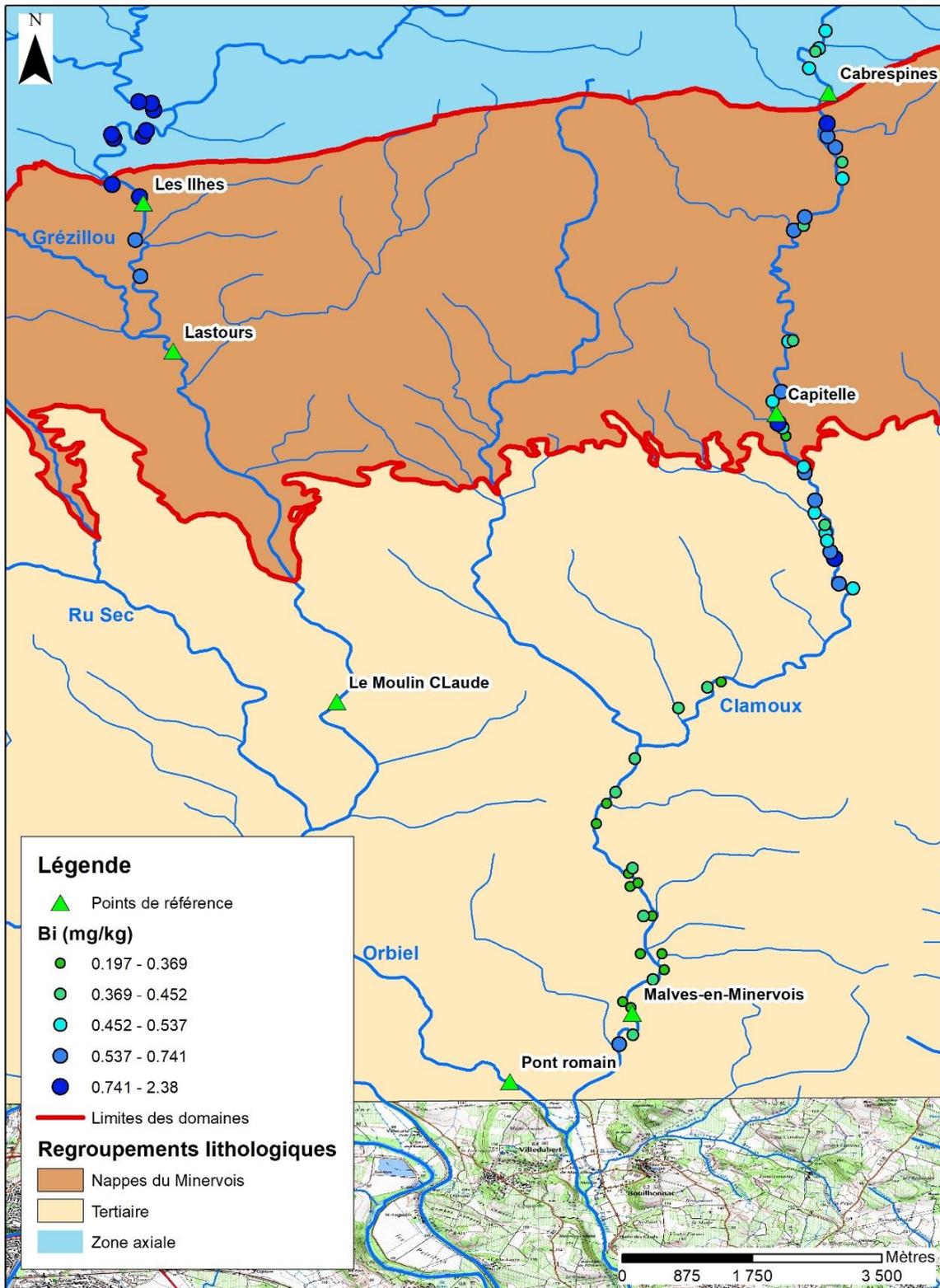


Figure 18 : Concentrations en bismuth mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

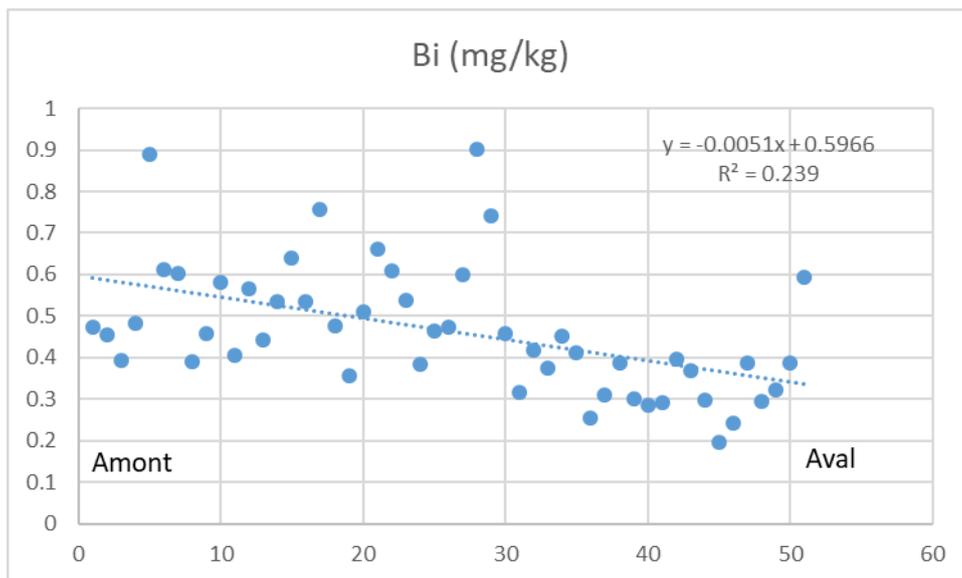


Figure 19 : Évolution des concentrations en Bismuth dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

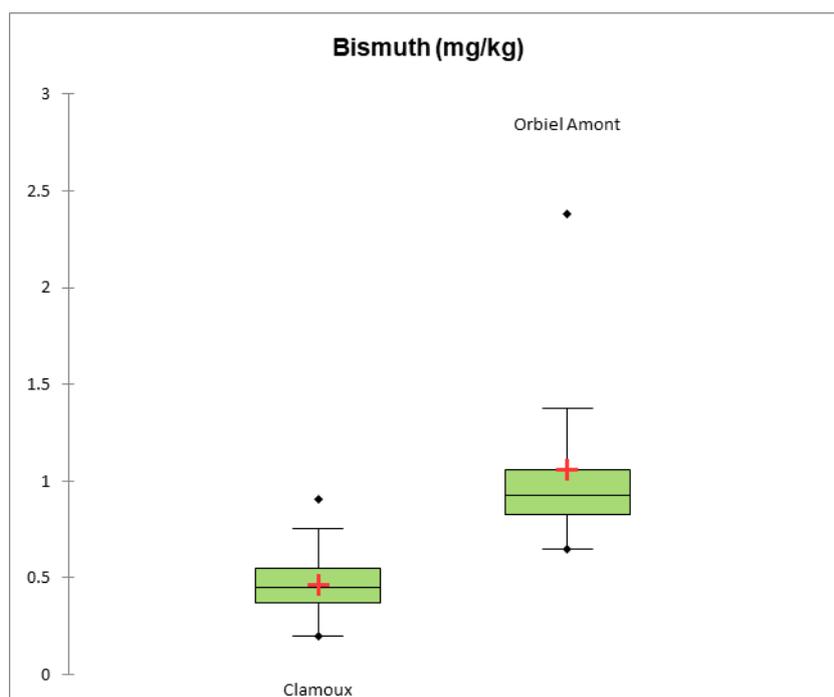


Figure 20 : Comparaison des concentrations en bismuth mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

4.2.3. Le cadmium

Les concentrations en cadmium mesurées dans les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 0,199 et 0,692 mg/kg (cf. Tableau 8, Figure 21 et Figure 22). Cependant, il ne semble pas exister de relation spatiale en lien avec la position au sein du bassin-versant (cf. Figure 22). En effet, les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent plutôt dans le domaine des nappes, mais aussi en aval dans le domaine tertiaire (Malves-en-Minervois).

Les gammes de concentrations en cadmium sont assez similaires entre les secteurs Clamoux et Orbiel amont (cf. Figure 23 et Figure 18). Nous proposons donc d'utiliser la vibrisse de Tukey calculée à partir des mesures réalisées sur le secteur de la Clamoux comme valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel.

La valeur obtenue est ainsi de 0,52 mg/kg.

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	0.199	0.240
Maximum	0.692	0.420
1er Quartile (Q1)	0.259	0.287
Médiane	0.297	0.332
3ème Quartile	0.363	0.360
Moyenne	0.328	0.324
Variance (n-1)	0.012	0.003
Ecart-type (n-1)	0.111	0.059

Tableau 8 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en cadmium mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel.

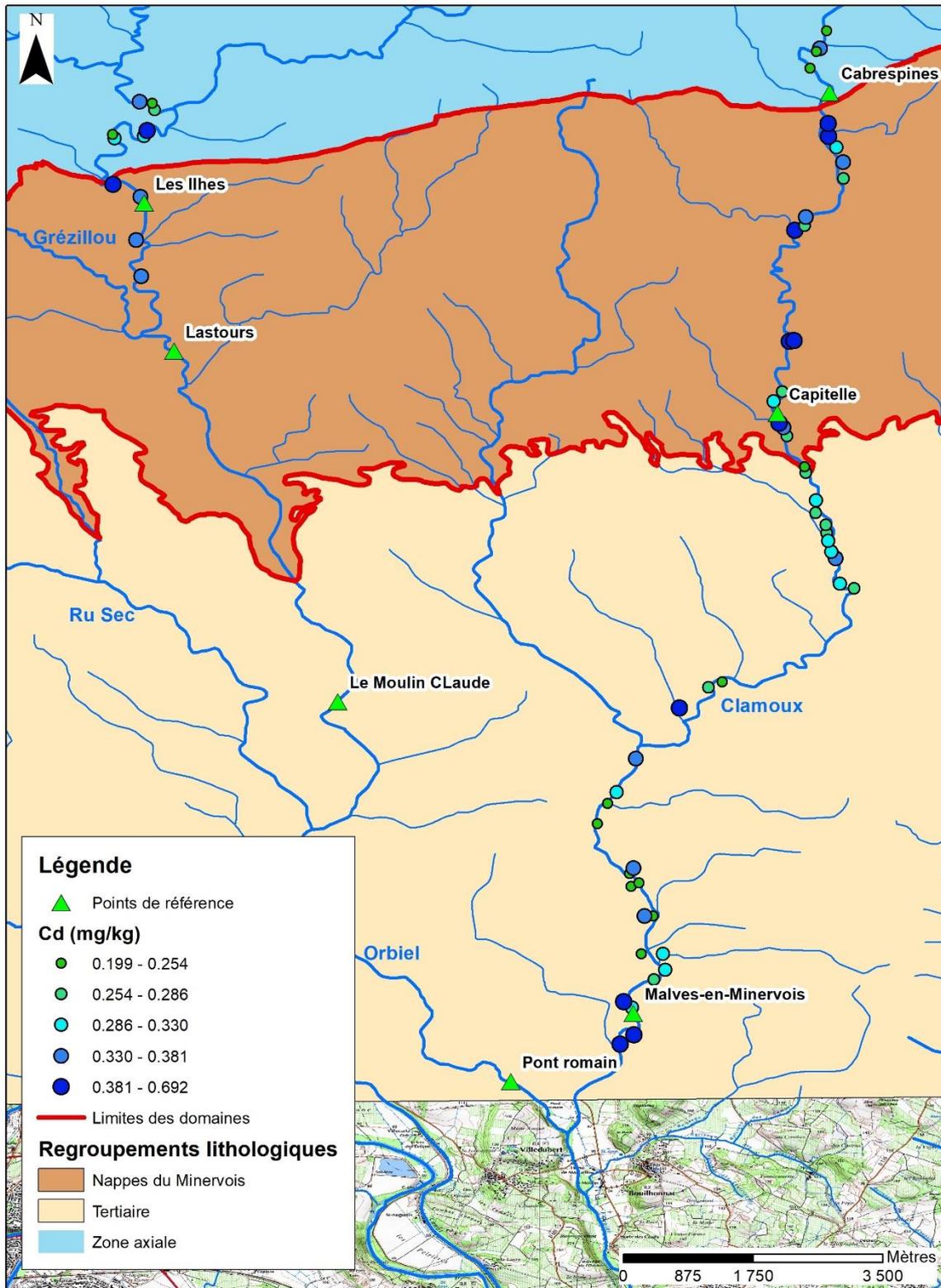


Figure 21 : Concentrations en cadmium mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

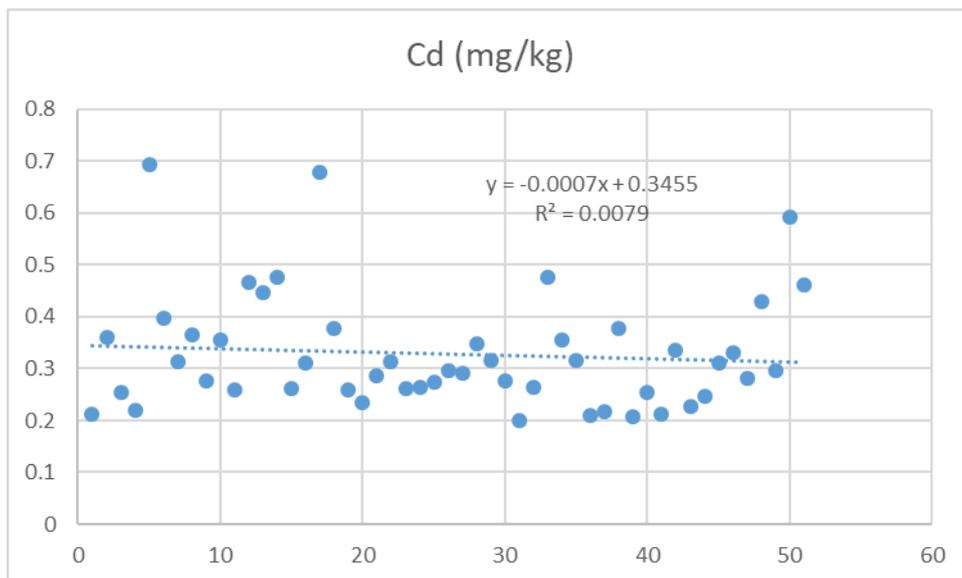


Figure 22 : Évolution des concentrations en cadmium dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

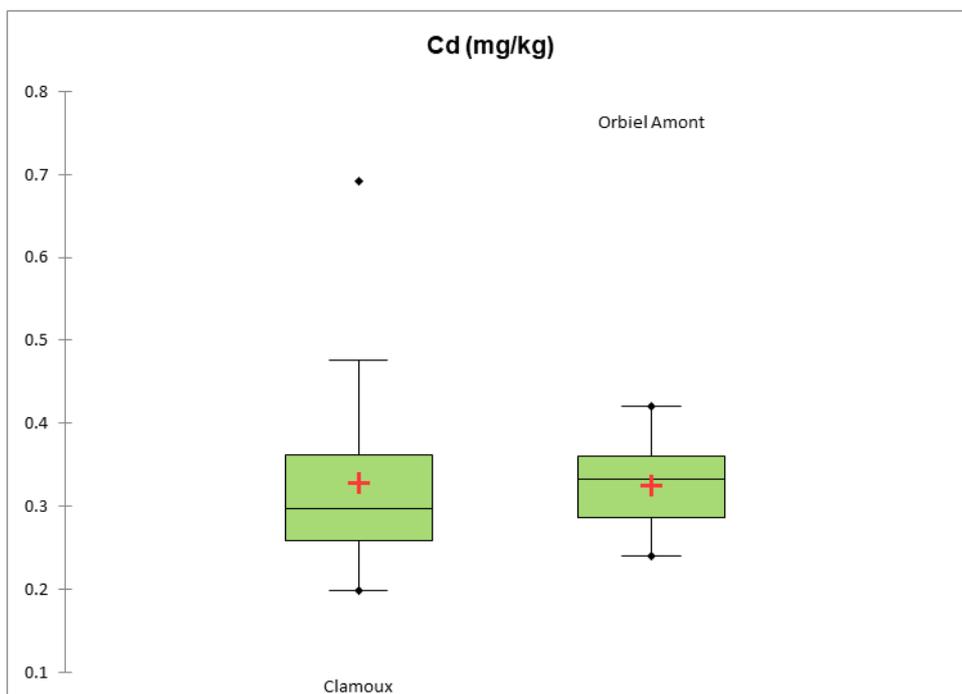


Figure 23 : Comparaison des concentrations en cadmium mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

4.2.4. Le cuivre

Les concentrations en cuivre mesurées dans les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 27 et 152 mg/kg (cf. Tableau 9, Figure 24 et Figure 25), avec de très fortes variations locales. Il ne semble pas exister de relation spatiale en lien avec la position au sein du bassin-versant. En effet, les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent plutôt en amont dans le domaine des nappes, et dans le domaine tertiaire. Ces fortes concentrations aval pourraient par ailleurs être en lien avec les pratiques agricoles (présence de vignobles sur le secteur de la Clamoux).

Les gammes de concentrations en cuivre sont assez similaires entre les secteurs Clamoux et Orbiel amont (cf. Figure 26 et Figure 18). Nous proposons donc d'utiliser la vibrisse de Tukey calculée à partir des mesures réalisées sur le secteur de la Clamoux comme valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel.

La valeur obtenue est ainsi de 144,2 mg/kg.

Statistique	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	27	44
Maximum	152	87
1er Quartile (Q1)	40	49
Médiane	58	58
3ème Quartile (Q3)	82	63
Moyenne	64	58
Variance (n-1)	787	144
Ecart-type (n-1)	28	12

Tableau 9 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en cuivre mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

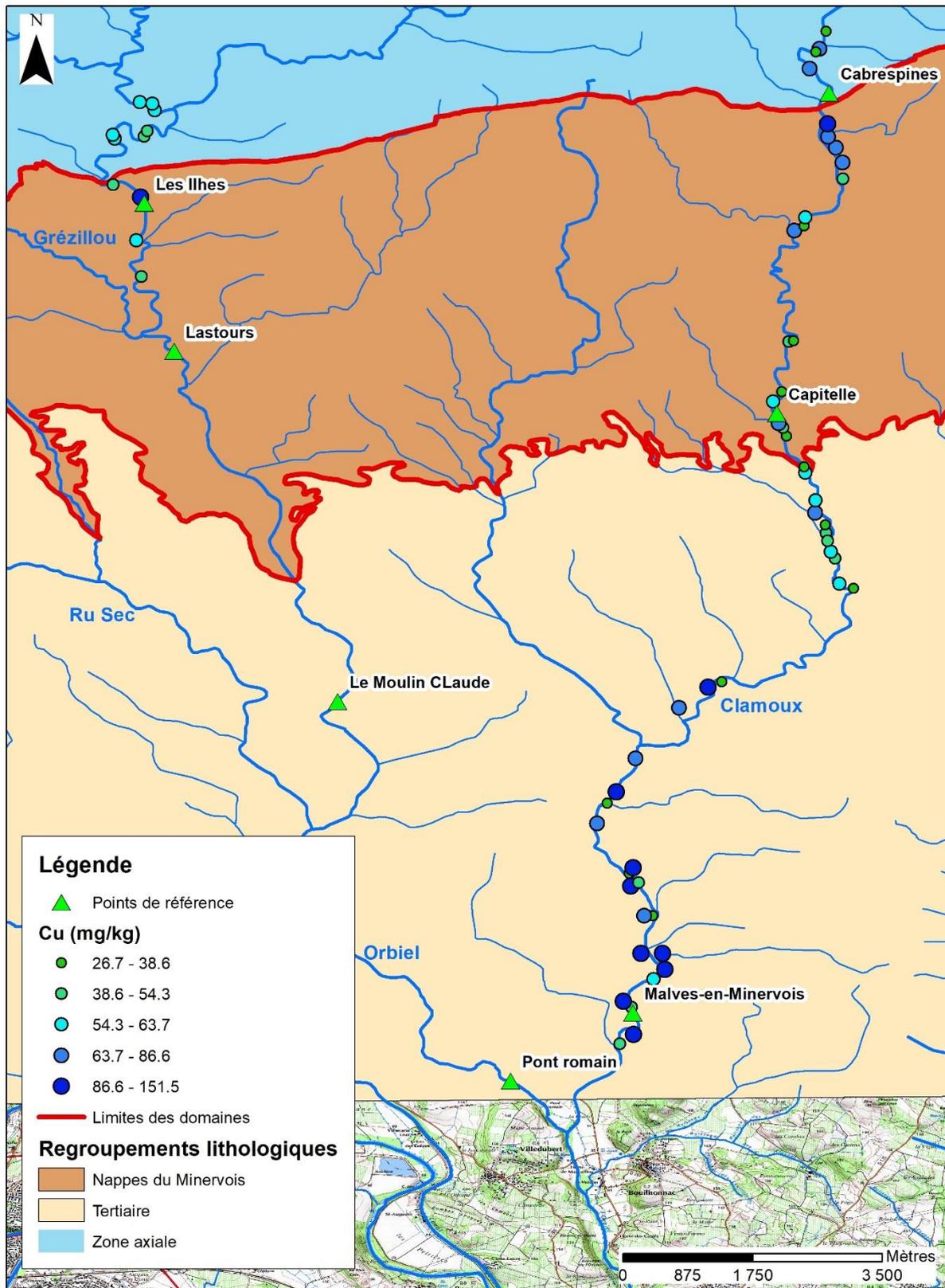


Figure 24 : Concentrations en cuivre mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

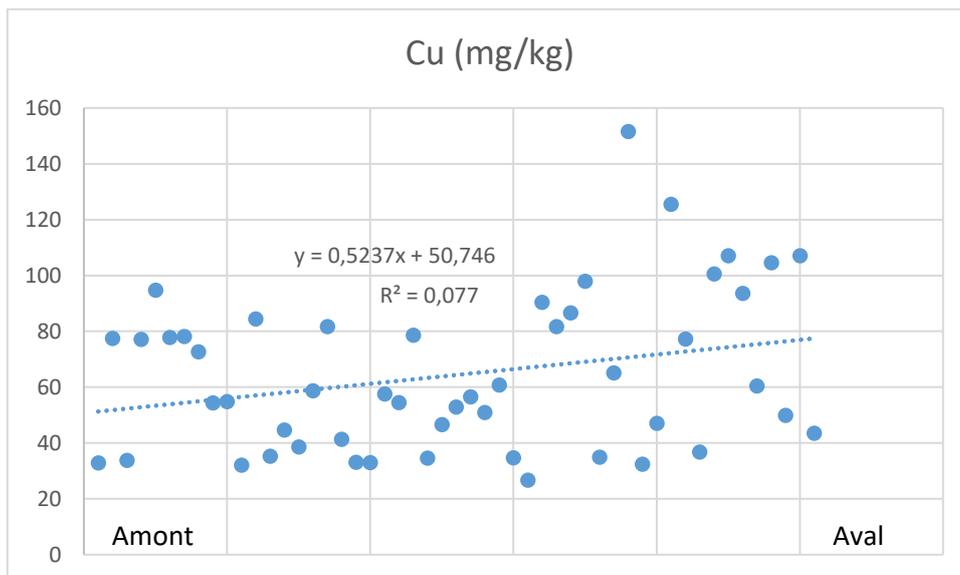


Figure 25 : Évolution des concentrations en cuivre dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

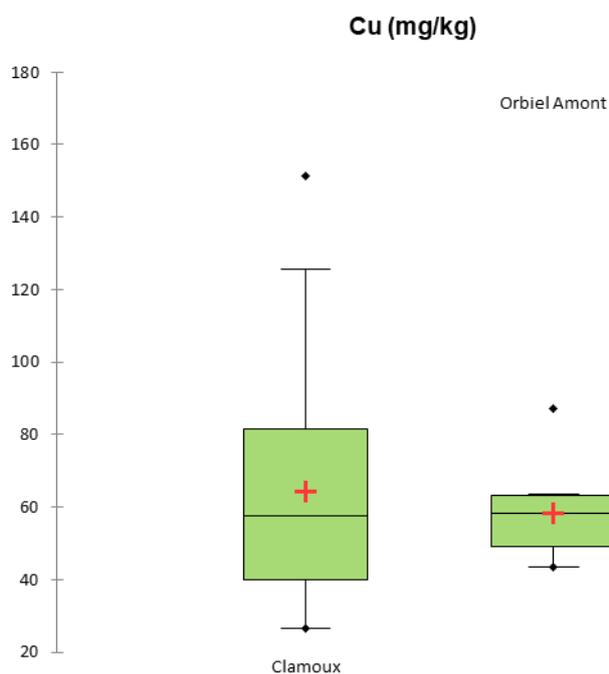


Figure 26 : Comparaison des concentrations en cuivre mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

4.2.5. Le plomb

Les concentrations en plomb mesurées dans les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 18 et 104 mg/kg (cf. Tableau 10, Figure 27 et Figure 28), avec de fortes variations ponctuelles. Aussi, il ne semble pas exister de relation spatiale en lien avec la position au sein du bassin-versant. Les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent en différents points de prélèvements le long du bassin-versant.

Les gammes de concentrations en plomb sont assez similaires entre les secteurs Clamoux et Orbiel amont (cf. Figure 29). Nous proposons donc d'utiliser la vibrisse de Tukey calculée à partir des mesures réalisées sur le secteur de la Clamoux comme valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel.

La valeur obtenue est ainsi de 57 mg/kg.

Statistiques	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	18	27
Maximum	104	64
1er Quartile (Q1)	24	29
Médiane	28	31
3ème Quartile (Q3)	37	35
Moyenne	33	35
Variance (n-1)	266	110
Ecart-type (n-1)	16	10

Tableau 10 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en plomb mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

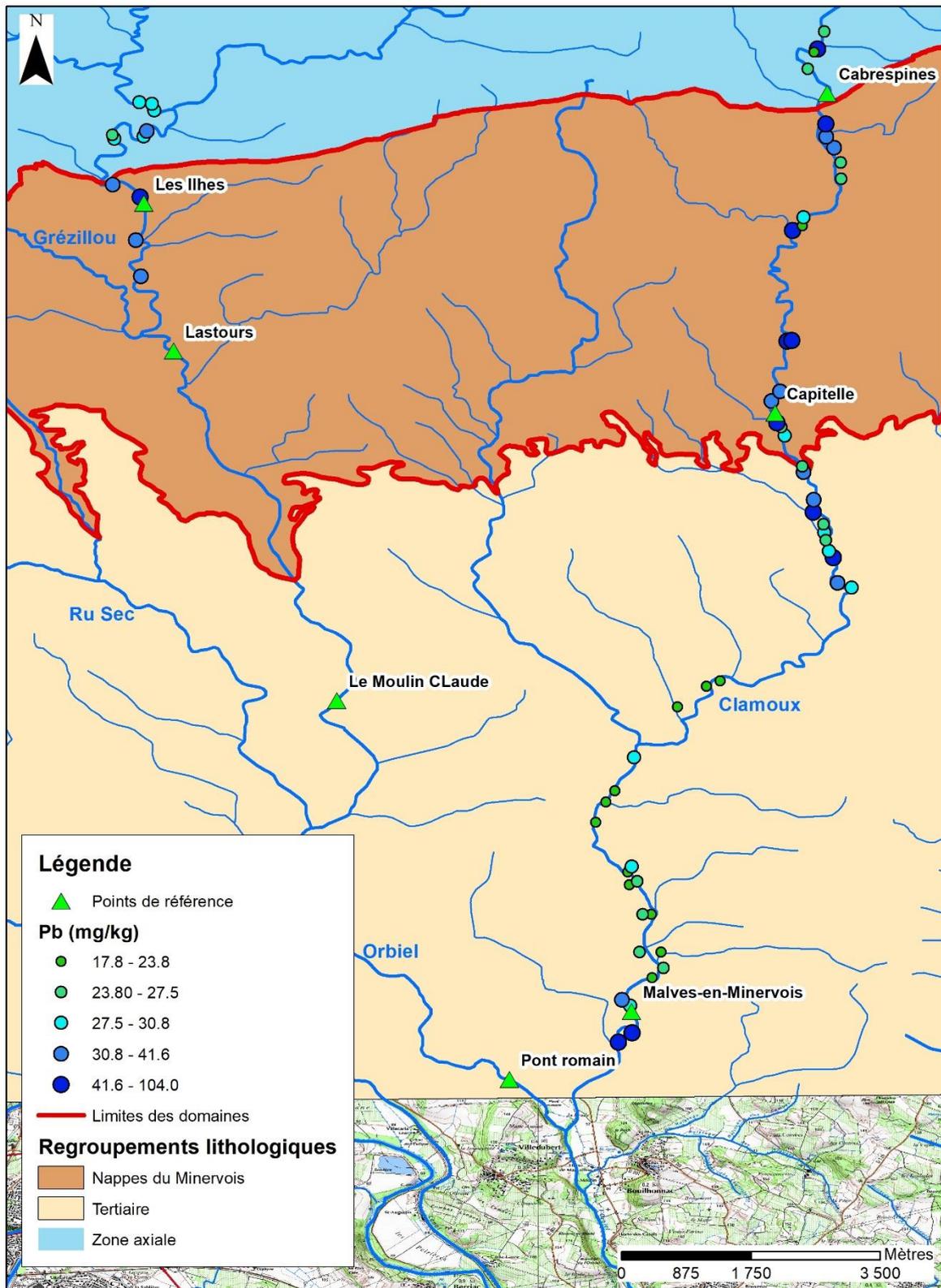


Figure 27 : Concentrations en plomb mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

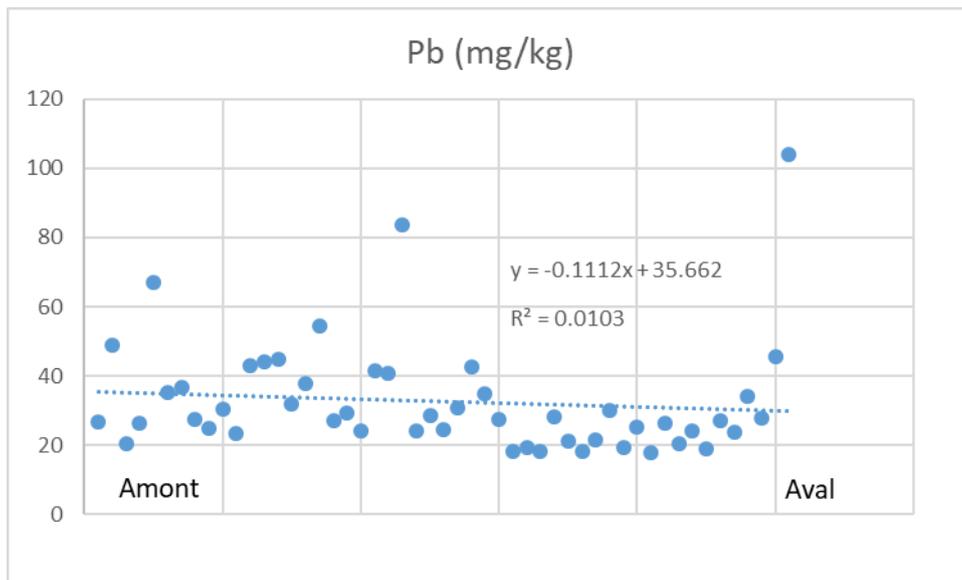


Figure 28 : Évolution des concentrations en plomb dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

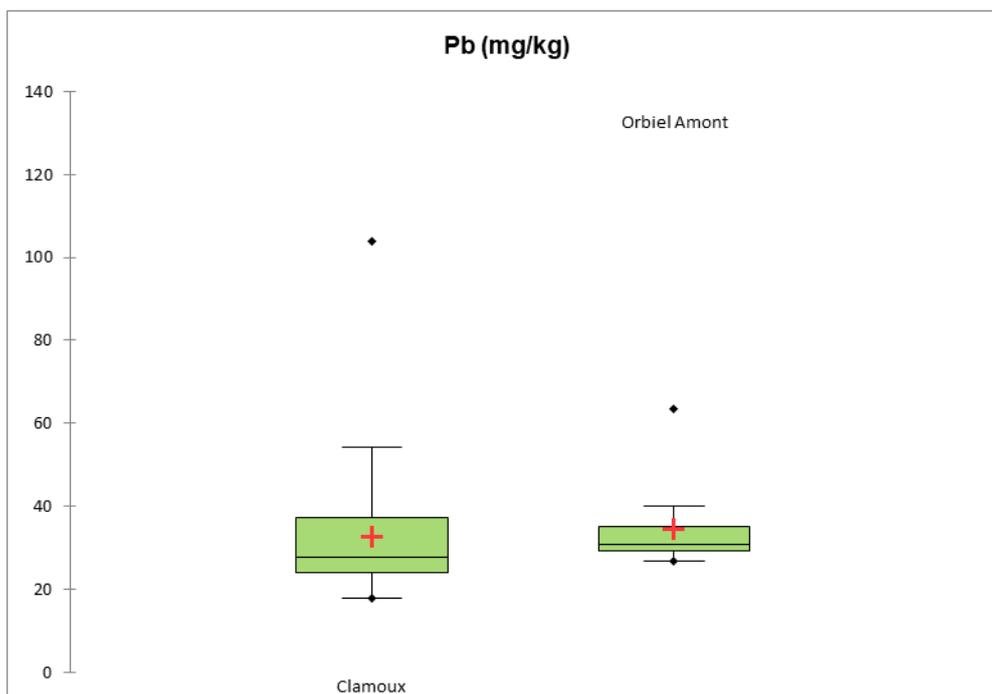


Figure 29 : Comparaison des concentrations en plomb mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

4.2.6. L'antimoine

Les concentrations en antimoine mesurées dans les sols développés sur alluvions dans le bassin-versant de la Clamoux sont comprises entre 0,39 et 1,62 mg/kg (cf. Tableau 11, Tableau 10, Figure 30 et Figure 31). Il ne semble pas exister de relation spatiale en lien avec la position au sein du bassin-versant et les plus fortes concentrations pour le secteur Clamoux se localisent assez aléatoirement.

Les gammes de concentrations en antimoine sont assez similaires entre les secteurs Clamoux et Orbiel amont (cf. Figure 32 et Figure 29). Nous proposons donc d'utiliser la vibrisse de Tukey calculée à partir des mesures réalisées sur le secteur de la Clamoux comme valeur de référence approchant le fond pédo-géochimique naturel anthropisé pour les sols développés sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel.

La valeur obtenue est ainsi de 0,98 mg/kg.

Statistique	Clamoux	Orbiel Amont
Nbr. d'observations	51	11
Minimum	0.39	0.36
Maximum	1.62	1.10
1er Quartile (Q1)	0.57	0.58
Médiane	0.67	0.80
3ème Quartile (Q3)	0.73	0.92
Moyenne	0.70	0.75
Variance (n-1)	0.04	0.06
Ecart-type (n-1)	0.21	0.24

Tableau 11 : Paramètres statistiques calculés pour les concentrations en antimoine mesurées sur les échantillons prélevés dans les secteurs de la Clamoux et de l'amont de l'Orbiel (en mg/kg).

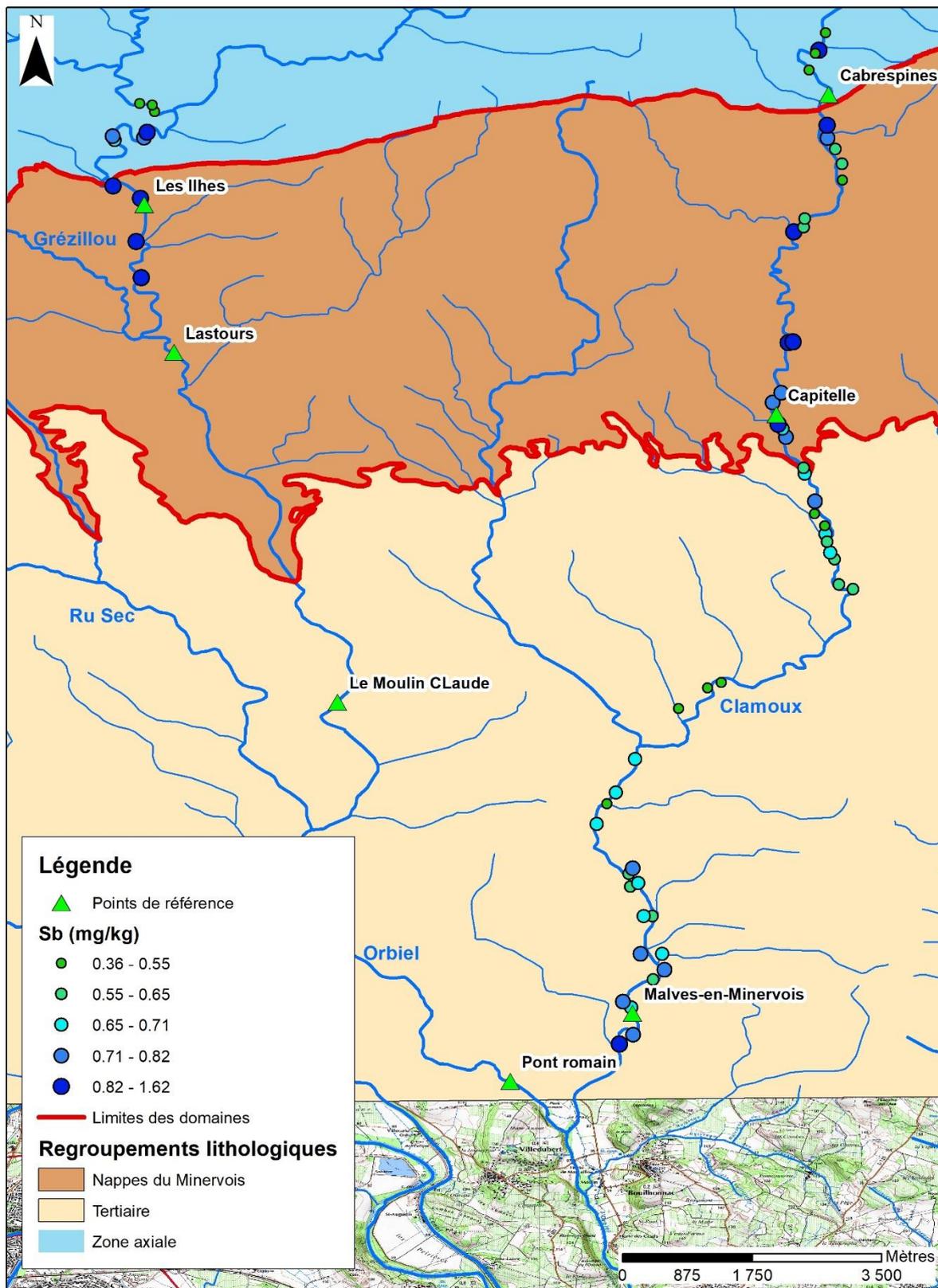


Figure 30 : Concentrations en antimoine mesurées sur les sols développés sur alluvions pour l'amont de l'Orbiel et la Clamoux (classes déterminées selon les quantiles).

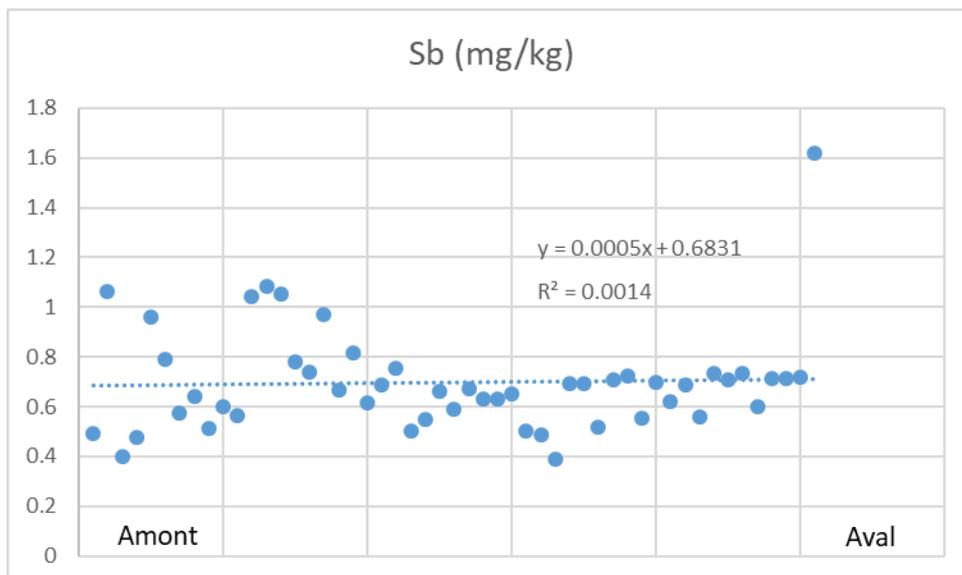


Figure 31 : Évolution des concentrations en antimoine dans les sols développés sur les alluvions entre l'amont et l'aval du cours de la Clamoux.

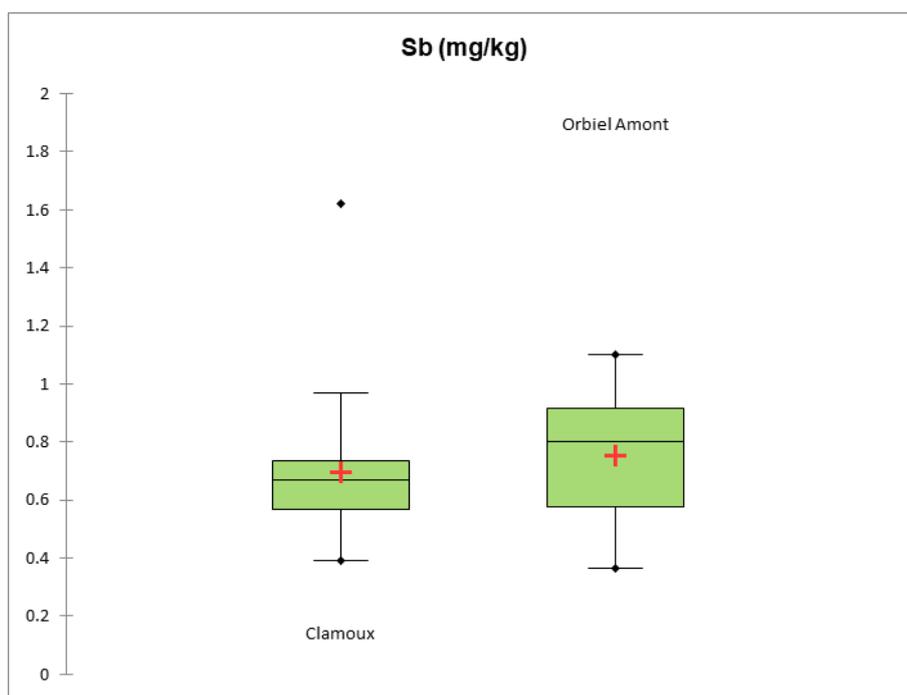


Figure 32 : Comparaison des concentrations en antimoine mesurées dans les sols sur alluvions pour les secteurs amont de l'Orbiel et Clamoux.

5. Discussion – Conclusions

La détermination des impacts anthropiques liés à l'ancienne activité minière dans le district de Salsigne (Aude) en aval sur le cours de l'Orbiel nécessite une évaluation des valeurs de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions. Cependant, cette activité ayant sans aucun doute affecté le secteur de l'Orbiel depuis une longue période, baser cette évaluation sur des prélèvements réalisés dans le secteur s'avère délicat.

Du fait de sa similarité en terme de géographie et de géologie, la Clamoux, affluent oriental de l'Orbiel a été proposée pour tenter de cerner les gammes de valeurs attendues et s'approcher ainsi du bruit de fond pédo-géochimique, en prenant en considération que ce bassin-versant se localise hors zone d'influence naturelle des minéralisations (Melleton *et al.*, 2021). Les sols sur alluvions ont ainsi pu être prélevés et analysés sur ce bassin-versant. Des prélèvements supplémentaires ont aussi été réalisés sur le secteur amont de l'Orbiel, afin de pouvoir comparer les concentrations obtenues entre les bassins-versants.

Deux approches ont pu être ensuite utilisées pour appréhender le bruit de fond pédo-géochimique pour le bassin-versant de l'Orbiel. Pour le zinc et l'arsenic, la distribution spatiale des concentrations suggère une relation avec les concentrations dans les sols des différents domaines géologiques traversés, déterminées précédemment (Melleton *et al.*, 2021). Il a donc été possible de définir un modèle permettant de prédire des gammes de valeurs pour l'Orbiel, qui a ensuite été confronté à un second modèle propre à ce bassin-versant.

Pour les autres éléments d'intérêt (Bi, Cd, Cu, Pb, Sb), l'absence de lien spatial apparent entre la situation du point de prélèvement au sein du bassin versant et la concentration mesurée a conduit à calculer des valeurs par une approche statistique, en utilisant la vibrisse de Tukey (sauf pour le cas de l'argent et du bismuth pour lesquels la valeur retenue correspond au percentile Q90).

Les valeurs de référence obtenues pour le fond pédo-géochimique anthropisé sont présentées dans les Tableau 12 et Tableau 13.

Tronçons	Gammes de valeurs proposées pour l'arsenic (mg/kg)	Gammes de valeurs proposées pour le zinc (mg/kg)
Amont Lastours	77 - 95	113 - 137
Lastours – Moulin Claude	70 - 86	115 - 124
Moulin Claude – Pont romain	59-71	103 - 114
Aval Pont romain	47-57	81 - 97

Tableau 12 : Propositions de valeurs de fond pédo-géochimique anthropisé pour les sols sur alluvions du secteur de l'Orbiel, pour différents tronçons, valeurs de référence déterminées par l'utilisation d'un modèle linéaire de transfert et accumulation depuis les trois domaines lithostratigraphiques cohérents.

Eléments	Valeurs proposées (mg/kg)
Ag	0,24
Bi	1,38
Cd	0,52
Cu	144
Pb	57
Sb	1,0

Tableau 13 : Propositions de valeurs de fond pédo-géochimique anthropisé pour les sols sur alluvions du secteur de l'Orbiel, valeurs de référence déterminées statistiquement à partir des prélèvements opérés dans le secteur de la Clamoux.

Il convient cependant de garder en mémoire que le modèle utilisé pour appréhender les gammes de valeurs pour l'arsenic est un modèle linéaire très simpliste alors que les processus physico-chimiques de dispersion, sédimentaires et pédologiques sont très complexes. Aussi, il ne prend pas en compte les effets de la topographie, ainsi que les différences existantes entre les deux bassins-versants (morphologie, hydrogéologie, couverture végétale). Une approche prenant en compte ces aspects pourrait être mise en œuvre, comme cela a pu être fait sur des bassins-versants du nord-est de l'Écosse (Lipp *et al.*, 2020). Les effets d'autres tributaires de l'Orbiel sur les concentrations en aval n'ont par ailleurs pas été appréhendés. Le Rieu Sec a ainsi sans aucun doute un impact, car ils traversent des zones portant des minéralisations.

Pour l'étude SIS faisant suite à la crue de 2018, le secteur localisé sur le cours du Grésillou montre un contexte très similaire au secteur amont de l'Orbiel présenté dans le Tableau 12. Nous préconisons donc d'utiliser les données de référence de ce secteur. Pour le Gourg Peyris, la situation est différente, car il correspond à un tributaire d'assez faible extension. La source est localisée dans le domaine axial, puis le ruisseau traverse rapidement le domaine des nappes puis le Tertiaire avant sa confluence avec le Rieu Sec, en pleine zone de plus fortes concentrations naturelles en arsenic associées à la présence des minéralisations. Sur cette base, l'hypothèse d'une certaine analogie avec l'Orbiel suggère que les données de référence proposées pour le secteur Lastours – Moulin Claude peuvent être utilisées pour le Gourg Peyris, en l'absence de données existantes et l'acquisition de données nouvelles garantissant l'absence d'influence anthropique paraissant difficile.

Une approche pour préciser ces propositions de bruits de fond pédo-géochimiques des sols sur alluvions dans la vallée de l'Orbiel résiderait dans la réalisation de prélèvements sur des paléosols antérieurs aux activités minières. La mise en œuvre de cette approche par un nombre suffisant de point de prélèvement pour une bonne représentativité statistique serait très onéreuse. En revanche, la réalisation de quelques points de contrôle pourrait permettre de confirmer ou infirmer les gammes de valeurs proposées dans la présente étude.

Pour rappel, les lignes de base du fond pédo-géochimique proposées consistent en des valeurs maximales au-delà desquelles il est possible de considérer une mesure comme pouvant représenter une anomalie d'origine potentiellement anthropique.

Il convient de rappeler que ces valeurs ont été déterminées à partir d'un nombre limité de prélèvements, dont la répartition, tout en se voulant représentative de la zone d'étude, ne peut pas garantir l'absence de variations locales. Ainsi, l'existence de minéralisations naturelles non exploitées peut fortement influencer les valeurs de ligne de base du fond pédo-géochimique sur des portées inférieures à la densité d'échantillonnage de cette étude (c'est-à-dire quelques centaines de mètres). De la même façon, des variations locales significatives dues à des accumulations particulières de faibles extensions ne peuvent pas non plus être exclues.

Ces valeurs de référence ayant été acquises pour une application cohérente avec le secteur d'étude, elles sont donc difficilement reportables sur un autre secteur géographique.

6. Bibliographie

ADEME (2018a) - Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Echelle territoriale. Groupe de travail sur les valeurs de fonds. 112 p.

Amalric L., Aubert N., Ghestem J.-P., Leprond H. (2015) - Analyse des sols dans le domaine des sites et sols pollués - Synthèse des réunions du Groupe de Travail sur les Laboratoires. Rapport final. BRGM/RP-64749-FR, 48 p., 1 ann.

Belbeze S. avec la collaboration de Djemil M., Béranger S. et Stochetti A. (SCM), (2019) - Détermination de FPGA - Fonds Pédo-Géochimiques Anthropisés urbains. Agglomération pilote : TOULOUSE METROPOLE. Rapport final. BRGM/RP-69502-FR, 347 p., 73 fig., 37 tabl., 4 ann.

Berger G.M., Boyer F., Debat P., Demange M., Freydet P., Marchal J.P., Mazéas H., Vautrelle C. (1993). Notice explicative de la feuille Carcassonne à 1/50 000. BRGM, 78 P. + annexes.

Cassard D., Feybesse J.L., Lescuyer J.L. (1993) - Variscan crustal thickening, extension and late overstacking during the Namurian-Westphalian in the Western Montagne Noire (France). *Tectonophysics*, 222, 33-53.

Delplace, G., Viers, J., Schreck, E., Oliva, P., Behra, P. (2022) - Pedo-geochemical background and sediment contamination of metal (loid)s in the old mining-district of Salsigne (Orbiel valley, France). *Chemosphere* 287, 132111. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132111>

Demange M. (1975) - Style pennique de la zone axiale de la Montagne Noire entre Saint-Pons et Murat-sur-vèbre (Massif central). *Bulletin BRGM*, 2, 91-139.

Demange M. (1985) - Étude géologique du massif de l'Agout, Montagne Noire, France. Thèse univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 2 vol., 408 et 647 p.

LABO (2003) - Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe - Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz v3, 42 p.

Lipp, A.G., Roberts, G.G., Whittaker, A.C., Gowing, C.J.B., Fernandes, V.M., (2020) - River Sediment Geochemistry as a Conservative Mixture of Source Regions: Observations and Predictions From the Cairngorms, UK. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 125, e2020JF005700. <https://doi.org/10.1029/2020JF005700>

Melleton J., Belbeze S., Vic G., Auger P., Chevillard M. (2021) - Établissement du fond pédo-géochimique dans la région de l'ancien secteur minier de Salsigne (Aude). Rapport provisoire. BRGM/RP-70767-FR, 95 p., 52 fig., 10 tabl., 3 ann..

Melleton, J., Belbèze, S., Négrel, P., Brunet, J.-F., Vic, G., Auger, P., Chevillard, M., Laperche, V., (2022) - Comment on "Pedo-geochemical background and sediment contamination of metal(loid)s in the old mining-district of Salsigne (Orbiel valley, France)" by Gauthier Delplace, Jérôme Viers, Eva Schreck, Priscia Oliva, Philippe Behra published in *Chemosphere* 287 (2022) 132111. *Chemosphere* 307, 135768. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135768>

Melleton J., Belbèze S., Vic G., Chevillard M. (2023). Concentrations de référence en métaux et métalloïdes dans les sédiments de la vallée de l'Orbiel (Aude). À paraître.

Valeurs de référence de fond pédo-géochimique pour les sols développés sur alluvions de la vallée de l'Orbiel (Aude)

MTES, (2017) - Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Ministère de l'Environnement, de l'énergie et de la Mer. 128 p.

Villanneau E., Perry-Giraud C., Saby N., Jolivet C., Marot F., Maton D., Floch-Barneaud A., Antoni V., Arrouays D. (2008) - Détection de valeurs anormales d'éléments traces métalliques dans les sols à l'aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols. Étude et Gestion des Sols, Volume 15,3, 183-200.

Annexe 1

Analyse en laboratoire des sols prélevés dans le secteur de la Clamoux et en amont de l'Orbiel



OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry
 An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE

Project: Orbiel

Page: 2 - A
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Sample Description	Method Analyte Units LOD	WEI-21 Rec'd Wt. kg	PUI-OC Pass/Sum %	ME-MS61 Ag ppm	ME-MS61 Al %	ME-MS61 As ppm	ME-MS61 Ba ppm	ME-MS61 Bi ppm	ME-MS61 Ca %	ME-MS61 Cd ppm	ME-MS61 Ce ppm	ME-MS61 Co ppm	ME-MS61 Cr ppm	ME-MS61 Cs ppm	ME-MS61 Cu ppm	
SAL-21-SOL-401	0.46	95.1	0.01	0.28	4.88	34.1	410	1.50	0.62	4.36	0.46	64.8	8.4	41	4.39	44.0
SAL-21-SOL-402	0.48															
SAL-21-SOL-403	0.49															
SAL-21-SOL-404	0.48															
SAL-21-SOL-405	0.62															
SAL-21-SOL-406	0.53			0.14	4.58	19.5	370	1.44	0.28	6.03	0.33	59.3	8.9	43	4.27	96.0
SAL-21-SOL-407	0.51															
SAL-21-SOL-408	0.52															
SAL-21-SOL-409	0.67															
SAL-21-SOL-411	0.46															
SAL-21-SOL-412	0.54			0.12	4.62	19.9	360	1.44	0.32	3.88	0.25	63.5	8.7	43	4.29	131.0
SAL-21-SOL-413	0.55															
SAL-21-SOL-414	0.59															
SAL-21-SOL-415	0.46															
SAL-21-SOL-418	0.61			0.06	4.77	24.4	490	1.40	0.26	1.80	0.22	51.6	7.2	35	3.76	35.4
SAL-21-SOL-419	0.60															
SAL-21-SOL-421	0.50															
SAL-21-SOL-422	0.45															
SAL-21-SOL-425	0.49															
SAL-21-SOL-426	0.53															
SAL-21-SOL-427	0.70			0.08	5.85	31.3	510	1.78	0.39	2.32	0.22	55.9	9.4	48	5.25	27.9
SAL-21-SOL-437	0.50															
SAL-21-SOL-438	0.47															
SAL-21-SOL-439	0.49															
SAL-21-SOL-441	0.49															
SAL-21-SOL-442	0.48			0.11	7.68	50.0	600	2.47	0.49	0.56	0.30	73.4	13.7	60	7.61	47.2
SAL-21-SOL-443	0.59															
SAL-21-SOL-444	0.53															
SAL-21-SOL-445	0.52															
SAL-21-SOL-447	0.63															
SAL-21-SOL-448	0.49			0.11	6.56	55.6	510	2.00	0.67	1.70	0.30	69.2	12.1	59	5.70	57.5
SAL-21-SOL-449	0.60															
SAL-21-SOL-451	0.63															
SAL-21-SOL-452	0.61															
SAL-21-SOL-453	0.45															
SAL-21-SOL-454	0.54			0.13	7.99	55.6	600	2.56	0.57	0.72	0.30	101.0	17.5	71	6.50	61.7
SAL-21-SOL-455	0.77															
SAL-21-SOL-456	0.52															
SAL-21-SOL-457	0.61															
SAL-21-SOL-458	0.67			0.24	8.41	108.5	650	2.68	0.60	0.56	0.46	97.7	18.7	82	7.94	86.7

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

Page: 2 - C
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Method Analyte Units LOD	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S ppm	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Ti ppm	Tl ppm	U ppm
SAL-21-SOL-401	111.5	86.7	<0.002	0.03	2.83	7.7	1	2.9	95.6	0.71	<0.05	9.45	0.333	0.48	2.3
SAL-21-SOL-402															
SAL-21-SOL-403															
SAL-21-SOL-404															
SAL-21-SOL-405															
SAL-21-SOL-406															
SAL-21-SOL-407															
SAL-21-SOL-408															
SAL-21-SOL-409															
SAL-21-SOL-411															
SAL-21-SOL-412															
SAL-21-SOL-413															
SAL-21-SOL-414															
SAL-21-SOL-415															
SAL-21-SOL-418															
SAL-21-SOL-419															
SAL-21-SOL-421															
SAL-21-SOL-422															
SAL-21-SOL-425															
SAL-21-SOL-426															
SAL-21-SOL-427															
SAL-21-SOL-437															
SAL-21-SOL-438															
SAL-21-SOL-439															
SAL-21-SOL-441															
SAL-21-SOL-442															
SAL-21-SOL-443															
SAL-21-SOL-444															
SAL-21-SOL-445															
SAL-21-SOL-447															
SAL-21-SOL-448															
SAL-21-SOL-449															
SAL-21-SOL-451															
SAL-21-SOL-452															
SAL-21-SOL-453															
SAL-21-SOL-454															
SAL-21-SOL-455															
SAL-21-SOL-456															
SAL-21-SOL-457															
SAL-21-SOL-458															

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

Page: 2 - D
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Sample Description	Method Analyte Units	LOD	V	W	Y	Zn	Zr	Au	Ag	Al	As	B	Ba	Bi	Ca	Cd
SAL-21-SOL-401	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561	ME-M561
SAL-21-SOL-402	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SAL-21-SOL-403	1	0.1	0.1	2	0.5	0.0002	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	10	0.5	0.0005	0.01	0.001
SAL-21-SOL-404	60	1.6	14.0	98	68.3	0.0110	0.267	1.41	38.3	10	87.1	0.68	0.583	4.29	0.462	
SAL-21-SOL-405																
SAL-21-SOL-406																
SAL-21-SOL-407	63	1.5	14.8	80	71.7	0.0037	0.080	1.52	21.5	<10	110.5	0.79	0.242	5.96	0.330	
SAL-21-SOL-408																
SAL-21-SOL-409																
SAL-21-SOL-410																
SAL-21-SOL-411																
SAL-21-SOL-412																
SAL-21-SOL-413																
SAL-21-SOL-414																
SAL-21-SOL-415																
SAL-21-SOL-416																
SAL-21-SOL-417																
SAL-21-SOL-418																
SAL-21-SOL-419																
SAL-21-SOL-420																
SAL-21-SOL-421	52	1.4	12.8	63	54.2	0.0011	0.046	1.13	23.4	<10	65.0	0.53	0.255	1.78	0.210	
SAL-21-SOL-422																
SAL-21-SOL-423																
SAL-21-SOL-424																
SAL-21-SOL-425																
SAL-21-SOL-426																
SAL-21-SOL-427																
SAL-21-SOL-428																
SAL-21-SOL-429																
SAL-21-SOL-430																
SAL-21-SOL-431																
SAL-21-SOL-432																
SAL-21-SOL-433																
SAL-21-SOL-434																
SAL-21-SOL-435																
SAL-21-SOL-436																
SAL-21-SOL-437																
SAL-21-SOL-438																
SAL-21-SOL-439																
SAL-21-SOL-440																
SAL-21-SOL-441																
SAL-21-SOL-442	92	2.5	20.3	107	80.4	0.0032	0.100	2.31	53.9	<10	113.5	1.01	0.463	0.42	0.275	
SAL-21-SOL-443																
SAL-21-SOL-444																
SAL-21-SOL-445																
SAL-21-SOL-446																
SAL-21-SOL-447																
SAL-21-SOL-448																
SAL-21-SOL-449																
SAL-21-SOL-450																
SAL-21-SOL-451																
SAL-21-SOL-452																
SAL-21-SOL-453																
SAL-21-SOL-454																
SAL-21-SOL-455	103	2.3	22.3	115	103.0	0.0028	0.120	2.28	57.0	<10	114.0	1.07	0.535	0.64	0.310	
SAL-21-SOL-456																
SAL-21-SOL-457																
SAL-21-SOL-458																

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE

OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

Project: Orbiel
 An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1737. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.



Page: 2 - E
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

Sample Description	Method Analyte Units LOD	CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539															
		ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L	ME-MS41L
		Ca	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ce	Hf	Hg	In	K	La	Li	Mg	Mn
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm
SAL-21-SOL-401		40.1	7.77	22.4	1.175	43.5	2.39	4.19	0.082	0.089	0.044	0.016	0.31	19.75	18.7	0.74	
SAL-21-SOL-402		26.1	6.75	19.70	0.674	107.0	2.04	3.59	0.044	0.071	0.046	0.018	0.30	12.80	16.2	0.60	
SAL-21-SOL-403		36.9	7.99	24.0	1.080	49.9	2.38	4.30	0.052	0.060	0.060	0.020	0.32	17.85	19.9	0.78	
SAL-21-SOL-404		42.7	9.32	25.3	1.105	104.5	2.43	4.93	0.059	0.092	0.075	0.022	0.38	21.4	21.3	0.73	
SAL-21-SOL-405		37.3	7.79	22.2	1.105	60.4	2.26	3.97	0.052	0.059	0.093	0.021	0.29	18.70	17.3	0.70	
SAL-21-SOL-406		34.3	8.56	22.3	0.968	93.5	2.15	4.41	0.052	0.103	0.091	0.019	0.37	16.40	20.9	0.62	
SAL-21-SOL-407		45.2	9.88	26.1	1.190	100.5	2.60	5.00	0.058	0.087	0.320	0.024	0.34	21.7	21.5	0.74	
SAL-21-SOL-408		27.8	7.49	22.1	0.722	107.0	1.910	3.59	0.044	0.072	0.026	0.017	0.30	13.30	18.2	0.60	
SAL-21-SOL-409		36.4	8.47	23.8	1.285	36.7	2.47	4.22	0.053	0.046	0.038	0.018	0.28	17.95	19.3	0.82	
SAL-21-SOL-411		41.6	9.76	25.7	1.310	77.2	2.68	4.77	0.057	0.083	0.036	0.024	0.37	20.9	22.1	0.80	
SAL-21-SOL-412		37.4	7.95	23.1	0.977	125.5	2.21	4.22	0.052	0.091	0.045	0.021	0.33	17.95	18.6	0.46	
SAL-21-SOL-413		37.7	8.52	23.2	1.030	47.0	2.49	4.21	0.054	0.072	0.030	0.020	0.31	18.80	19.4	0.73	
SAL-21-SOL-414		33.9	7.19	22.0	1.060	32.4	2.37	3.75	0.052	0.044	0.027	0.015	0.26	16.95	17.2	0.75	
SAL-21-SOL-415		29.8	10.15	26.0	0.817	151.5	2.46	4.85	0.049	0.107	0.044	0.023	0.36	15.60	23.5	0.88	
SAL-21-SOL-418		32.8	7.44	20.8	0.837	65.1	2.17	3.47	0.044	0.059	0.029	0.014	0.24	15.10	17.2	0.77	
SAL-21-SOL-419		35.0	6.45	19.15	0.996	34.9	2.41	3.39	0.050	0.037	0.016	0.014	0.23	17.40	15.4	0.55	
SAL-21-SOL-421		42.4	9.42	30.0	1.520	97.9	2.63	5.21	0.059	0.076	0.030	0.023	0.36	20.8	24.4	0.79	
SAL-21-SOL-422		41.1	7.83	23.1	1.155	86.6	2.45	4.29	0.054	0.088	0.049	0.014	0.38	20.6	17.0	0.55	
SAL-21-SOL-425		30.2	4.72	31.1	1.445	81.7	1.550	3.50	0.041	0.085	0.023	0.015	0.29	14.05	11.6	0.26	
SAL-21-SOL-426		41.8	7.42	24.3	1.810	90.4	2.30	4.50	0.070	0.060	0.018	0.019	0.38	20.7	18.4	0.48	
SAL-21-SOL-427		36.3	8.36	23.6	1.325	26.7	2.77	4.44	0.053	0.034	0.026	0.018	0.28	18.20	21.1	0.84	
SAL-21-SOL-437		37.6	8.91	24.8	1.095	34.6	3.17	4.59	0.063	0.058	0.020	0.018	0.30	18.75	19.3	0.77	
SAL-21-SOL-438		49.0	11.55	32.9	1.795	60.7	3.18	6.50	0.065	0.079	0.060	0.029	0.38	24.5	25.3	0.84	
SAL-21-SOL-439		43.5	9.78	27.2	1.380	50.9	2.92	5.14	0.067	0.064	0.049	0.024	0.34	21.4	21.0	0.91	
SAL-21-SOL-441		47.1	10.45	29.5	1.425	56.5	3.24	5.38	0.071	0.063	0.042	0.021	0.30	23.8	22.3	0.92	
SAL-21-SOL-442		53.5	13.05	32.0	2.51	46.5	3.57	7.06	0.086	0.097	0.037	0.025	0.40	27.2	28.1	0.79	
SAL-21-SOL-443		47.5	10.45	27.4	1.780	52.8	3.02	5.37	0.072	0.049	0.034	0.021	0.32	23.8	22.8	0.96	
SAL-21-SOL-444		41.8	9.33	26.6	1.245	34.5	3.11	4.94	0.070	0.055	0.024	0.018	0.30	20.9	21.6	0.92	
SAL-21-SOL-445		41.5	8.88	27.5	1.810	79.6	2.44	5.90	0.060	0.118	0.036	0.020	0.44	20.5	20.5	0.86	
SAL-21-SOL-447		45.9	11.80	27.6	1.515	54.4	3.25	5.36	0.067	0.061	0.039	0.020	0.34	22.9	23.7	1.05	
SAL-21-SOL-448		45.5	11.25	29.9	1.515	57.5	3.32	5.84	0.068	0.073	0.038	0.025	0.33	22.3	24.2	0.98	
SAL-21-SOL-449		41.6	8.95	26.8	1.290	32.9	3.25	5.26	0.066	0.055	0.029	0.021	0.28	21.0	23.0	0.95	
SAL-21-SOL-451		44.1	10.90	28.0	1.175	33.0	3.83	5.17	0.074	0.053	0.018	0.020	0.27	22.8	23.9	0.99	
SAL-21-SOL-452		48.3	13.15	31.9	1.830	41.3	3.44	5.70	0.065	0.042	0.040	0.023	0.30	24.9	26.2	1.07	
SAL-21-SOL-453		48.7	16.15	33.2	1.130	81.6	4.40	7.43	0.078	0.127	0.059	0.028	0.38	24.6	31.4	0.71	
SAL-21-SOL-454		65.0	16.05	29.0	1.270	56.7	3.80	6.94	0.081	0.116	0.034	0.034	0.36	32.1	27.8	0.72	
SAL-21-SOL-455		50.0	12.65	29.3	1.505	36.6	3.55	6.19	0.075	0.072	0.041	0.026	0.29	24.3	25.6	1.05	
SAL-21-SOL-456		49.2	12.35	29.8	1.560	44.6	3.66	5.68	0.064	0.088	0.058	0.030	0.36	24.7	24.0	0.91	
SAL-21-SOL-457		45.6	11.95	28.6	1.300	35.2	3.61	5.58	0.071	0.082	0.045	0.030	0.32	23.6	22.5	0.86	
SAL-21-SOL-458		65.4	17.40	34.9	1.925	84.4	4.11	7.68	0.097	0.100	0.058	0.040	0.40	32.1	30.4	0.84	

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



OMAC Laboratories Limited
IDA Business Park
Dublin Road
Loughrea, Co. Galway H62 PN80
Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
www.alsglobal.com/geochemistry

To: BRGM
3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
BP 36009
ORLEANS CEDEX 2 45060
FRANCE
Project: Orbier

Page: 2 - F
Total # Pages: 3 (A - G)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 29-NOV-2021
Account: BRRECO

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-M541L Mn ppm 0.1	ME-M541L Mo ppm 0.01	ME-M541L Na % 0.001	ME-M541L Nb ppm 0.002	ME-M541L Ni ppm 0.04	ME-M541L P % 0.001	ME-M541L Pb ppm 0.005	ME-M541L Pd ppm 0.001	ME-M541L Pt ppm 0.002	ME-M541L Rb ppm 0.005	ME-M541L Re ppm 0.0002	ME-M541L S % 0.01	ME-M541L Sb ppm 0.005	ME-M541L Sc ppm 0.005	ME-M541L Se ppm 0.003
SAL-21-SOL-401		367	0.89	0.021	0.656	19.70	0.056	104.0	0.007	-0.002	17.95	0.0002	0.03	1.620	2.56	0.163
SAL-21-SOL-402		386	0.75	0.019	0.559	17.30	0.100	45.7	0.007	-0.002	14.75	0.0002	0.04	0.717	2.30	0.157
SAL-21-SOL-403		339	0.95	0.022	0.562	20.4	0.056	27.9	0.003	-0.002	17.90	0.0003	0.02	0.714	2.60	0.213
SAL-21-SOL-404		429	0.83	0.020	0.620	22.1	0.063	34.0	0.005	-0.002	20.8	0.0002	0.02	0.715	2.91	0.204
SAL-21-SOL-405		337	0.88	0.018	0.564	18.85	0.057	23.8	0.004	-0.002	17.05	0.0002	0.02	0.599	2.33	0.185
SAL-21-SOL-406		396	0.77	0.020	0.563	21.5	0.069	27.0	0.004	-0.002	19.60	-0.0002	0.02	0.736	2.89	0.115
SAL-21-SOL-407		445	0.88	0.018	0.563	23.1	0.058	24.2	0.003	-0.002	20.2	0.0002	0.02	0.733	2.85	0.219
SAL-21-SOL-408		338	0.97	0.018	0.496	18.85	0.058	18.75	0.005	-0.002	14.60	0.0002	0.02	0.708	2.54	0.112
SAL-21-SOL-409		363	0.91	0.016	0.785	20.8	0.058	20.3	0.004	-0.002	17.60	0.0004	0.02	0.557	2.31	0.261
SAL-21-SOL-411		474	0.99	0.020	0.786	23.3	0.074	26.2	0.004	-0.002	20.8	0.0002	0.03	0.689	2.69	0.269
SAL-21-SOL-412		401	0.80	0.018	0.522	19.40	0.047	17.75	0.002	-0.002	17.95	0.0002	0.01	0.623	2.64	0.140
SAL-21-SOL-413		401	1.07	0.020	0.471	20.8	0.047	25.4	0.004	-0.002	17.30	0.0002	0.02	0.700	2.48	0.190
SAL-21-SOL-414		315	0.87	0.018	0.617	18.65	0.054	19.15	0.001	-0.002	15.20	0.0003	0.02	0.554	2.04	0.205
SAL-21-SOL-415		431	1.04	0.019	0.628	24.7	0.090	30.1	0.004	-0.002	17.85	0.0002	0.03	0.723	2.83	0.292
SAL-21-SOL-418		350	0.83	0.016	0.461	18.45	0.056	21.5	0.004	-0.002	13.25	0.0003	0.02	0.707	2.08	0.165
SAL-21-SOL-419		334	0.88	0.021	0.371	16.75	0.047	18.05	0.001	-0.002	12.75	0.0002	0.01	0.516	1.810	0.128
SAL-21-SOL-421		414	0.83	0.020	0.754	23.8	0.092	21.1	0.002	-0.002	22.5	0.0002	0.03	0.694	2.92	0.207
SAL-21-SOL-422		447	0.97	0.018	0.496	18.45	0.073	28.3	0.005	-0.002	20.4	-0.0002	0.03	0.694	2.30	0.195
SAL-21-SOL-425		272	1.42	0.014	0.516	12.35	0.040	18.20	0.003	-0.002	22.7	0.0003	0.02	0.390	2.23	0.186
SAL-21-SOL-426		358	0.72	0.020	0.776	18.30	0.054	19.25	0.006	-0.002	25.1	0.0002	0.02	0.466	2.58	0.149
SAL-21-SOL-427		353	0.90	0.017	0.670	21.5	0.055	18.15	0.005	-0.002	17.05	0.0002	0.02	0.503	2.31	0.211
SAL-21-SOL-437		440	1.05	0.020	0.695	22.4	0.073	27.6	0.004	-0.002	17.40	0.0003	0.03	0.653	2.20	0.265
SAL-21-SOL-438		536	1.15	0.019	1.150	27.6	0.081	35.0	0.002	-0.002	26.2	0.0003	0.04	0.629	3.08	0.497
SAL-21-SOL-439		442	1.16	0.019	0.818	23.8	0.087	42.6	0.004	-0.002	21.4	0.0003	0.03	0.630	2.46	0.388
SAL-21-SOL-441		456	1.11	0.020	0.803	26.5	0.077	30.8	0.005	-0.002	20.8	0.0003	0.03	0.671	2.53	0.366
SAL-21-SOL-442		605	0.81	0.023	0.950	32.6	0.069	28.6	0.005	-0.002	31.6	-0.0002	0.01	0.661	3.51	0.218
SAL-21-SOL-443		491	0.99	0.020	1.030	26.2	0.081	24.6	0.006	-0.002	21.6	0.0002	0.03	0.591	2.85	0.316
SAL-21-SOL-444		431	1.00	0.023	0.768	23.9	0.082	24.0	0.004	-0.002	17.15	0.0003	0.02	0.546	2.37	0.242
SAL-21-SOL-445		469	0.75	0.016	0.764	21.4	0.106	83.7	0.002	-0.002	29.0	0.0002	0.02	0.503	2.92	0.207
SAL-21-SOL-447		525	1.00	0.018	0.949	28.0	0.094	40.6	0.005	-0.002	21.4	0.0002	0.04	0.755	2.55	0.302
SAL-21-SOL-448		502	1.10	0.019	0.840	27.7	0.084	41.6	0.006	-0.002	20.9	0.0002	0.04	0.686	2.71	0.396
SAL-21-SOL-449		389	0.86	0.024	0.698	24.5	0.063	24.2	0.002	-0.002	17.60	0.0002	0.02	0.614	2.66	0.232
SAL-21-SOL-451		465	1.01	0.021	0.545	28.7	0.069	29.2	0.003	-0.002	15.45	0.0003	0.01	0.815	2.53	0.248
SAL-21-SOL-452		652	1.07	0.020	1.015	31.2	0.105	26.9	0.006	-0.002	20.5	0.0004	0.03	0.667	2.75	0.362
SAL-21-SOL-453		626	0.97	0.023	0.968	38.5	0.087	54.3	0.002	-0.002	19.95	0.0002	0.03	0.969	3.27	0.479
SAL-21-SOL-454		763	0.90	0.017	0.837	37.3	0.076	37.7	0.007	-0.002	23.1	0.0002	0.03	0.737	3.56	0.449
SAL-21-SOL-455		579	0.88	0.018	0.888	32.8	0.077	32.0	0.005	-0.002	21.2	0.0002	0.02	0.778	2.72	0.352
SAL-21-SOL-456		431	0.78	0.020	0.917	35.9	0.114	44.9	0.005	-0.002	26.0	0.0003	0.05	1.055	2.95	0.520
SAL-21-SOL-457		747	0.93	0.018	0.833	33.7	0.107	43.9	0.006	-0.002	21.4	0.0002	0.03	1.085	2.78	0.361
SAL-21-SOL-458		1020	1.35	0.019	1.040	42.8	0.123	43.1	0.009	-0.002	30.2	0.0002	0.04	1.040	3.49	0.602

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE

Page: 2 - G
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

Project: Orbiel

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Sample Description	Method Analyte Units	LOD	Sn ppm	ME-MS41L	Sr ppm	ME-MS41L	Ta ppm	ME-MS41L	Ta ppm	ME-MS41L	Th ppm	ME-MS41L	Ti %	ME-MS41L	Ti ppm	ME-MS41L	U ppm	ME-MS41L	V ppm	ME-MS41L	W ppm	ME-MS41L	Y ppm	ME-MS41L	Zn ppm	ME-MS41L	Zr ppm	ME-MS41L
SAL-21-SOL-401			1.20		47.2		<0.005		0.018		5.05		0.142		0.982		0.982		24.8		0.170		8.06		93.8		2.30	
SAL-21-SOL-402			1.37		73.7		<0.005		0.015		3.03		0.010		0.619		0.110		20.9		0.184		7.10		105.5		2.36	
SAL-21-SOL-403			2.43		62.9		<0.005		0.015		4.87		0.015		1.000		1.000		26.4		0.199		8.20		79.9		2.09	
SAL-21-SOL-404			1.09		51.1		<0.005		0.021		5.34		0.157		0.929		0.929		20.1		0.164		9.06		98.2		3.14	
SAL-21-SOL-405			1.14		51.0		<0.005		0.017		4.91		0.127		0.999		0.999		24.5		0.191		7.95		71.2		2.18	
SAL-21-SOL-406			8.67		62.2		<0.005		0.016		4.19		0.011		0.136		0.696		28.5		0.149		8.61		74.7		3.50	
SAL-21-SOL-407			0.85		39.2		<0.005		0.021		5.79		0.013		0.159		0.929		29.5		0.169		8.87		76.0		3.00	
SAL-21-SOL-408			0.81		78.6		<0.005		0.016		3.58		0.008		0.113		0.737		23.1		0.125		7.43		59.1		2.95	
SAL-21-SOL-409			1.47		54.0		<0.005		0.019		4.80		0.020		0.135		1.110		25.9		0.171		8.39		69.5		1.80	
SAL-21-SOL-411			1.27		50.3		<0.005		0.022		4.76		0.017		0.164		1.030		25.9		0.188		9.54		86.0		2.89	
SAL-21-SOL-412			0.94		35.3		<0.005		0.018		4.29		0.012		0.133		0.661		25.9		0.140		8.42		57.6		3.28	
SAL-21-SOL-413			2.04		56.3		<0.005		0.021		4.79		0.011		0.128		0.840		27.1		0.161		7.79		75.1		2.49	
SAL-21-SOL-414			1.51		82.2		<0.005		0.016		4.71		0.018		0.111		0.962		23.4		0.169		7.24		64.8		1.74	
SAL-21-SOL-415			1.65		71.4		<0.005		0.022		3.99		0.010		0.145		0.901		28.4		0.157		8.86		84.0		3.43	
SAL-21-SOL-418			1.53		68.4		<0.005		0.017		3.94		0.011		0.102		0.835		22.8		0.133		6.90		59.5		2.16	
SAL-21-SOL-419			0.77		23.2		<0.005		0.015		5.30		0.015		0.098		0.944		20.1		0.371		6.90		58.2		2.00	
SAL-21-SOL-421			2.58		38.2		<0.005		0.021		5.41		0.018		0.180		1.205		30.2		0.210		10.10		79.5		2.71	
SAL-21-SOL-422			1.82		26.8		<0.005		0.017		4.35		0.010		0.148		0.775		23.8		0.168		8.24		76.9		2.53	
SAL-21-SOL-425			0.95		96.6		<0.005		0.014		3.76		0.010		0.182		0.899		30.2		0.141		9.05		41.9		2.74	
SAL-21-SOL-426			1.09		18.05		<0.005		0.017		5.97		0.024		0.192		1.050		27.3		0.208		9.33		57.3		2.48	
SAL-21-SOL-427			1.23		38.7		<0.005		0.018		5.04		0.019		0.130		1.005		25.9		0.145		7.80		69.6		1.51	
SAL-21-SOL-437			2.71		29.7		<0.005		0.023		4.73		0.018		0.125		0.896		26.8		0.212		7.69		80.4		2.11	
SAL-21-SOL-438			2.06		28.6		<0.005		0.029		5.12		0.022		0.214		1.220		38.4		0.281		10.60		89.0		2.53	
SAL-21-SOL-439			2.44		33.3		<0.005		0.025		4.72		0.021		0.170		1.150		29.0		0.376		9.28		102.5		2.10	
SAL-21-SOL-441			1.94		20.2		<0.005		0.024		5.40		0.022		0.166		1.165		31.5		0.242		9.90		89.6		2.26	
SAL-21-SOL-442			1.82		15.45		<0.005		0.029		7.20		0.031		0.262		1.395		37.1		0.254		13.45		99.1		3.31	
SAL-21-SOL-443			1.85		25.7		<0.005		0.022		5.53		0.031		0.176		1.235		30.1		0.215		10.20		86.9		1.79	
SAL-21-SOL-444			1.74		31.0		<0.005		0.022		5.81		0.025		0.199		1.125		28.5		0.306		8.94		83.8		2.12	
SAL-21-SOL-445			3.15		53.0		<0.005		0.017		4.74		0.015		0.197		0.835		29.7		0.215		10.10		71.6		4.10	
SAL-21-SOL-447			7.54		26.7		<0.005		0.024		5.22		0.026		0.169		1.185		30.3		0.378		10.05		108.0		2.22	
SAL-21-SOL-448			2.51		23.2		<0.005		0.029		4.87		0.020		0.173		1.200		31.7		0.420		9.94		92.1		2.55	
SAL-21-SOL-449			2.75		20.1		<0.005		0.022		6.49		0.024		0.197		1.095		28.8		0.169		9.02		81.0		2.26	
SAL-21-SOL-451			2.58		16.30		<0.005		0.025		6.86		0.021		0.127		1.095		27.5		0.238		8.54		97.0		2.71	
SAL-21-SOL-452			1.56		27.4		<0.005		0.027		5.40		0.028		0.182		1.545		32.6		0.229		11.70		104.5		1.65	
SAL-21-SOL-453			7.60		19.60		<0.005		0.024		6.78		0.009		0.165		1.340		30.7		0.270		9.09		189.5		3.70	
SAL-21-SOL-454			1.60		14.50		<0.005		0.020		6.74		0.015		0.197		1.615		33.1		0.206		14.75		107.0		3.75	
SAL-21-SOL-455			2.01		18.10		<0.005		0.028		5.60		0.023		0.168		1.370		32.2		0.544		10.95		95.6		2.28	
SAL-21-SOL-456			1.61		20.7		<0.005		0.027		4.05		0.020		0.202		1.165		28.6		0.440		14.80		154.5		2.87	
SAL-21-SOL-457			1.92		20.8		<0.005		0.028		4.58		0.020		0.171		1.090		29.9		0.453		12.80		141.0		2.63	
SAL-21-SOL-458			3.14		14.70		<0.005		0.052		5.60		0.024		0.255		2.05		40.9		0.244		17.50		146.0		3.10	

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry
 An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1737. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Page: 3 - A
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO



		CERTIFICATE OF ANALYSIS														LR21300539
Sample Description	Method Analyte Units LOD	WEI-21 Recvd Wt. kg	PUL-OC Pass% sum	ME-MS61 Ag ppm	ME-MS61 Al %	ME-MS61 As ppm	ME-MS61 Ba ppm	ME-MS61 Bi ppm	ME-MS61 Cd ppm	ME-MS61 Ca %	ME-MS61 Co ppm	ME-MS61 Cr ppm	ME-MS61 Cs ppm	ME-MS61 Cu ppm		
SAL-21-SOL-459		0.66	95.5													
SAL-21-SOL-461		0.70														
SAL-21-SOL-462		0.54														
SAL-21-SOL-463		0.57														
SAL-21-SOL-464		0.75		0.20	8.28	89.2	630	2.62	0.66	1.12	19.2	78	8.36	84.1		
SAL-21-SOL-465		0.59														
SAL-21-SOL-466		0.57														
SAL-21-SOL-467		0.58		0.18	8.14	85.0	630	2.49	0.54	0.38	16.9	77	8.20	79.8		
SAL-21-SOL-468		0.66														
SAL-21-SOL-469		0.49														
SAL-21-SOL-471		0.63														
SAL-21-SOL-481		0.72														
SAL-21-SOL-482		0.64		0.17	7.19	97.1	610	2.17	1.10	0.59	14.3	70	5.57	66.4		
SAL-21-SOL-484		0.59														
SAL-21-SOL-485		0.56														
SAL-21-SOL-487		0.75		0.14	7.48	114.5	630	2.34	0.91	0.51	15.9	73	6.44	66.0		
SAL-21-SOL-488		0.68														
SAL-21-SOL-489		0.51														
SAL-21-SOL-491		0.73														
SAL-21-SOL-492		0.52														
SAL-21-SOL-493		0.44		0.14	7.53	105.5	600	2.37	1.01	0.52	16.7	74	6.23	68.8		
SAL-21-SOL-494		0.65														

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

Page: 3 - B
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Method Analyte Units LOD	ME-M561 Fe %	ME-M561 Ca ppm	ME-M561 Ca ppm	ME-M561 Ce ppm	ME-M561 HF ppm	ME-M561 In ppm	ME-M561 K %	ME-M561 La ppm	ME-M561 Li ppm	ME-M561 Mg %	ME-M561 Mn ppm	ME-M561 Mo ppm	ME-M561 Na %	ME-M561 Nb ppm	ME-M561 Ni ppm	ME-M561 P ppm
SAL-21-SOL-459	0.01	22.7	0.22	3.1	0.090	2.50	43.4	45.8	1.27	1.130	1.56	1.04	13.1	48.8	1180	
SAL-21-SOL-461																
SAL-21-SOL-462																
SAL-21-SOL-463																
SAL-21-SOL-464																
SAL-21-SOL-465																
SAL-21-SOL-466																
SAL-21-SOL-467																
SAL-21-SOL-468																
SAL-21-SOL-469																
SAL-21-SOL-471																
SAL-21-SOL-481																
SAL-21-SOL-482																
SAL-21-SOL-484																
SAL-21-SOL-485																
SAL-21-SOL-487																
SAL-21-SOL-488																
SAL-21-SOL-489																
SAL-21-SOL-491																
SAL-21-SOL-492																
SAL-21-SOL-493																
SAL-21-SOL-494																

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway, H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry
 An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 1737T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

Page: 3 - C
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO



CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Sample Description	Method Analyte Units LOD	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Tb ppm	Ti ppm	Th ppm	Tl ppm	U ppm
SAL-21-SOL-459		0.5	0.1	0.002	0.01	0.05	0.1	0.2	0.05	0.05	0.005	0.01	0.005	0.1
SAL-21-SOL-461		46.6	198.0	0.002	0.04	1.28	15.4	104.5	0.98	0.06	0.479	11.95	0.88	3.7
SAL-21-SOL-462		34.2	122.0	0.002	0.03	1.03	14.6	98.2	0.93	<-0.05	0.457	12.05	0.82	3.9
SAL-21-SOL-463		49.4	111.5	0.002	0.03	1.62	13.5	119.5	0.88	<-0.05	0.458	9.41	0.67	3.0
SAL-21-SOL-464		36.4	117.5	<0.002	0.04	1.30	13.9	124.5	0.93	0.05	0.484	10.20	0.69	3.4
SAL-21-SOL-465		37.9	118.0	0.002	0.05	1.04	14.1	122.5	0.86	0.05	0.445	10.00	0.68	3.4
SAL-21-SOL-466														
SAL-21-SOL-467														
SAL-21-SOL-468														
SAL-21-SOL-469														
SAL-21-SOL-471														
SAL-21-SOL-481														
SAL-21-SOL-482														
SAL-21-SOL-484														
SAL-21-SOL-485														
SAL-21-SOL-487														
SAL-21-SOL-488														
SAL-21-SOL-489														
SAL-21-SOL-491														
SAL-21-SOL-492														
SAL-21-SOL-493														
SAL-21-SOL-494														

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry

An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

Page: 3 - D
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Method Analyte Units LOD

Sample Description	ME-M561 V ppm	ME-M561 W ppm	ME-M561 Y ppm	ME-M561 Zn ppm	ME-M561 Zr ppm	ME-M541L Au ppm	ME-M541L Ag ppm	ME-M541L Al %	ME-M541L As ppm	ME-M541L B ppm	ME-M541L Ba ppm	ME-M541L Bi ppm	ME-M541L Ca %	ME-M541L Cd ppm
SAL-21-SOL-459	116	2.8	22.9	121	106.0	0.0022	0.090	1.82	53.5	<10	70.8	0.406	0.96	0.259
SAL-21-SOL-461						0.0026	0.135	2.30	77.5	<10	84.2	0.91	0.582	0.65
SAL-21-SOL-462						0.0026	0.150	2.60	84.0	<10	93.8	1.02	0.458	0.56
SAL-21-SOL-463						0.0025	0.116	1.79	52.9	10	86.4	0.76	0.391	7.87
SAL-21-SOL-464						0.0039	0.182	2.51	91.0	<10	96.6	0.99	0.603	0.92
SAL-21-SOL-465						0.0038	0.202	2.45	74.4	10	124.0	1.10	0.612	2.90
SAL-21-SOL-466						0.0070	0.249	2.28	68.3	10	149.5	1.15	0.880	3.67
SAL-21-SOL-467	112	2.7	19.7	114	103.0	0.0034	0.165	2.58	88.2	<10	93.6	0.98	0.483	0.20
SAL-21-SOL-468						0.0194	0.193	1.98	55.1	10	122.0	0.73	0.455	0.58
SAL-21-SOL-469						0.0017	0.095	1.94	80.0	<10	72.8	0.75	0.392	0.31
SAL-21-SOL-471						0.0022	0.120	2.23	74.7	<10	86.5	0.80	0.474	0.24
SAL-21-SOL-481						0.0039	0.129	1.79	81.2	<10	90.5	0.78	0.648	2.42
SAL-21-SOL-482	104	6.1	18.3	137	92.2	0.0285	0.141	2.02	101.0	<10	84.4	0.76	0.740	0.36
SAL-21-SOL-484						0.0577	0.244	1.88	89.6	<10	118.0	0.74	1.155	0.95
SAL-21-SOL-485						0.0044	0.091	1.93	95.9	<10	89.7	0.76	0.931	0.92
SAL-21-SOL-487	106	3.7	18.8	110	98.7	0.0030	0.121	2.18	119.0	<10	91.5	0.81	0.881	0.27
SAL-21-SOL-488						0.0039	0.156	2.94	121.0	<10	99.9	0.87	0.774	0.24
SAL-21-SOL-489						0.0040	0.132	2.00	97.1	<10	87.9	0.72	1.375	0.34
SAL-21-SOL-491						0.0040	0.163	2.19	110.5	<10	96.2	0.83	0.924	0.34
SAL-21-SOL-492						0.0028	0.106	2.07	79.5	<10	78.4	0.67	0.875	0.23
SAL-21-SOL-493	102	3.7	19.8	116	92.6	0.138	0.191	2.42	107.5	<10	105.0	0.87	0.960	0.27
SAL-21-SOL-494						0.0120	0.221	2.26	117.5	<10	101.0	0.86	2.38	0.31

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

OMAC Laboratories Limited
 IDA Business Park
 Dublin Road
 Loughrea, Co. Galway H62 PN80
 Phone: +353 0 91 841 741 Fax: +353 0 91 842 146
 www.alsglobal.com/geochemistry
 An INAB accredited testing laboratory Reg. No. 173T. Accredited methods are listed in the Scope of Accreditation available on request.

To: BRGM
 3 AV. CLAUDE GUILLEMIN
 BP 36009
 ORLEANS CEDEX 2 45060
 FRANCE
 Project: Orbiel

Page: 3 - G
 Total # Pages: 3 (A - G)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 29-NOV-2021
 Account: BRRECO



CERTIFICATE OF ANALYSIS LR21300539

Method Analyte Units LOD	ME-M541L Sn ppm 0.01	ME-M541L Sr ppm 0.01	ME-M541L Ta ppm 0.005	ME-M541L Te ppm 0.003	ME-M541L Th ppm 0.002	ME-M541L Ti % 0.001	ME-M541L Ti ppm 0.001	ME-M541L U ppm 0.005	ME-M541L V ppm 0.1	ME-M541L W ppm 0.001	ME-M541L Y ppm 0.003	ME-M541L Zn ppm 0.1	ME-M541L Zr ppm 0.01
SAL-21-SOL-459	1.59	16.05	<0.005	0.028	5.63	0.028	0.173	1.355	30.6	0.204	10.05	89.2	1.81
SAL-21-SOL-461	1.86	18.25	<0.005	0.038	4.78	0.033	0.250	2.02	39.1	0.263	13.40	104.5	1.70
SAL-21-SOL-462	2.66	16.65	<0.005	0.040	4.72	0.038	0.279	1.895	45.8	0.248	14.75	112.5	1.82
SAL-21-SOL-463	1.63	24.1	<0.005	0.034	3.46	0.013	0.188	0.915	27.0	0.164	12.65	107.5	3.20
SAL-21-SOL-464	2.44	16.95	<0.005	0.058	4.09	0.033	0.276	1.810	45.0	0.275	15.40	110.0	1.82
SAL-21-SOL-465	4.04	19.30	<0.005	0.121	4.47	0.023	0.267	1.370	45.1	0.311	23.6	119.0	3.28
SAL-21-SOL-466	4.89	29.7	<0.005	0.129	3.33	0.015	0.280	1.335	49.8	0.383	25.7	147.5	4.96
SAL-21-SOL-467	2.14	14.80	<0.005	0.033	4.34	0.034	0.270	2.20	44.3	0.280	13.00	106.0	0.95
SAL-21-SOL-468	3.92	29.7	<0.005	0.027	4.40	0.028	0.201	1.650	31.9	0.217	10.30	126.0	2.70
SAL-21-SOL-469	1.22	16.60	<0.005	0.024	5.63	0.038	0.197	1.570	34.0	0.884	10.65	86.7	1.12
SAL-21-SOL-471	1.50	18.40	<0.005	0.028	3.86	0.022	0.231	1.560	34.7	0.386	10.35	86.7	1.85
SAL-21-SOL-481	1.46	36.5	<0.005	0.028	5.33	0.024	0.152	1.225	32.2	1.435	10.05	113.5	2.35
SAL-21-SOL-482	3.48	20.4	<0.005	0.028	4.72	0.032	0.174	1.525	36.2	2.05	10.70	125.5	1.88
SAL-21-SOL-484	4.64	39.2	<0.005	0.030	4.74	0.034	0.172	1.300	35.5	4.12	11.25	168.0	2.04
SAL-21-SOL-485	1.61	25.6	<0.005	0.032	4.94	0.028	0.164	1.380	33.9	1.780	11.25	127.5	2.48
SAL-21-SOL-487	2.42	22.4	<0.005	0.031	4.00	0.036	0.192	1.695	40.8	0.977	11.55	102.0	1.85
SAL-21-SOL-488	2.19	20.3	<0.005	0.035	4.42	0.035	0.209	1.800	40.7	0.959	11.90	99.6	1.84
SAL-21-SOL-489	2.15	23.7	<0.005	0.029	5.40	0.041	0.194	1.560	38.1	2.52	11.00	188.0	2.04
SAL-21-SOL-491	1.71	24.3	<0.005	0.035	3.35	0.029	0.212	1.700	38.5	0.938	11.40	113.5	1.54
SAL-21-SOL-492	3.42	17.20	<0.005	0.024	4.22	0.039	0.173	1.550	41.2	1.530	9.90	121.0	0.99
SAL-21-SOL-493	1.85	20.4	<0.005	0.030	3.83	0.039	0.228	1.760	42.1	1.230	12.45	106.0	1.34
SAL-21-SOL-494	2.71	22.3	<0.005	0.031	3.50	0.047	0.211	1.865	43.5	1.710	13.60	130.0	0.99

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm