



Février 2019

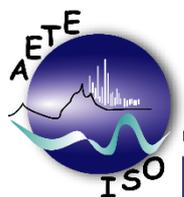
Impact des anciens rejets miniers des métaux lourds sur les truites au niveau de la rivière du Trèvezel



Auteur : Julie Marais, FDPPMA30

Relecture : Rémi Freydier, HydroSciences Montpellier

Avec la collaboration de l'AAPPMA de La Dourbie



Fédération de la pêche du Gard
34 rue Gustave Eiffel
Zac de Grézan, 30000 Nîmes Cedex1
Tél : 04 66 02 91 61



TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	1
PREAMBULE : HISTOIRE SUR LES REJETS MINIERES	2
INTRODUCTION ET OBJECTIFS	5
PROTOCOLE, MATERIELS ET METHODES	8
1) Localisation des points de prélèvements	8
2) Echantillonnages et analyses	9
a) Analyse des métaux lourds dans l'eau et les sédiments	12
b) Analyse des métaux lourds dans les tissus et viscères des poissons.....	12
c) Analyse de la comestibilité des truites échantillonnées.....	13
RESULTATS DE L'ETUDE	15
1) Pollution de la colonne d'eau et des sédiments.....	15
a) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans l'eau brute.....	15
b) Résultats sur l'analyse physico- chimique de l'eau brute.....	17
c) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les sédiments	18
2) Résultats de l'analyse des poissons par stations.....	20
a) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les tissus	20
b) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les viscères	24
c) Comestibilité sur les secteurs échantillonnés	27
d) Synthèse cartographique.....	30
CONCLUSION	32
BIBLIOGRAPHIE.....	34
ANNEXES	36

PREAMBULE : HISTOIRE SUR LES REJETS MINIERES

Le Trèvezel est un cours d'eau affecté par des pollutions dues au lessivage des résidus de plomb et de zinc de l'ancien site minier de Villemagne. Les mines de Villemagne sont d'anciennes mines de plomb et de zinc situées sur la commune de Saint-Sauveur-Camprieu. Ces mines ont connu trois périodes d'exploitation durant le 20^{ème} siècle : de 1906 à 1914, de 1922 à 1936, puis de 1969 à 1975.

De 1906 à 1911 (Figure 1), c'est la société anonyme des Mines de la Serreyrède qui exploite la mine pour le traitement du minerai de plomb et de zinc. En 1911, elle est rachetée par la société minière et métallurgique de Villemagne qui l'abandonne et déséquipe le site en 1913. En 1922, la compagnie nouvelle des Mines de Villemagne obtient un permis de recherches pour débiter son exploitation à partir de 1924 avec la construction d'une nouvelle laverie (Figure 2). La crise économique a par la suite fait fermer le site en 1934. La reprise des activités minières a été effectuée par Pennaroya à partir de 1969 jusqu'en 1973 (Figure 3). Métal Europe est l'actuel propriétaire du site minier, qui est aujourd'hui délabré et abandonné (Figure 4).

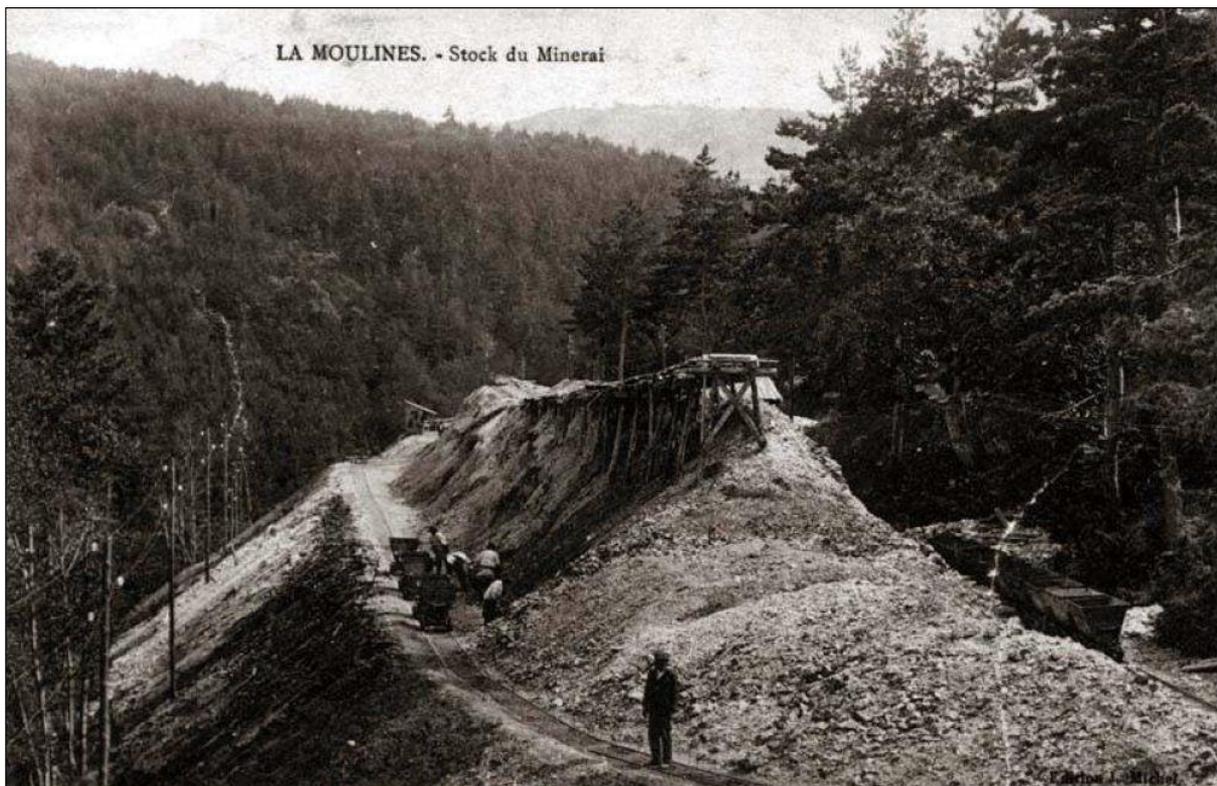


Figure 1 : Photographie de la première période d'exploitation - Arrivée du Minerai en haut de la laverie du Trèvezel (Source : Mathon. G, 2010)

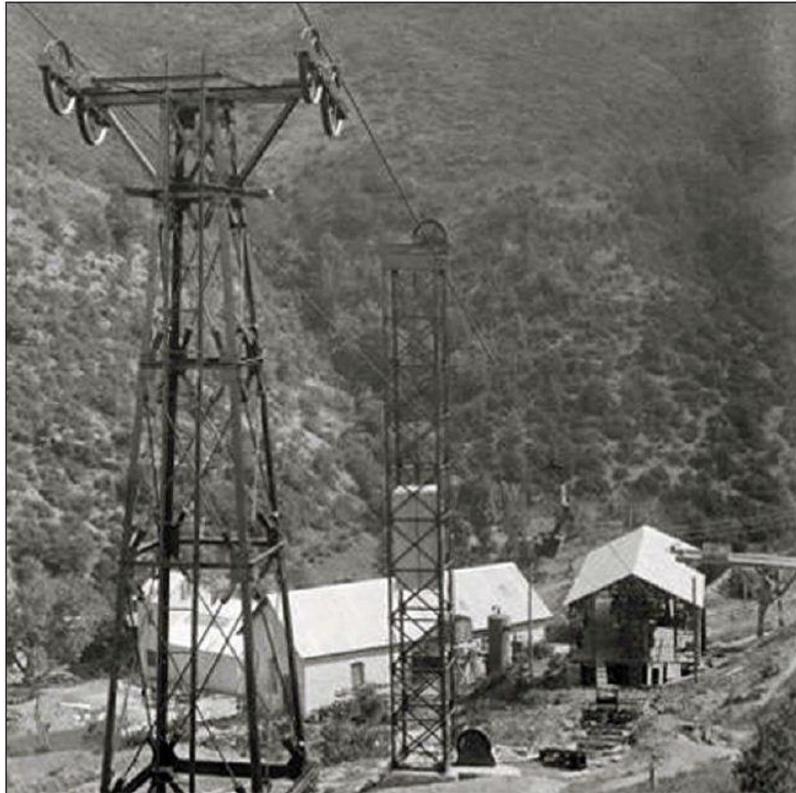


Figure 2 : Photographie de la deuxième période d'exploitation - Départ du câble, au pied de la laverie de Villemagne (Source : Mathon. G, 2010)

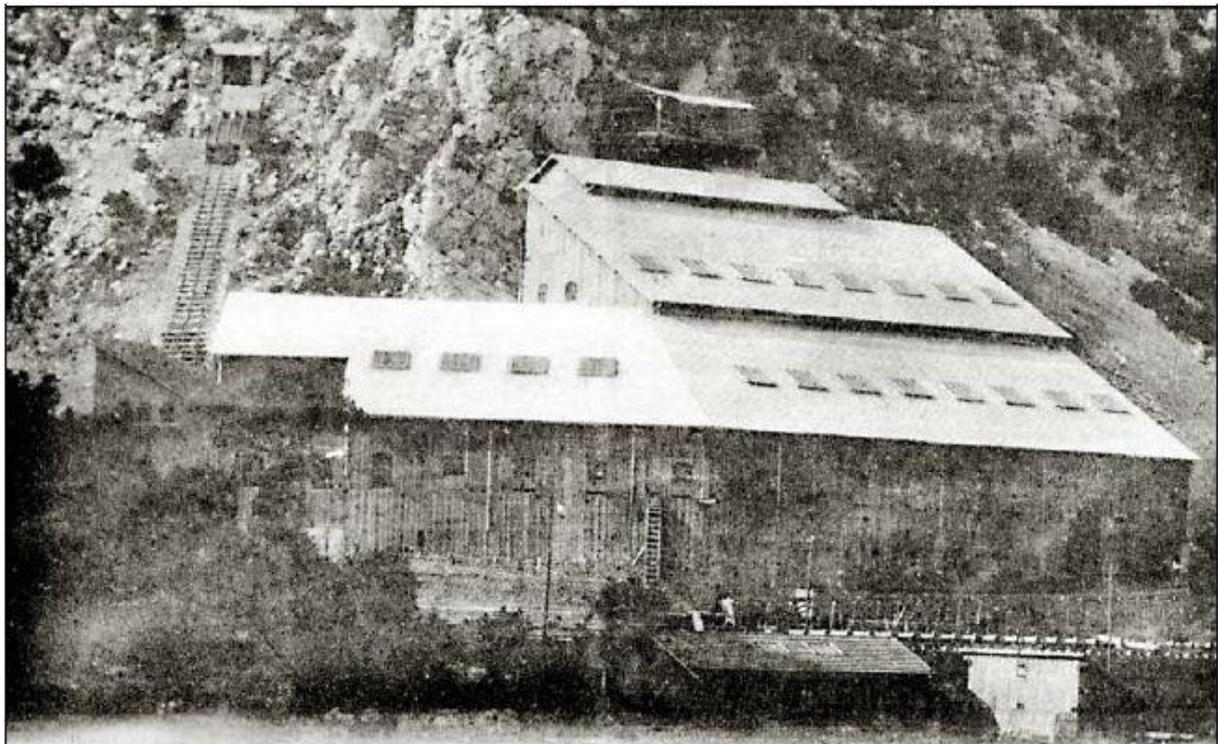


Figure 3 : Photographie de la troisième période d'exploitation- Les Malines, ateliers du Pont de Mangechâtaine (Source : Mathon. G, 2010)



Figure 4 : Photographie des actuelles ruines de la laverie et de la centrale hydroélectrique (Source : Mathon. G, 2010)

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Le cours d'eau du Trèvezel se situe au nord-ouest du département du Gard. Son bassin versant mesure 94 km², et possède une longueur de 30 km. Il prend sa source en amont de Camprieu jusqu'à son exutoire avec la confluence de la Dourbie. Ce cours d'eau à un régime torrentiel, son sol est composé principalement de granites en amont puis de calcaires en aval. Concernant la gestion piscicole, le contexte du Trèvezel est en gestion patrimoniale depuis 2012.

Les analyses de la Direction eau, environnement et aménagement rural du service de l'eau et des rivières du Bassin versant du Tarn amont (« Rapport d'interprétation, bilan des années 2003, 2006, 2009, 2012 », Conseil général du Gard, 2013) montrent une pollution à plusieurs métaux lourds sur le cours d'eau. Afin de mesurer la présence de ces derniers, les scientifiques se sont intéressés aux mousses végétales aquatiques ou bryophytes. En effet, ces dernières sont des supports naturels d'accumulation de métaux. Sur le Trèvezel, la concentration de ces métaux se situe au-dessus des seuils de pollution de la SEQ Eau Version 2. Cependant, leur présence s'explique tout d'abord par la caractéristique naturelle géologique du bassin versant avec la présence naturelle de Cadmium, d'Arsenic, de Mercure, de Plomb et de Zinc dans les roches. En effet, le sol est composé de roches ignées (granites ou schistes). Les concentrations en métaux importantes de certaines analyses ne peuvent pourtant être expliquées que par le seul caractère géologique du site. En effet, ces fortes concentrations sont dues à la combinaison entre un caractère géologique spécifique et une extraction intensive de Plomb et de Zinc dans les anciennes mines.

A la demande de l'AAPPMA « La Dourbie », la Fédération de Pêche du Gard a décidé de réaliser une étude d'évaluation de la contamination par les métaux lourds des anciennes mines sur les truites fario (*Salmo trutta*) de la rivière du Trèvezel en collaboration avec le laboratoire « HydroSciences Montpellier ». Cette toute première étude se veut de répondre aux interrogations des pêcheurs et de l'AAPPMA locale sur l'état de contamination des poissons pêchés en lien avec l'exploitation d'anciennes mines sur le Trèvezel. La problématique posée est de déterminer si les tissus de truites sont potentiellement contaminés par les rejets des anciennes mines de Villemagne. Le résultat donnera un indice sur leur caractère comestible et la pollution de la rivière.

L'introduction d'un suivi de certains de ces paramètres dans les poissons permet d'assurer la surveillance sanitaire de la production piscicole et la surveillance écologique des eaux.

- **Impacts des métaux lourds sur les poissons et sur l'Homme**

Le terme métaux lourds désigne tout élément chimique métallique dont la densité est relativement élevée et qui, à faible concentration, est nocive et toxique. Les métaux lourds sont des composants naturels de la croûte terrestre. Ils ne peuvent pas être dégradés ou détruits. Les métaux lourds sont des éléments trace retrouvés naturellement dans le milieu aquatique, mais leur concentration a augmenté fortement en raison des déchets industriels, de la structure géochimique et des activités agricoles et minières (Zeitoun & Mehana, 2014).

De nombreuses publications scientifiques illustrent les causes et conséquences de la contamination aux métaux lourds sur les organismes aquatiques, et notamment les poissons, ainsi que sur la santé humaine.

C'est le cas de Zaitoun & Mehana qui ont travaillé sur la **contamination des organes de poissons**. Ils ont montré une forte corrélation entre la concentration en métaux lourds dans les différents tissus du poisson et ceux contenus à la surface de l'eau dans des zones polluées (Zeitoun & Mehana, 2014). Ils affirment néanmoins que l'accumulation des métaux dans les tissus des poissons dépend de nombreux facteurs tels que la concentration du métal, la durée et le mode d'exposition ou les conditions environnementales (e.g. pH, water température, dureté...etc), mais aussi de facteurs intrinsèques tel que l'âge des poissons, les habitudes de vie et d'alimentation spécifiques aux espèces. L'absorption et l'accumulation des différents polluants varient selon les différents systèmes biologiques (Zeitoun & Mehana, 2014). En effet, de nombreux métaux ont une affinité différente pour les tissus des poissons.

De plus, les résultats expérimentaux ont montré que la plupart de ces métaux s'accumulent principalement dans le foie (organe métabolique qui stocke les métaux pour les détoxifier en produisant des métallothionéines), les reins (organe excréteur) et les branchies (dû au mucus des lamelles). La branchie est un organe d'entrée des métaux lourds qui provoque des lésions et des dommages au niveau de celle-ci [...]. L'accumulation plus élevée dans le foie peut altérer les niveaux de divers paramètres biochimiques dans le foie et causer de graves dommages au foie. [...]. Le rein est la porte d'entrée pour la désintoxication des métaux lourds dans le corps. Dans les tissus rénaux, des quantités considérables de métaux lourds s'accumulent (Vinodhini. & Narayanan, 2008). Selon Zeitoun & Mehan, les muscles et la chair des poissons, par rapport aux autres tissus, contiennent généralement les plus faibles concentrations en métaux.

A une autre échelle, la pollution par les métaux peut endommager les organismes aquatiques au niveau cellulaire et éventuellement affecter l'équilibre écologique (Zeitoun & Mehana, 2014). Quant à la pollution du milieu, elle peut causer l'empoisonnement, l'apparition de maladies et même la mort des poissons. L'accumulation de métaux dans les divers organes des poissons peut causer des lésions structurelles et des perturbations fonctionnelles. Les rejets de métaux lourds prononcés peuvent retarder le développement embryonnaire, provoquer des malformations et réduire la croissance des poissons adultes (Zeitoun & Mehana, 2014).

Pourtant, les résultats de nombreuses études de terrain sur l'accumulation de métaux chez les poissons d'eaux polluées montrent qu'une quantité considérable de divers types de métaux peuvent s'accumuler dans les tissus des poissons sans pour autant causer de dommages ou leur mort. Ces métaux s'accumulent dans le corps du poisson en quantité bien différente selon leur type. Ces différences sont dues à des différences d'affinité des métaux pour les tissus des poissons ainsi que le type d'absorption et d'excrétion (Zeitoun & Mehana, 2014).

Les effets néfastes des métaux sur les poissons ne sont ainsi pas seulement liés à l'accumulation de matière, mais aussi à la toxicité cumulative des effets. Les perturbations létales sont causées par des dépassements de certaines valeurs de concentration de métaux lourds dans le poisson.

Toutefois, ce genre de poisson contaminé peut constituer un risque potentiel pour les prédateurs (autres poissons, oiseaux et mammifères) qui s'en nourrit (Zeitoun & Mehana, 2014).

Le fait de s'intéresser à l'espèce *Salmo trutta* est un bon indicateur, car c'est un prédateur situé en haut de l'échelle alimentaire, relativement sédentaire et implantée sur la zone d'étude, cela pourra donc refléter la bioaccumulation des métaux lourds. (Monna *et al*, 2011).

Les principales menaces des métaux lourds pour **la santé humaine** sont liées à l'exposition au plomb, au cadmium, au mercure et à l'arsenic (Zeitoun & Mehana, 2014). Dans une moindre mesure, ces métaux lourds pénètrent dans notre corps par la nourriture, l'eau potable, et l'air. En tant qu'éléments traces, certains métaux lourds (par exemple le cuivre, le sélénium et le zinc) sont essentiels au maintien du métabolisme du corps humain. Cependant, à de plus fortes concentrations, ils peuvent conduire à un empoisonnement [...]. Enfin et surtout, les métaux lourds sont dangereux parce qu'ils ont tendance à s'accumuler dans l'organisme (Zeitoun & Mehana, 2014).

Les métaux lourds sont des substances toxiques connues qui impliquent des troubles aigus chez les organismes aquatiques. Les poissons sont des cibles importantes pour la bioaccumulation des métaux, car ils se trouvent au sommet de la pyramide alimentaire et peuvent servir de support de transfert aux êtres humains. L'absorption des métaux lourds dans la chaîne

alimentaire via les organismes aquatiques, et notamment les poissons, peut causer divers troubles pathologiques comme l'hypertension, la fièvre sporadique, les lésions rénales, les crampes chez l'homme (Zeitoun & Mehana, 2014). Mais dans la plupart des cas, les poissons provenant d'une eau contaminée par des métaux sont sans danger pour la consommation humaine en raison de la faible teneur en métaux (à l'exception du mercure) dans les tissus musculaires.

PROTOCOLE, MATERIELS ET METHODES

1) Localisation des points de prélèvements

L'espèce de poisson étudiée est l'espèce repère de cette rivière de première catégorie, c'est-à-dire la truite fario (*Salmo trutta*). Quatre sites ont été choisis pour être échantillonnés (Figure 5 et Tableau 1) :

- **La station S0** : sur le Ruisseau de Villemagne à l'aval immédiat de l'ancienne mine de Villemagne (où aucune truite n'a pu être prélevée)
- **La station S1** : sur le cours d'eau du Bramabiau en aval de l'ancienne mine de Villemagne
- **La station S1bis** : sur le cours d'eau du Trèvezel en aval de l'ancienne mine de Villemagne et de la laverie
- **La station S2** : sur le cours d'eau du Trèvezel en aval de l'ancienne mine de Villemagne et de la laverie au pont de Comeyras
- **La station S3** : à l'amont du cours d'eau du Trèvezel comme site de « référence » sans impact des anciens rejets minier, située à la source du Trèvezel au col de Faubel.

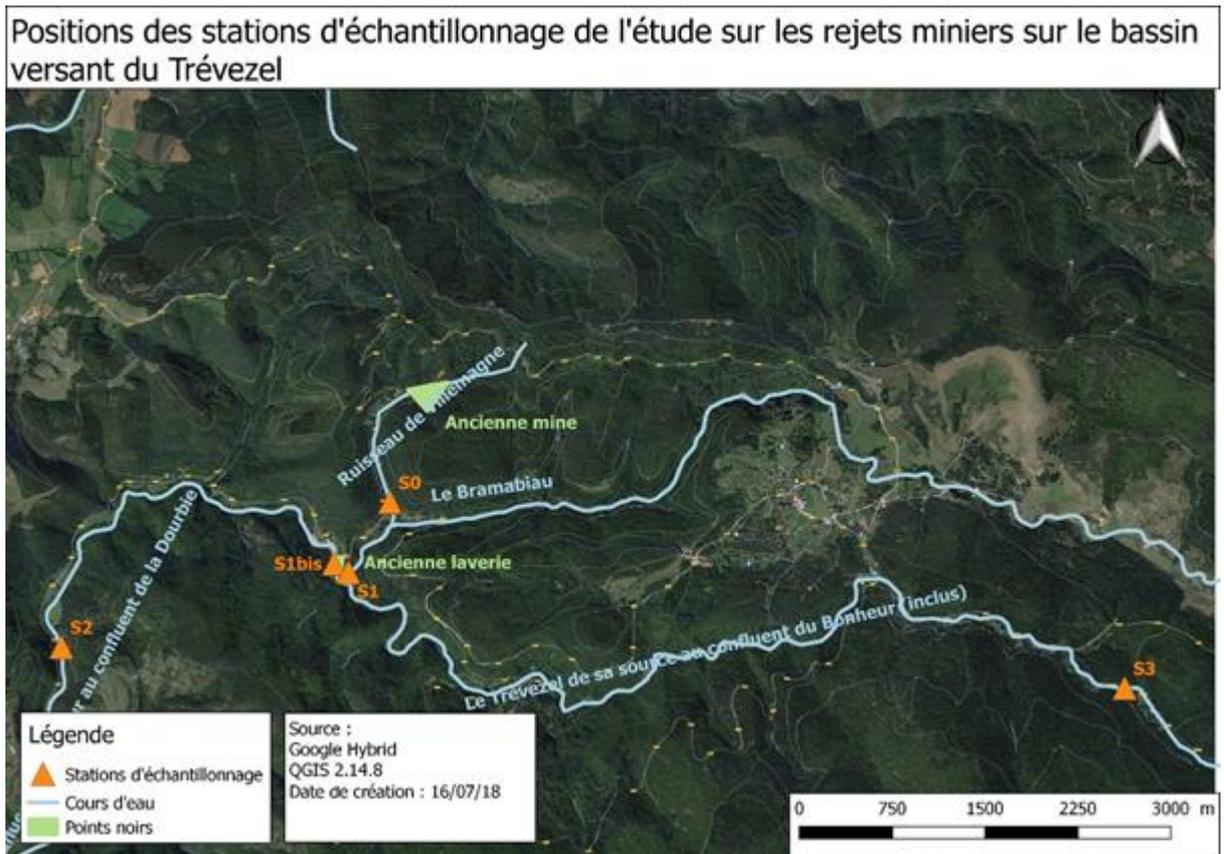


Figure 5 : Positions des stations d'échantillonnages de l'étude des rejets miniers des métaux lourds sur les truites

2) Echantillonnages et analyses

Le Trévezel se situe dans un secteur qui est non aleviné par l'association de pêche locale (AAPPMA Dourbies). Les truites prélevées seront donc de souche sauvage. Les pêches électriques ont été organisées le 26 mai 2018 afin de capturer un minimum de quinze truites par site et de les sacrifier proprement à l'aide d'une solution d'eugénol à 90%. Les truites sacrifiées doivent être adultes, âgées de plus de 2 ans et supérieures à 20 cm. En effet, les truitelles ne seront pas analysées, car les poissons adultes ont le temps d'accumuler plus de polluants dans leur corps, grâce au phénomène de bioaccumulation. Chaque individu a été identifié par un numéro de référence unique puis mesuré et pesé individuellement. Le numéro a été référé de façon suivante après les pêches : S(n)N(n) avec S(n) correspondant aux trois stations de pêche n (1 à 3) et N(n) correspondant au numéro du poisson n (1 à 15). Des photos ont été prises pour chaque individu. Ils ont ensuite été disséqués avec du matériel de dissection afin de séparer la chair des viscères. Les deux échantillons par individu seront notés S(n)N(n)V et S(n)N(n)C avec S(n) correspondant aux trois stations de pêche n (1 à 3), N(n) correspondant au numéro de

poisson n (1 à 30) et « V » pour les viscères et « C » pour la chair et peau. Il est en effet important de séparer ces deux parties du corps du poisson afin d'analyser d'une part ce qui est consommé par les pêcheurs (*i.e.* la chair) de ce qui *à priori* bioaccumule le plus (*i.e.* les viscères et branchies). En effet, une étude de la FD74 (Huchet, 2009) a montré qu'à l'exception du Nickel et du Chrome, la contamination est plus courante et plus importante dans les viscères des poissons. De plus, aucune distinction entre les truites mâles et femelles n'a été faite. L'âge des poissons n'a pas été déterminé par scalimétrie afin de corrélérer l'âge des poissons et la bioaccumulation à cause d'un manque de moyen financier et technique.

Des prélèvements d'eau et de sédiment ont été réalisés en parallèle de la pêche sur les cinq sites d'études afin d'analyser la colonne d'eau et de sédiment en termes de concentration en métaux lourds (Tableau 1). Les différentes concentrations des polluants selon les sites pourront être confrontées aux résultats trouvés dans les chairs et les viscères des truites. En effet, si une pollution dans les tissus des poissons n'est pas perceptible, mais que celle-ci est détectable dans la colonne d'eau et/ou le sédiment, il faudra s'alarmer sur le potentiel impact de cette pollution sur la biologie du poisson. De plus, les individus doivent être analysés individuellement et non en échantillon global par site afin d'éviter de minimiser et de lisser l'information.

Tableau 1 : Tableau effectif capturé par station : récapitulatif des recherches de toxiques réalisées

Prélèvements par station			Métaux lourds des poissons		Métaux lourds dans l'eau						Métaux lourds dans les sédiments							
Station	Latitude Y	Longitude X	Espèce	Effectif	Cd	Pb	Zn	As	Cr	Sb	Sn	Cd	Pb	Zn	As	Cr	Sb	Sn
S0	3.43451167	44.11425167	TRF	0	Prélèvement d'eau						Prélèvement de sédiment							
S1	3,42939000	44,10885000	TRF	14														
S1bis	3,42914167	44,10960167	TRF	16														
S2	3,40092667	44,10347167	TRF	15														
S3	3,50842667	44,10021167	TRF	15														

Les échantillons d'eau ont été filtrés à 0.22µm sur le terrain à l'aide d'une seringue et acidifiés à 1% avec une solution d'acide nitrique suprapur (Merck®) et stockés au réfrigérateur avant analyses. Les préparations d'échantillons ont été réalisées par le laboratoire HydroSciences Montpellier. Les échantillons de sédiments ont été lyophilisés, broyés à l'aide d'un mortier en agate. 50 mg de sédiment broyé ont ensuite été minéralisés dans un mélange d'HNO₃ et d'HF (3ml :1ml) suprapur (Merck®) à l'aide d'un système micro-ondes Ultrawave (Milestone ®). Les chairs et les viscères (branchies, foie, estomac, intestin...) ont été séparés, lyophilisés et broyés avant d'être minéralisés. Pour la minéralisation, 50 mg d'échantillon ont

ensuite été minéralisés dans 3ml d'HNO₃ (suprapur (Merck®) à l'aide d'un système micro-ondes Ultrawave (Milestone ®). Tous les échantillons eaux, sédiments, chairs et viscères ont ensuite été analysés par ICP-MS (iCAP Q, ThermoScientific®) sur la plateforme AETE-ISO (OSU OREME/Université de Montpellier), dans un milieu de dilution final à 1 % HNO₃ (v/v). Des matériaux de référence certifiés ont été analysés en même temps que les échantillons pour vérifier la justesse des analyses (SLR6, NRC Canada pour les eaux, NCS DC 70317, China National Analysis Center for Iron and Steel pour les sédiments, DORM-2, NRC Canada pour les chairs de poisson et DOLT-2, NRC Canada pour les viscères de poisson). Pour l'ensemble des éléments certifiés les concentrations mesurées sont en accord avec le certificat à moins de 5%.

Des « blancs » de manipulation ont été préparés en même temps que les échantillons :

i) pour les eaux il s'agit d'une solution contenant de l'eau ultrapure (Millipore ®) et de l'acide nitrique suprapur (Merck®) à 1% (v/v). Pour l'ensemble des éléments mesurés, la contribution de ce blanc moyen est négligeable (<1%) par rapport aux concentrations mesurées.

ii) pour les sédiments, « le blanc » de préparation moyen incluant la minéralisation par micro-onde avec les acides et la dilution finale est négligeable (<1%) par rapport aux concentrations mesurées.

iii) pour les chairs et les viscères, « le blanc » de préparation moyen incluant la minéralisation par micro-onde avec les acides et la dilution finale est négligeable (<1%) par rapport aux concentrations mesurées pour les éléments suivants : Cr, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Ba et Pb pour les viscères et Cu, Zn, As, Cd, Sb et Pb à l'exception de Pb pour la station S3 (11%). Par contre selon la station, le bore (15-35%), le chrome (27-74%), l'étain (81-393%), l'antimoine (29-127%) et le baryum (5-11%) présentent des contributions liées au « blancs » non-négligeables pour les chairs, et le bore (9-21%) et l'étain (22-43%) présentent des contributions liées au « blancs » non-négligeables pour les viscères.

En se basant sur le rapport de la Direction eau, environnement et aménagement rural du Service de l'Eau et des Rivières (Conseil général du Gard, 2013), sept métaux lourds principaux ont été choisis pour être analysés :

- le Cadmium Cd
- le Plomb Pb
- le Zinc Zn
- l'Arsenic As
- le Chrome Cr

- l'Antimoine Sb

- l'Etain Sn

D'autres métaux annexes seront également étudiés : le Baryum, le Bore, le Chrome total, le Cuivre et le Sélénium.

a) Analyse des métaux lourds dans l'eau et les sédiments

Les résultats sur l'eau brute sont comparés avec le système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, grilles d'évaluation SEQ-Eau Version 2 (Annexe 2). Pour les éléments suivant : Arsenic, Cadmium, Chrome total, Cuivre, Etain, Mercure, Nickel, Plomb et Zinc ($\mu\text{g/l}$), nous utiliserons la classe d'aptitude à la biologie. Dans ce cadre-là, il n'existe pas de valeurs seuil pour les autres métaux lourds analysés (Antimoine, Bore, Baryum). En effet, les seuils de ces derniers existent, mais pour un usage de l'eau destinée à la consommation humaine.

Concernant les sédiments ces derniers n'ont pas subi une étape de lixiviation, étape nécessaire afin de pouvoir comparer les seuils de pollution au travers de la grille d'évaluation du SEQ-Eau Version 2. Nous comparerons seulement les stations entres-elles en termes de concentrations de métaux lourds. Des analyses complémentaires seront réalisées en laboratoire dans le futur afin de compléter ce rapport.

b) Analyse des métaux lourds dans les tissus et viscères des poissons

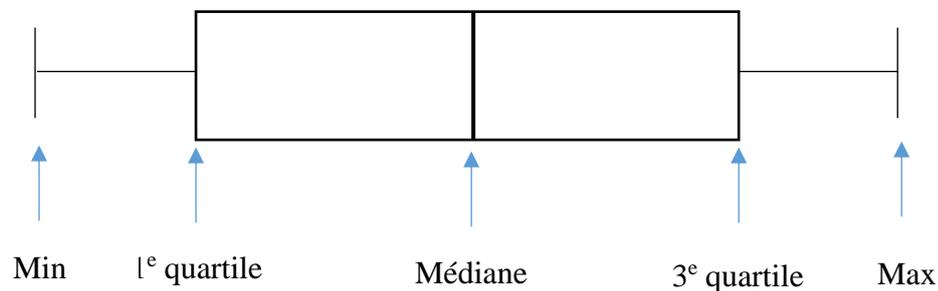
Dans les chairs et les viscères des poissons, les concentrations mesurées pour certains éléments (B, Cr, Sn, Sb, Ba) sont très proches des valeurs mesurées dans les blancs de préparation (cf. paragraphe 2/ Echantillonnage et analyses, page 11 pour les contributions), ce qui empêche une mesure précise des concentrations. Pour ces éléments, suivant le pourcentage de contribution des blancs de préparation, les valeurs de concentrations seront discutées comme des valeurs maximales.

Afin d'obtenir les concentrations en kg/poids frais pour les chairs, le contenu en eau des chairs a été calculé à partir d'un échantillon de 5 poissons (annexe 3). Ainsi, les résultats en poids secs ont été multipliés par 0,226, ce chiffre est très proche de la bibliographie (<http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5916e/x5916e01.htm>). Il est ainsi possible de comparer les résultats obtenus avec les seuils réglementaires.

Pour les viscères, les échantillons n'ayant pas été pesés avant lyophilisation le rapport poids sec/poids frais n'a pas pu être obtenu. Les données sont donc présentées en kg/poids sec. Il n'est donc pas possible de les comparer aux seuils réglementaires. Des mesures complémentaires seront réalisées dans le futur afin de compléter ce rapport.

Enfin, certaines concentrations aux valeurs extrêmes ont été retirées des analyses. Afin de tester s'il existe une différence significative de concentrations entre les stations, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé pour chaque élément.

Les données sont présentées sous la forme de boxplot pour l'ensemble des métaux lourds (cf. Figure 6).



La médiane partage la série en 2 groupes d'effectifs égaux.

Le 1^e quartile (Q1) : au moins un quart des données sont inférieures ou égales à Q1.

Le 3^e quartile (Q3) : les trois quarts des données sont inférieures ou égales à Q3.

Le Min représente la plus petite donnée et le Max, la plus grande.

Figure 6: Description d'un box plot

L'âge des poissons n'a pas été déterminé au cours de l'étude, il n'est donc pas possible d'étudier la corrélation entre l'âge des individus et l'accumulation de métaux lourds.

c) Analyse de la comestibilité des truites échantillonnées

Les résultats obtenus suite à l'analyse des métaux lourds dans les chairs des poissons ont été comparés aux seuils réglementaires de l'Union Européenne (Règlement CE N° 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006) afin de déterminer si les poissons qui s'y retrouvent sont propres à la consommation par l'homme.

Afin de tester la quantité de poissons qu'un homme peut ingérer, il est nécessaire de connaître la Dose Journalière Admissible (DJA) pour chaque polluant. Les DJA choisies sont celles présentées dans les fiches de l'INERIS (<https://substances.ineris.fr/fr/page/21#fictox>).

Les calculs à effectuer sont les suivants :

- **Dose journalière pour une personne de 65 kg** ($\mu\text{g}/\text{J}$) = DJA ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{J}$) x 65 (kg).
- **Quantité nécessaire de chair pour atteindre la DJA pour une personne de 65 kg** (kg) :

$$\frac{\text{Dose journalière pour une pers. de 65 kg } (\mu\text{g}/\text{J})}{\text{Quantité présente dans la chair des poissons } (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{PF})}$$

RESULTATS DE L'ETUDE

1) Pollution de la colonne d'eau et des sédiments

a) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans l'eau brute

Les résultats sur l'eau brute sont présentés dans le Tableau 2. Nous pouvons observer dans un premier temps que les métaux lourds sont présents de manière naturelle dans le sol, aux vues des concentrations obtenues dans l'eau au niveau de la source (S3). En effet, le nickel et le zinc sont en classe moyenne de qualité des eaux (*cf.* Figure 7 et Figure). De manière naturelle, plus on descend une rivière de l'amont vers l'aval (S3 à S2), plus l'eau se charge en élément minéral, ce qui explique une augmentation dans la concentration en éléments chimiques. En effet, les terrains du secteur sont constitués de roches ignées, c'est-à-dire de granites ou de schistes qui expliquent la présence naturelle de certains métaux lourds comme le Cadmium, l'Arsenic et le Mercure. Dans ces secteurs, il existe également des minéralisations sous forme de galène, blende et de pyrite. A eux trois, ils expliquent la présence naturelle de Plomb, Zinc et de Baryum. Cependant, l'exploitation minière des industries exploitantes du Plomb et Zinc au niveau des mines de Villemagne et de Saint Sauveur, ont un rôle non négligeable sur les teneurs importantes sur certains métaux lourds.

Les concentrations en Bore et Chrome ne semblent pas très différentes entre chaque site.

Pour les éléments suivant : Nickel, Cuivre, Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Zinc, on note un pic important de concentration sur le site S0 correspondant au ruisseau de Villemagne (S0).

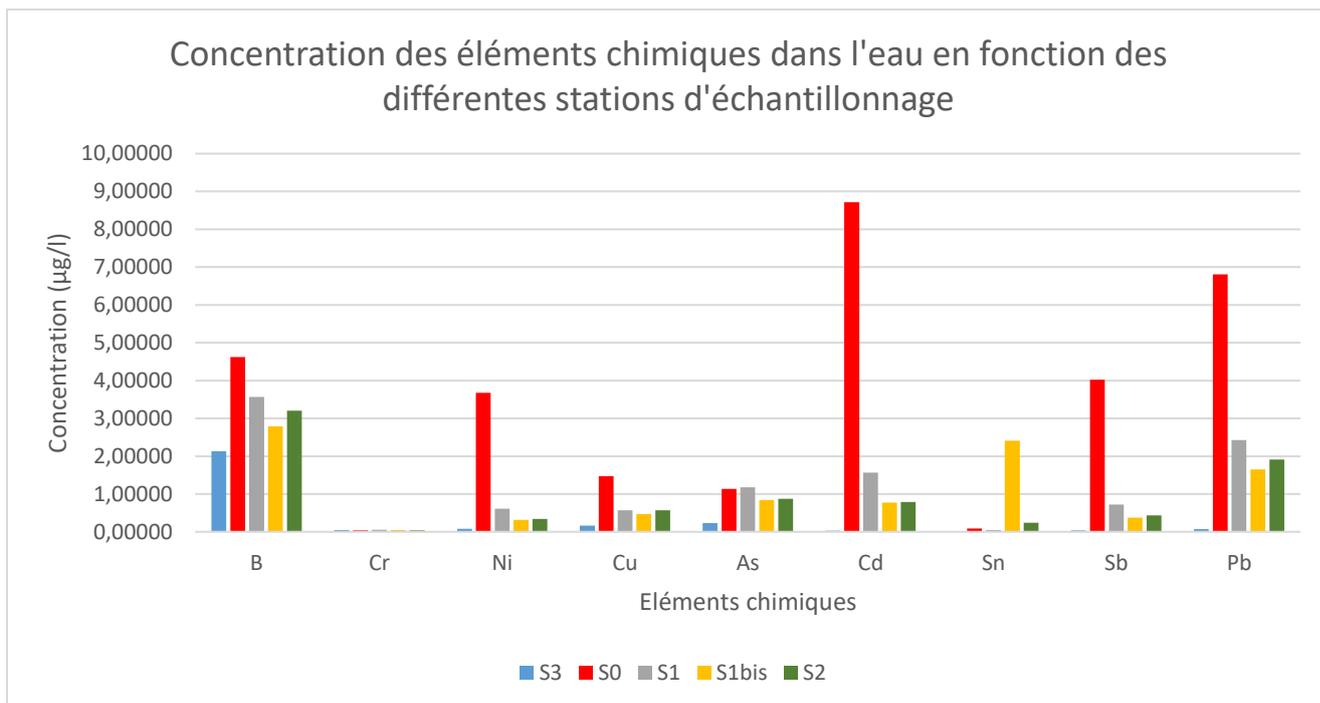


Figure 7: Concentration des éléments chimiques (bore, chrome, nickel, cuivre, arsenic, cadmium, étain, antimoine et plomb) dans l'eau en fonction des stations échantillonnées.

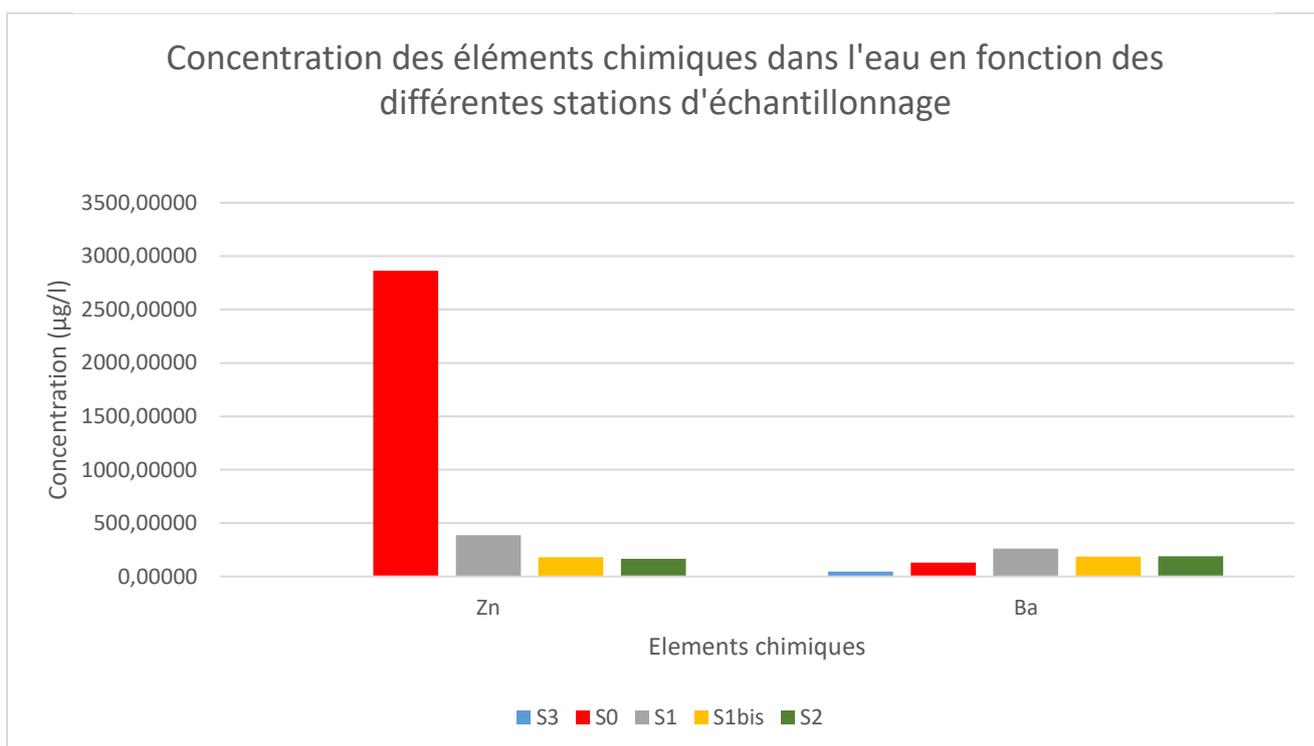


Figure 8 : Concentration en zinc et en baryum dans l'eau sur les stations échantillonnées

Les résultats (exprimés en µg/l) sont comparés aux normes de la SEQ eau V2 (cf. Tableau2) :

- Le site de référence, la source du Trèvezel (**S3**), est déclassant en qualité moyenne sur 3 éléments (Ni, Zn, Cd).
- Le ruisseau de Villemagne (**S0**), est déclassant en qualité moyenne des eaux sur 3 éléments (Ni, Cu et Pb) et en mauvaise qualité pour 2 éléments (Zn et Cd).
- Le troisième site (**S1**) situé sur le Bramabiau, est déclassant pour 3 éléments en qualité **moyenne** des eaux (Ni, Cu et Pb) et en qualité mauvaise des eaux pour 2 éléments (Zn et Cd).
- Le site de la laverie sur la rivière du Trèvezel (**S1bis**) et le site le plus à l'aval, sur le Trèvezel (**S2**), sont déclassant en qualité moyennes des eaux pour 2 éléments chimiques (Ni et Cu) et en qualité mauvaise des eaux pour deux éléments (Zn et Cd).

Tableau 2: Concentration des éléments chimiques dans l'eau comparée aux normes de la SEQ eau V2 pour les différentes stations d'échantillonnage

Secteurs	B	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb
S3	2,13360	0,04557	0,07868	0,16258	2,74588	0,23205	0,02747	<LD	0,03508	45,39521	0,06717
S0	4,62117	0,03377	3,67466	1,47025	2862,32485	1,13490	8,71487	0,08399	4,01886	129,69721	6,80420
S1	3,56270	0,05047	0,60848	0,57107	387,99973	1,17788	1,56405	0,04172	0,71753	260,46667	2,42591
S1bis	2,79130	0,04570	0,31549	0,46379	181,44005	0,84135	0,77608	2,41271	0,37722	186,19360	1,65330
S2	3,20222	0,04152	0,34542	0,56970	165,31507	0,87158	0,78489	0,23933	0,43180	188,83794	1,91130

b) Résultats sur l'analyse physico- chimique de l'eau brute

La température (°C), la conductivité (µS/cm), la concentration en oxygène dissous (mg/L) et le pH ont été mesurés pour l'ensemble des stations.

Les résultats sont les suivants :

Sites prélèvement		pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	O2 (mg/L)	Saturation (%)
Ruisseau Villemagne	S0	8,04	524	11	9,61	97
Bramabiau	S1	8,67	202	12,4	9,73	99,7
Trèvezel Aval Laverie	S1 bis	8,5	108	12,8	9,69	99,4
Trèvezel Comeyras	S2	8,36	125	14,4	9,23	97,4
Source Trèvezel	S3	8,64	24	12,4	/	/

Les résultats sont comparés aux valeurs seuils du SEQ-Eau V2, classe d'aptitude à la biologie.

Les paramètres sur la température et l'oxygène dissous sont considérés comme étant d'une classe de qualité « très bonne ». Nous ne disposons pas de la donnée au niveau de la source du Trèvezel (S3), concernant l'oxygène dissous dans l'eau.

Concernant la donnée sur le pH, l'ensemble des données sont qualifiées de classe de qualité de « très bonne » (S0) à « bonne » (S1, S1 bis, S2, S3).

Enfin, pour le paramètre relatif à la conductivité celle-ci possède une minéralisation très faible sur la source du Trèvezel (S3), faible sur S1, S1 bis et S2 et moyennement accentuée sur le ruisseau de Villemagne (S0). Nous ferons la remarque, que la conductivité augmente entre l'amont et l'aval d'une rivière. En effet, l'eau se charge en sel minéral lors de son parcours. Cependant, malgré tout nous observons un pic de conductivité sur le ruisseau de Villemagne (524 $\mu\text{s}/\text{cm}$), qui décroît par la suite jusqu'au pont de comeiras (S2). Ce pic, doit s'expliquer avec la présence de métaux lourds.

c) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les sédiments

Pour l'arsenic et le zinc, les plus fortes concentrations sont retrouvées au niveau de la station S0 correspondant au ruisseau de Villemagne, à l'aval immédiat de l'ancienne mine. Pour le cadmium, la même tendance est constatée, mais avec des concentrations plus faibles. En revanche, on note un pic de concentration de cuivre et de plomb dans les sédiments de la station S1 bis, en aval de l'ancienne mine et de la laverie (cf. Figure 7 et Figure 8) .

Les concentrations en chrome et en nickel dans les sédiments ne sont pas différentes entre les sites.

Ces sédiments proviennent d'une érosion naturelle, mais également de l'entraînement des résidus des anciens dépôts associés aux activités minières. Ainsi, les concentrations importantes en métaux lourds sont, en partie liée à la présence de l'ancienne mine (arsenic et zinc particulièrement) et à la présence de l'ancienne laverie (cuivre et plomb).

Les sédiments sont transportés de l'amont vers l'aval, expliquant par exemple des concentrations importantes en métaux lourds au niveau de la station S2.

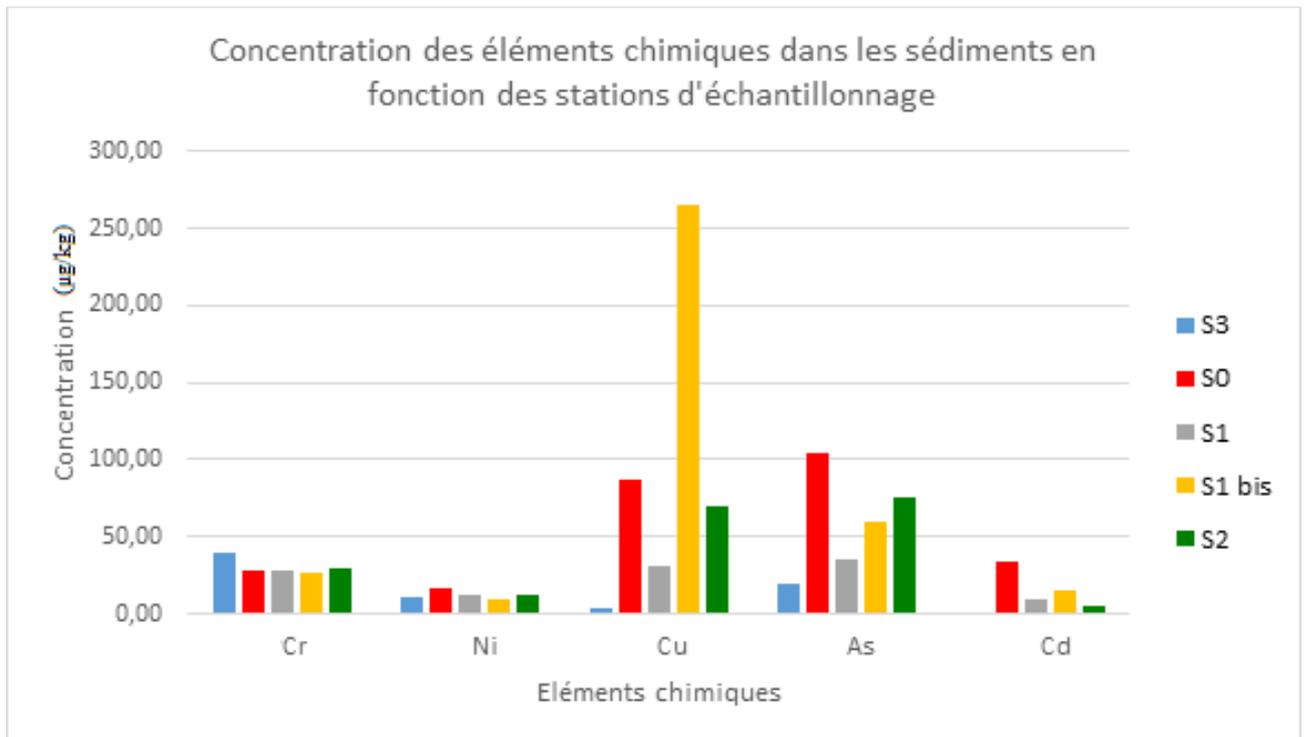


Figure 7: Concentration des éléments chimiques (chrome, nickel, cuivre, arsenic, cadmium) dans les sédiments en fonction des stations d'échantillonnage

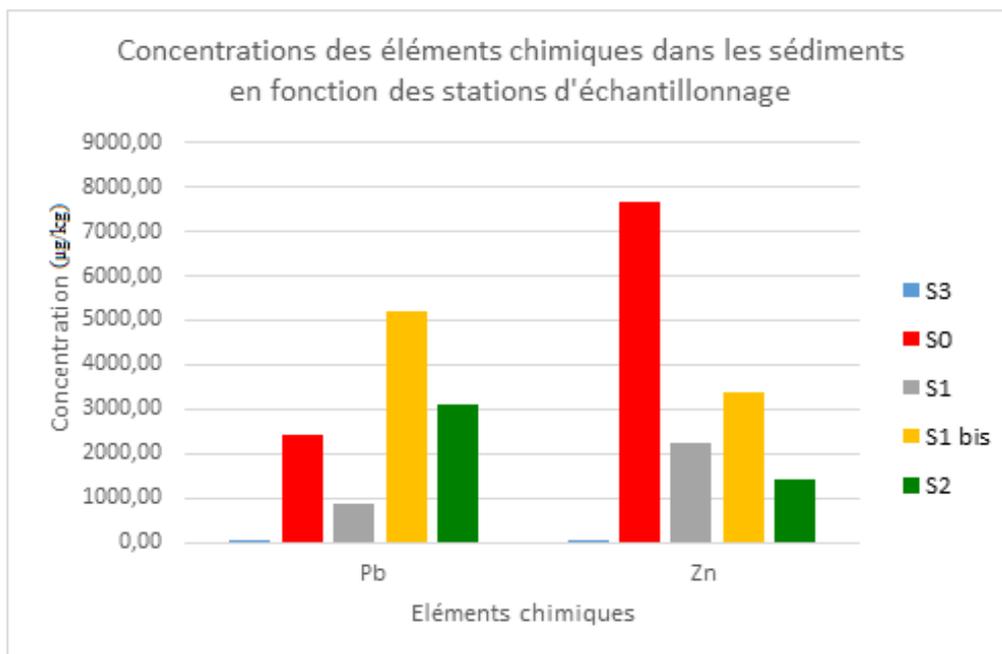


Figure 8: Concentration des éléments chimiques (plomb et zinc) dans les sédiments en fonction des stations d'échantillonnage

2) Résultats de l'analyse des poissons par stations

a) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les tissus

L'étude des métaux lourds dans les chairs des truites montre des différences significatives entre les stations pour le plomb, l'arsenic, le chrome, l'étain, le cadmium, le cuivre et l'antimoine (cf. Annexe 3).

La comparaison des concentrations entre la station de référence (S3) et les autres (S1, S1b et S2) permet de mettre en évidence un potentiel lien entre l'ancienne activité minière et la pollution retrouvée dans les tissus des poissons.

Concernant la **pollution au plomb**, la station de référence présente des concentrations inférieures aux 3 autres stations (*cf.* Figure 11) . A l'échelle mondiale, les activités minières sont considérées comme la première source de pollution au plomb des milieux aquatiques (Nordberg *et al.*, 2014). Aujourd'hui, cette contamination est majoritairement liée à la persistance du plomb après l'arrêt de son émission dans le milieu (fermeture de sites miniers, autre exemple) (Urien, 2015). Dans notre situation, la pollution serait donc, en partie, liée à l'ancienne mine. La **concentration en arsenic** apparait plus élevée pour la station 1 située directement à l'aval de la mine sur le Bramabiau (*cf.* Figure 11). Les truites échantillonnées sur les stations situées en aval de la mine sur le Trèvezel ne sont pas touchées par cette contamination. Cette dernière est liée entre autres à la combustion du charbon ou du fuel (Gauthier, 1996).

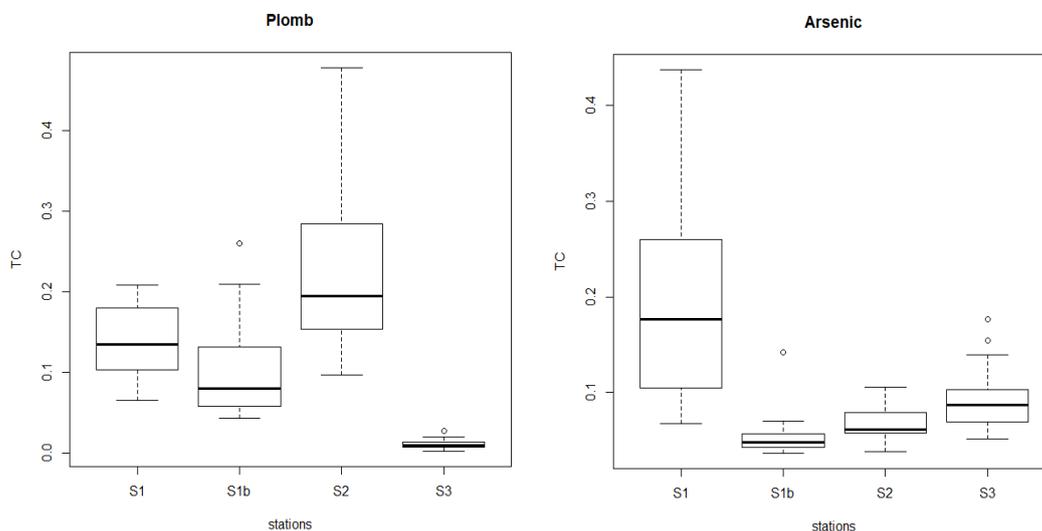


Figure 9: Boxplot de la concentration (mg/kg PF) en plomb (à gauche) et en arsenic (à droite) dans les chairs des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

Pour le **cadmium**, la différence de concentration entre la station de référence et les 3 autres est nettement visible (*cf.* Figure 12). Une forte contribution des secteurs de la métallurgie dans le cas des pollutions au cadmium a été observée (Brignon et Malherbe, 2005).

La concentration **en cuivre** est également plus importante sur les stations S1, S1b et S2 comparée à la station de référence (*cf.* Figure 12). Cette contamination sur les milieux aquatiques peut provenir de différents rejets principalement liés aux activités minières, métallurgiques et électriques (Foregs Geochemical Atlas, 2019).

Les concentrations en cadmium et en plomb mesurées sur les truites échantillonnées peuvent donc être reliées aux anciennes activités minières et métallurgiques.

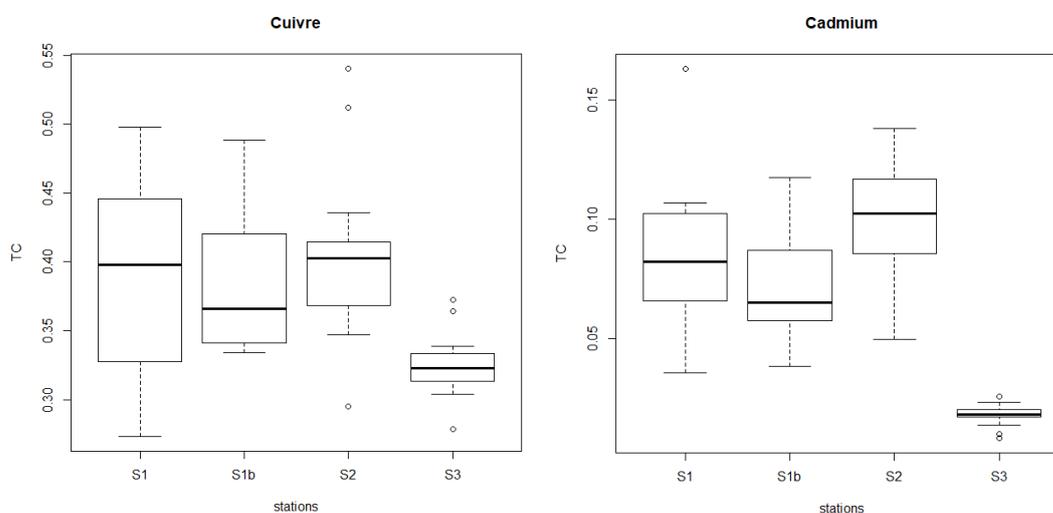


Figure 10: Boxplot de la concentration (mg/kg PF) en cuivre (à gauche) et en cadmium (à droite) dans les chairs des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

Pour l'étain, le chrome et l'antimoine, les concentrations mesurées dans les tissus des truites sont très faibles. La concentration en **antimoine** est plus élevée pour les stations S1, S1b et S2 que pour la station 3 dite de « référence ». Les sources d'antimoine peuvent être liées aux activités minières et industrielles (Beaugelin-Seiller & Garnier-Laplace, 2002). Ceci peut donc expliquer les différences observées. Pour le **chrome**, la station S2 laisse apparaître les concentrations les plus fortes. Pour l'**étain**, la concentration apparaît plus forte pour la station 3. Les résultats pour le chrome et l'étain peuvent être dus à des problèmes de contamination au cours des préparations (cf. détails dans chapitre 2/Echantillonnage et Analyses). Il n'est donc pas possible de conclure pour ces éléments.

Pour le **zinc**, le **baryum** et le **bore**, les concentrations ne sont pas significativement différentes selon les lieux d'échantillonnage (cf. Figure 13 et annexe).

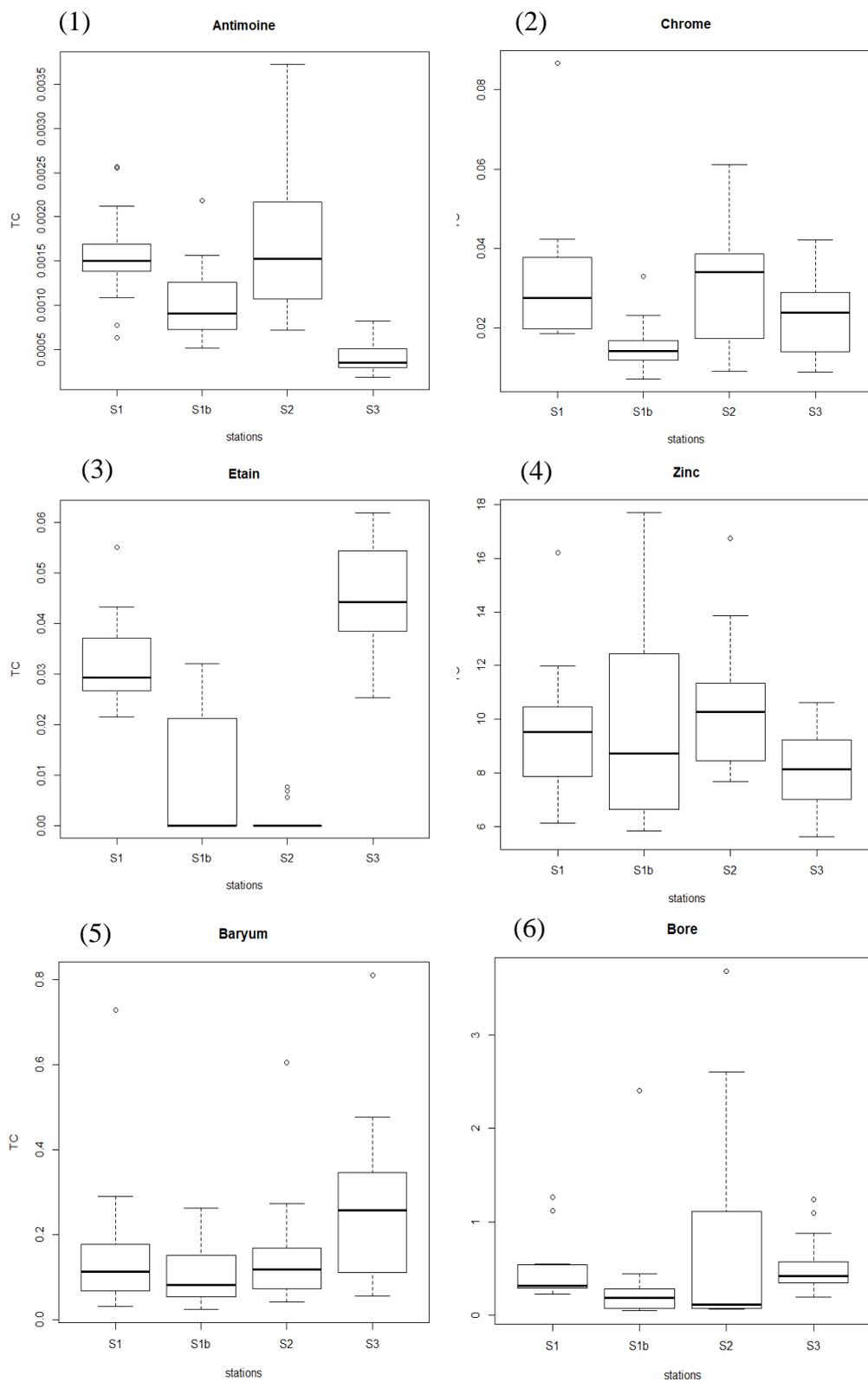


Figure 11: Boxplot des concentrations (mg/kg PF) en antimoine (1), chrome (2), étain (3), zinc (4), baryum (5) et bore (6) dans les chairs des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

b) Résultats sur l'analyse des métaux lourds dans les viscères

Les analyses ont permis d'obtenir les concentrations en métaux lourds dans les viscères des poissons. Cependant, les échantillons n'ayant pas été pesés avant lyophilisation en laboratoire le rapport poids sec/poids frais n'a pas pu être obtenu. Les données sont donc présentées en kg/poids sec. Il n'est donc pas possible de les comparer aux seuils réglementaires.

Les résultats des tests de Kruskal-Wallis sont présentés en annexe.

La concentration en **plomb** dans les viscères des poissons est plus élevée sur les stations en aval de la mine que sur la station de référence en amont (cf. Figure 14). La différence est statistiquement significative. La station S2 montre les plus forts taux de plomb avec une concentration moyenne de 37,72 mg/kg.

Il existe une différence significative de la concentration en **arsenic** selon les stations. En effet, la station de référence présente les plus faibles taux et la station S1, les plus forts (cf. Figure 14).

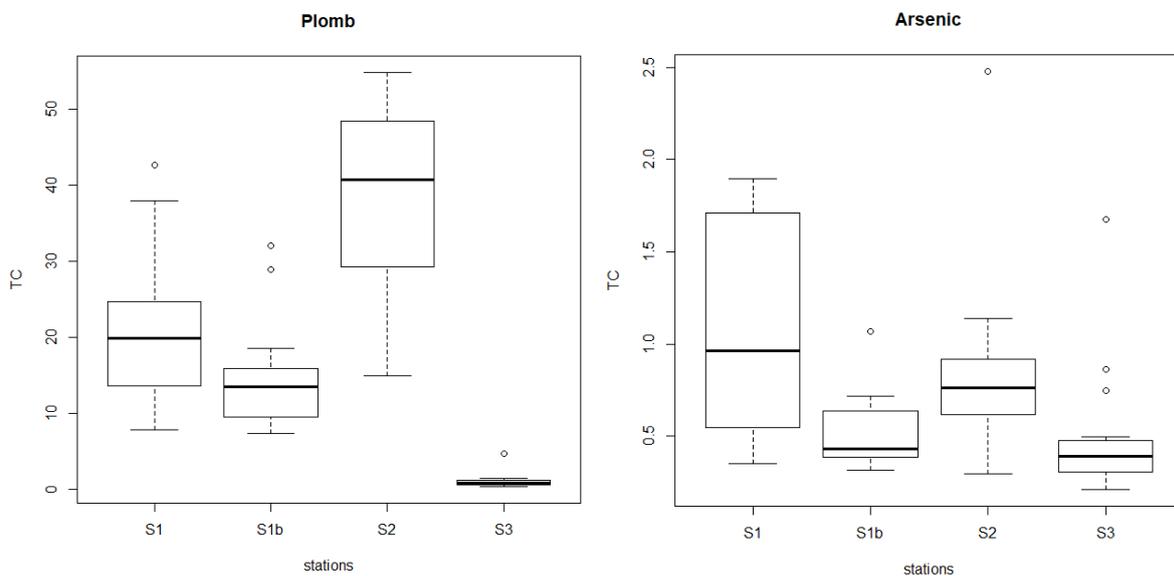


Figure 12: Boxplot de la concentration (mg/kg PS) en plomb (à gauche) et en arsenic (à droite) dans les viscères en fonction des stations d'échantillonnage

Pour le **cadmium**, le **cuivre**, l'**antimoine**, on remarque une différence significative de la concentration dans les viscères des truites selon les lieux d'échantillonnage (cf. Figure 15). Les stations S1, S1b et S2 présentent des taux plus élevés que la station de référence. Nous ne

pouvons comparer ces résultats aux normes afin de conclure sur la comestibilité des poissons. Pourtant, nous pouvons supposer que, comme pour les chairs, les concentrations en cadmium dépassent les normes européennes. En effet, ce dernier s'accumule principalement dans les viscères et très peu dans le muscle chez le poisson (CIRE Rhône Alpes, 2010).

On remarque que, pour le **zinc**, les concentrations dans les viscères sont significativement différentes entre la station de référence et les 3 autres. Ce qui n'était pas le cas dans l'analyse des chairs. Le zinc s'accumulerait donc plus fortement dans les viscères que dans les chairs des poissons.

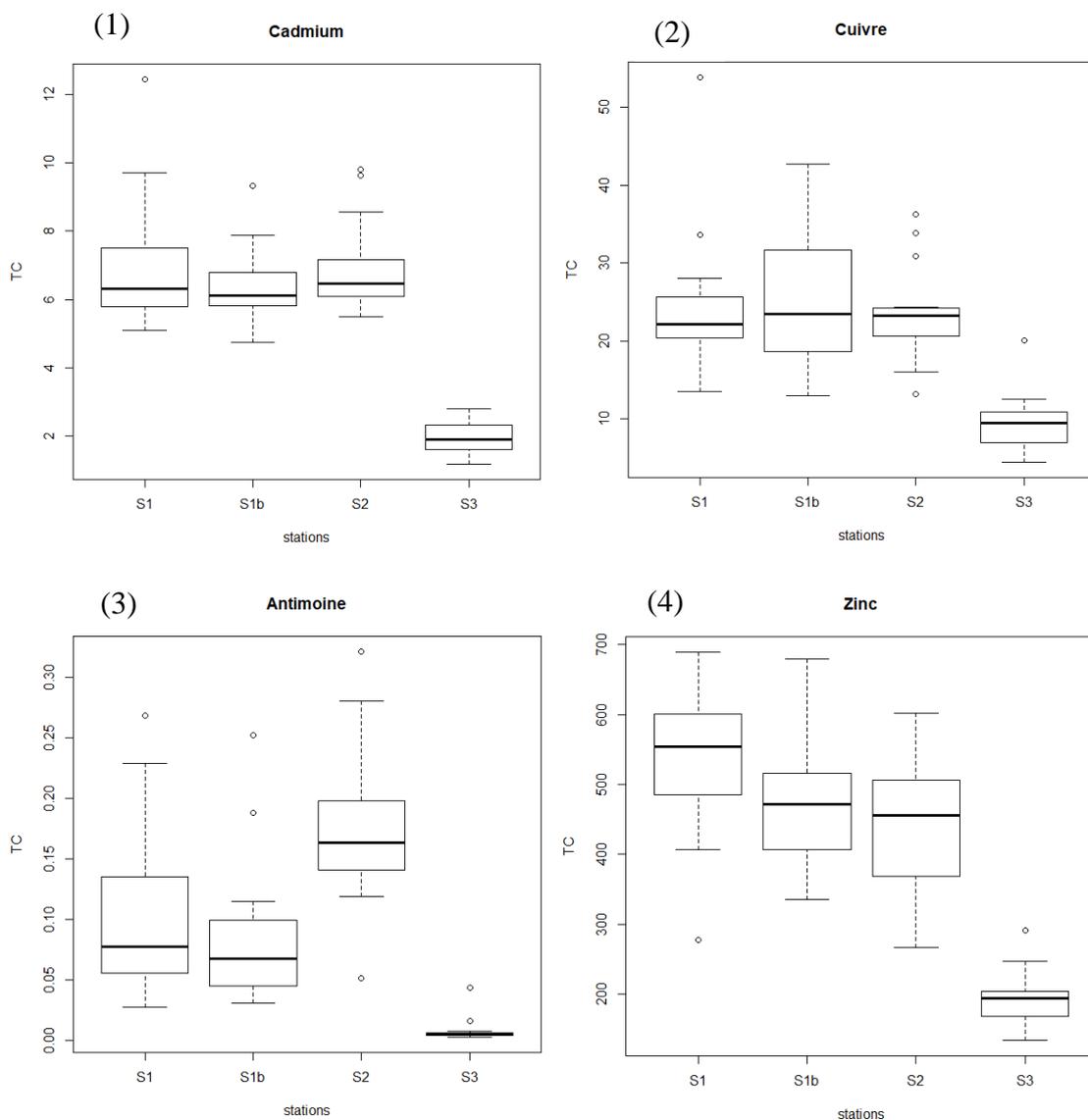


Figure 13: Boxplot de la concentration (mg/kg PS) en cadmium (1), en cuivre (2), en antimoine (3) et en zinc (4) dans les viscères des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

Les concentrations **en chrome** retrouvées dans les viscères des poissons sont très faibles. La concentration sur la station de référence est légèrement plus forte que pour les autres stations (cf. Figure 16). Pour l'**étain**, les concentrations mesurées sont très faibles. De plus, il est possible que les résultats (notamment concernant la station 3) aient été biaisés au cours des mesures par le biais des préparations au laboratoire. Il n'est donc pas possible de conclure pour cet élément.

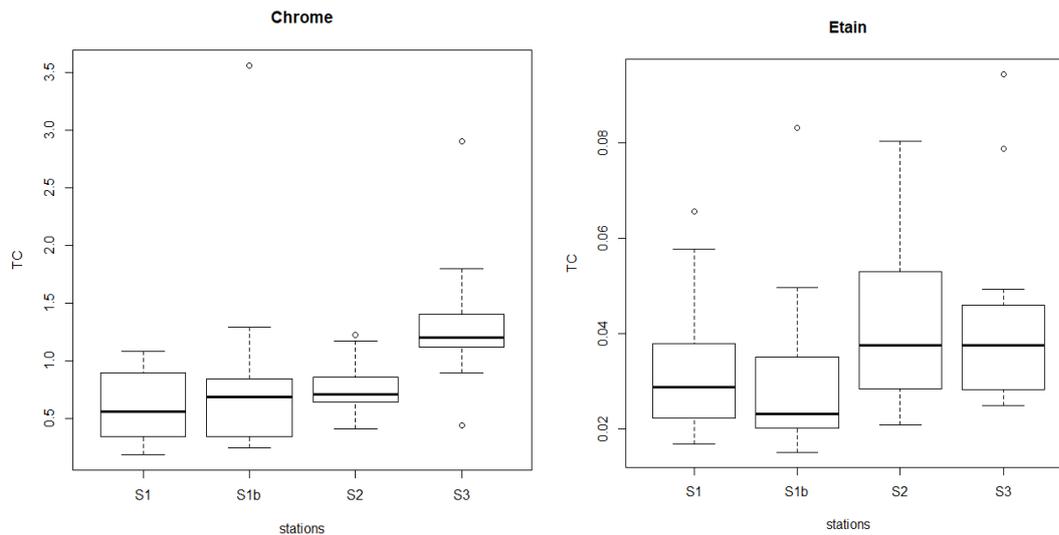


Figure 14: Boxplot de la concentration (mg/kg PS) en chrome et en étain dans les viscères des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

Concernant le **baryum et le bore**, les concentrations mesurées sur les individus échantillonnés ne sont pas significativement différentes selon les stations (cf. Figure 17 et annexe). On remarque que pour le baryum, certains individus échantillonnés sur la station 1 présentent des concentrations plus fortes. C'est également sur cette station que la concentration de baryum dans l'eau est la plus forte.

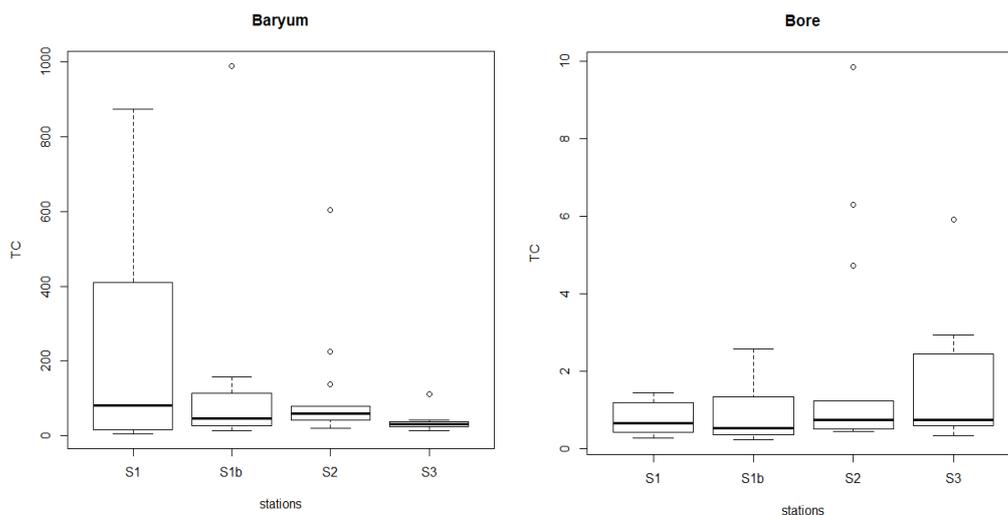


Figure 15: Boxplot de la concentration (mg/kg PS) en baryum et en bore dans les viscères des poissons en fonction des stations d'échantillonnage

c) Comestibilité sur les secteurs échantillonnés sur les chairs de poisson

Les analyses se sont portées sur les individus afin de comparer la concentration mesurée dans **les chairs** et la concentration réglementaire. Les concentrations moyennes seront présentées dans le Tableau 3.

Le **cadmium** est à des **concentrations supérieures à la réglementation en vigueur** (cf. Tableau 4). Cette concentration rend **impropres à la consommation les poissons des stations : S1 aval Bramabiau, S1b aval ancienne laverie du Trèvezel et S2 aval Trèvezel pont de Comeiras**. En effet, plus de 90% des poissons échantillonnés présentent des concentrations dépassant le seuil réglementaire. Seul la station de référence (S3) présente une concentration inférieure à la norme. Pour le **plomb**, 20% des individus de la **station S2 aval Trèvezel pont de Comeiras** présentent des **concentrations supérieures à la norme et donc impropre à la consommation** (cf. Tableau 4). Pour les autres métaux, aucun individu ne présente des concentrations supérieures aux seuils réglementaires.

Tableau 3: Concentrations moyennes mesurées des métaux lourds en fonction des stations et valeur seuil réglementaire associée (en vert, [C moyenne] < seuil, en jaune, [C] dépasse la valeur seuil chez quelques individus, en orange : [C moyenne] > seuil)

Métaux		Stations				Valeur seuil recommandée
		S1	S1b	S2	S3	
		Concentrations musculaires (mg/kg de poids frais)				
Bore	B	0,46283	0,33456	0,83268	0,52827	
Chrome	Cr	0,03198	0,01526	0,03064	0,02293	1
Etain	Sn	0,03219	0,00804	0,00133	0,04591	
Antimoine	Sb	0,00157	0,00102	0,00174	0,00042	
Cuivre	Cu	0,38747	0,38278	0,40137	0,32558	10
Zinc	Zn	9,55423	9,59560	10,52444	7,98606	35
Arsenic	As	0,19570	0,05508	0,06843	0,09351	0,5
Cadmium	Cd	0,08548	0,07413	0,09772	0,01837	0,05
Baryum	Ba	0,16724	0,10340	0,15932	0,27036	
Plomb	Pb	0,13632	0,10232	0,22931	0,01101	0,3

Tableau 4: Nombre et pourcentage d'individus dépassant le seuil réglementaire défini pour la protection alimentaire pour le cadmium et le plomb sur les différentes stations étudiées

Métaux	Stations	Nb d'individus dépassant le seuil	% d'individus dépassant le seuil	Nb d'individus total
Cadmium	S1	13	93 %	14
	S1 bis	15	94 %	16
	S2	14	95 %	15
	S3	0	0	15
Plomb	S1	0	0	14
	S1 bis	0	0	16
	S2	3	20%	15
	S3	0	0	15

Les résultats obtenus suite aux calculs de comestibilité sont présentés dans le Tableau 5.

Ainsi, pour le **cadmium**, sur les stations **S1, S1 bis et S2**, la quantité nécessaire de chair pour atteindre la dose journalière admissible par personne est située entre **200 et 300 g**. Pour le **plomb**, cette quantité est de **100 à 200 g** par personne et par jour.

Au vu de ces résultats, une consommation régulière et excessive de poissons pêchés sur ces secteurs est susceptible de présenter un risque pour la santé humaine.

Pour les autres métaux, les quantités nécessaires sont plus importantes. Par exemple, pour le zinc, il faudrait ingérer plus de 3 kg de poissons par jour pour atteindre la dose maximale. Les risques pour la santé sont donc plus faibles.

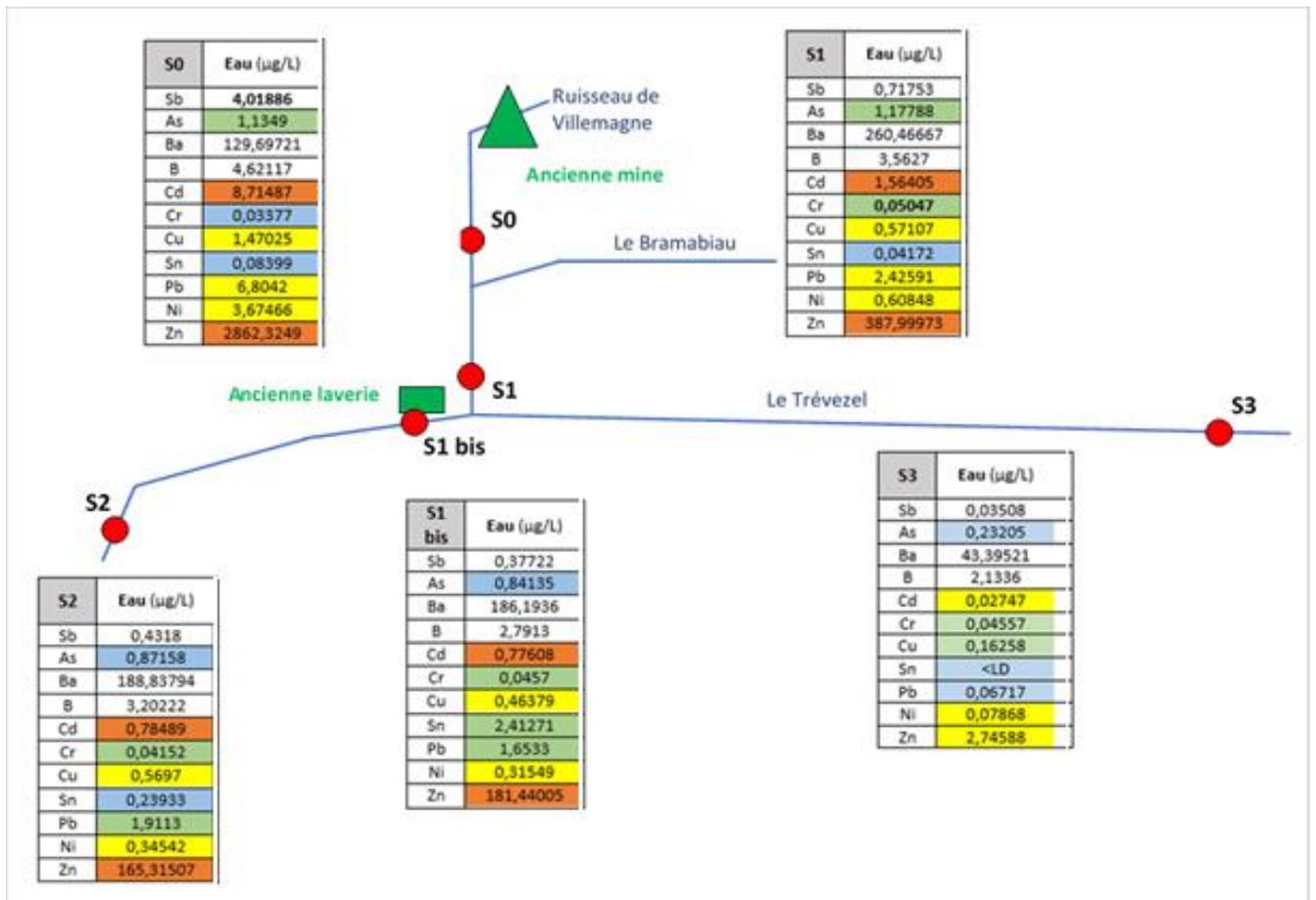
Tableau 5: Calcul d'évaluation des risques pour la consommation humaine de poissons pour les différents métaux sur les stations échantillonnées

Métaux	Stations	Quantité présente dans la chair des poissons (mg/kg de PF)	Dose Journalière Admissible (INERIS) (Mg/kg/J)	Dose Journalière pour une pers. de 65 kg (mg/J)	Quantité nécessaire de chair pour atteindre la DJA pour une pers. De 65 Kg (Kg)
Cadmium	S1	0,08548	0,00036	0,0234	0,274
	S1 bis	0,07413			0,316
	S2	0,09772			0,239
	S3	0,01837			1,274
Plomb	S1	0,13632	0,0036	0,234	0,172
	S1 bis	0,10232			0,229
	S2	0,22931			0,102
	S3	0,01101			2,125
Arsenic	S1	0,1957	0,00045	0,02925	0,149
	S1 bis	0,05508			0,531
	S2	0,06843			0,427
	S3	0,09351			0,313
Zinc	S1	9,55423	0,5	32,5	3,402
	S1 bis	9,5956			3,387
	S2	10,52444			3,088
	S3	7,98606			4,070
Antimoine	S1	0,00157	0,006	0,39	248,408
	S1 bis	0,00102			382,353
	S2	0,00174			224,138
	S3	0,00042			928,571

Chrome	S1	0,03198	0,005	0,325	10,163
	S1 bis	0,01526			21,298
	S2	0,03064			10,607
	S3	0,02293			14,174
Cuivre	S1	0,38747	0,14	9,1	23,486
	S1 bis	0,38278			23,773
	S2	0,40137			22,672
	S3	0,32558			27,950

d) Synthèse cartographique

- Les métaux lourds dans l'eau



- Les métaux lourds dans les tissus et les viscères des poissons

La station de référence (S3) présente des concentrations moyennes en métaux lourds inférieures aux seuils réglementaires et ne montre, en aucun cas, les plus fortes concentrations moyennes en métaux. En revanche, pour les **chairs** et pour les stations S1, S1 bis et S2, les concentrations dépassent le seuil réglementaire pour le **Cadmium**, et le **Plomb** pour la station S2. Pour les autres métaux, les concentrations moyennes les plus fortes se retrouvent sur différentes stations (cf. Figure 18).

Pour certains éléments (bore, cadmium, chrome, cuivre, étain, zinc), on remarque que la station ayant la plus forte concentration diffère si l'on considère les chairs ou les viscères.

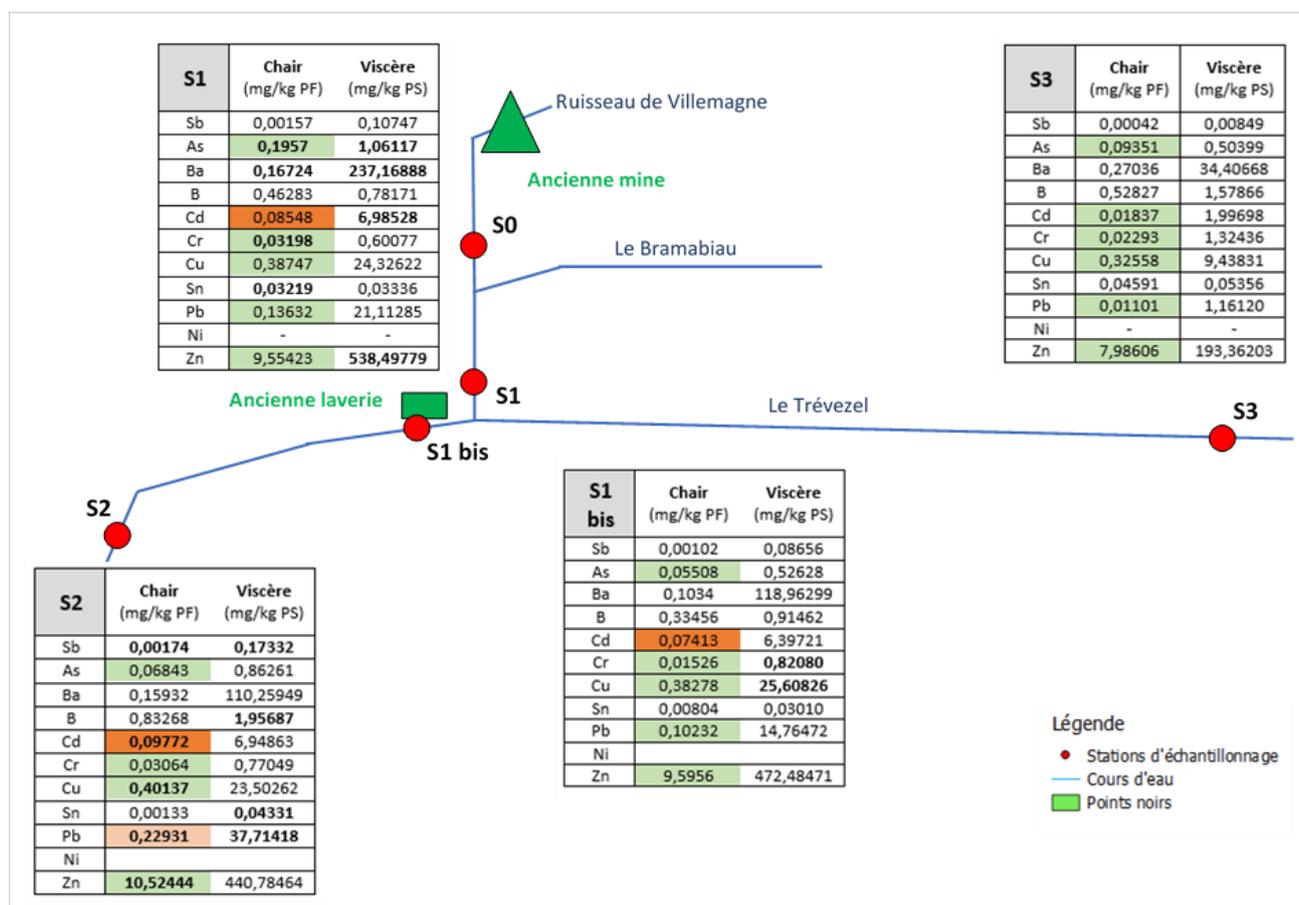


Figure 16: Schéma synthétique des concentrations moyennes mesurées pour les différents métaux lourds sur l'ensemble des stations. (en vert : la concentration moyenne ne dépasse pas le seuil réglementaire ; en orange : la concentration moyenne dépasse le seuil réglementaire).

CONCLUSION

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons en conclure que les anciens rejets miniers du ruisseau de Villemagne altèrent la qualité de **l'eau** sur le ruisseau de Villemagne, l'aval du Bramabiau et sur le Trèvezel à partir de l'ancienne laverie jusqu'au pont de Comeiras. De manière naturelle le cours d'eau du Trèvezel est chargé en Zinc et Cadmium, mais la présence des mines, provoque une augmentation de la concentration en métaux lourds de manière non négligeable et décline la qualité de l'eau en mauvaise pour le Zinc et le Cadmium pour le ruisseau de Villemagne, l'aval du Bramabiau, l'aval de la laverie sur le Trèvezel et le Trèvezel au niveau du pont de Comeiras. De plus, la qualité de l'eau est déclassée en qualité moyenne sur les sites du ruisseau de Villemagne et de l'aval du Bramabiau.

Concernant les **sédiments**, ces derniers possèdent de manière naturelle une concentration de Zinc et Plomb dans les roches. Cependant, la présence des mines augmente de manière non négligeable la présence de Zinc, Plomb, Cadmium et Arsenic. En effet, la concentration est multipliée par 120 en Zinc entre la station source du Trèvezel et le ruisseau de Villemagne, par un facteur 42 concernant l'élément Plomb et par 189 pour le Cadmium. De plus, la concentration est multipliée par un facteur 91 entre la station source et l'aval de la laverie du Trèvezel pour l'élément Plomb.

Cette pollution par les anciennes mines touche également les **tissus et viscères** des poissons. En effet, le **Cadmium rend impropres à la consommation humaine les poissons (chair)** au niveau de **l'aval du Bramabiau, à l'aval de l'ancienne laverie des mines sur le Trèvezel et à l'aval du pont de Comeiras sur le Trèvezel**. Élément chimique s'accumulant dans les organes tout au long de la vie, le cadmium peut provoquer, chez l'Homme, des problèmes rénaux, des atteintes pulmonaires et l'augmentation de la tension (Ghali, 2008). Il serait également considéré comme un des facteurs de stérilité (Bisson *et al.*, 2011).

De plus, le **Plomb** rend également **impropres à la consommation humaine les poissons (chair)** au niveau de **l'aval du Trèvezel (pont de Comeiras)**. Ce dernier est particulièrement toxique pour le système nerveux. Les personnes les plus touchées par une intoxication au plomb sont les femmes enceintes et les enfants en raison du fort développement du système nerveux et d'une absorption digestive 3 fois plus élevée que celle des adultes (Bagdhadi Mazini, 2012).

Tableau 6: Synthèse des métaux lourds posant des problèmes de bon état écologique sur les stations d'échantillonnage

Stations	Métaux lourds				
	S0	S1	S1 bis	S2	S3
Eau : <i>bon état non atteint</i>	Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	Ni, Cu, Zn, Cd	Ni, Cu, Zn, Cd	Ni, Zn, Cd
Poissons (chair) : <i>impropres à la consommation</i>	Non mesuré	Cd	Cd	Cd, Pb	

De plus, ces résultats sont comparables aux résultats obtenus par la société Recylex mandatée par la DREAL service en charge de l'inspection des mines sur Montpellier sur la qualité des eaux dans l'environnement de l'ancienne mine de Saint-Sauveur. Un rapport sorti en 2017 sur la même thématique, rapport rendu par Mica Environnement « Compte-rendu des analyses effectuées sur les ruisseaux de la Foux, du Bramabiau et du Trèvezel Eau-Bryophytes-Sédiments-Poissons » N°17003, fait donc un état des lieux de l'impact des rejets miniers sur un certain nombre de site. En comparaison avec nos sites d'études, un site est identique au notre c'est le « Bramabiau aval » et un site proche du pont de Comeiras, le site du Trevezel Randaval, indicateur pour l'aval du Trèvezel.

Pour ces deux sites, nous notons une **adéquation** avec nos résultats obtenus sur les **chairs de poisson**. En effet, les concentrations en métaux lourds sont supérieurs au seuil de la norme de l'OMS concernant l'élément du Cadmium pour les deux zones et comparable avec nos résultats. De plus, pour l'élément Plomb, les résultats obtenus sont supérieurs au seuil réglementaire de l'OMS pour les deux zones citées et comparable dans notre cas avec le point le plus aval du Trèvezel (S2). Cependant, les concentrations obtenus pour ces deux métaux lourds étaient plus élevées en 2016 qu'en 2018 (d'un facteur 3). Mais les concentrations de métaux lourds obtenues aujourd'hui restent toujours au-delà du seuil règlementaire. Au vu des résultats et de l'impact néfaste du Cadmium et du Plomb sur le corps humain, la Fédération de Pêche du Gard demande l'interdiction de la consommation du poisson sur le territoire suivant : « aval Bramabiau et le cours d'eau du Trevezel : de la prise d'eau (amont usine électrique) jusqu'à l'aval de Trèves au niveau 'des pertes d'eau'».

BIBLIOGRAPHIE

Alabaster et Loydd (1980), Guillaume. M., (1996), Crompton (1997), LVD 39 (1997), Valeurs guides pour interpréter la signification des concentrations de quelques produits toxiques dans les poisons : synthèse.

Baghdadi Mazini D. (2012) Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain. Rapport de thèse. Université des sciences et techniques – Tanger. 184p.

Bisson M., Diderich I R., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Pepin G., Pichard A., (2011). Cadmium et ses dérivés. INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. DRC - 11 - 117259 - 10308A.

Brignon J.M.et Malherbe L. (2005) . Cadmium et ses dérivés. INERIS – Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, Verneuil en Halatte, 25 p.

Caudron A., (2006) Première évaluation de la concentration par les métaux lourds chez la truite commune (*Salmo trutta*) sur le bassin de l'Arve. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*.

CIRE Rhône Alpes (2010) Fiche Cadmium. Préfecture de la région Rhône Alpes.

Conseil Général du Gard (2013) Bassin versant du Tarn Amont. Rapport d'interprétation bilan des années 2003-2006-2009-2012. Direction eau, environnement et aménagement rural, Service de l'Eau et des Rivières.

Corvi C., Khim-He ang S., Zimmerli P., (2000) Métaux et micropolluants organiques dans les poisons et les moules du Léman. Rapp. Comm.int. prot. eaux Léman contre pollut, Campagne 2000,2001,145-159.

Gauthier N. (1996) L'impact des polluants métalliques (As, Hg, Pb) sur les invertébrés d'eau douce. Rapport de recherche bibliographique. Ecole Nationale Supérieure de l'Information et des Bibliothèques. Université Claude Bernard Lyon 1.

Ghali S., (2008). Étude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisations dans le traitement des eaux. Mémoire de Magister. République Algérienne démocratique et populaire Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Université de 20 août 55 - SKIKDA.

Huchet P., (2009) Echantillonnage piscicole des lacs d'Anterne et de Pormenaz - élaboration d'un plan de gestion rationnel des lacs d'altitude. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, 52p + annexes.

Mathon G., (2010) Les mines de Villemagne à Saint-Sauveur-Camprieu, 19p

Ministère de la Santé et des Solidarités (2007) Arrêté du 11 Janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R ? 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique, Journal officiel de la république française, texte 17, pp.9

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable & Agences de l'eau (2003) Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau)

Monna. F., Camizuli. E., Revelli. P., Biville. C., Thomas. R., Losno. R., Scheifler. R., Bruguier. O., Baron. S., Chateau. C., Ploquin. A., Alibert. P., (2011) Wild Brown Trout Affected by Historical Mining in the Cévennes National Park, France, Environmental Science & Technology, 45, pp.6823-6830

Nordberg, G.F., Fowler, B.A., Nordberg, M. (2014). Handbook on the toxicology of metals. Academic Press.

Recyclex S. A. Concession de Saint Sauveur, (2017) Compte-rendu des analyses effectuées sur les ruisseaux du Bramabiau et du Trévél : Eau, Bryophytes, Sédiments, Poissons, Mica Environnement, N°17003. pp.43

Urien N (2015). Modélisation de la bioaccumulation des métaux par voie dissoute chez le genre Gammarus: influence des facteurs environnementaux et de l'histoire de vie des organismes. Ecologie, Environnement. Université Claude Bernard – Lyon 1.

Vinodhini. R., Narayanan., M., (2008) Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp), Int. J. Environ. Sci. Tech., 5, pp. 179-182

Zeitoun. M., and Mehana. E., (2014) Impact of Water Pollution with Heavy Metals on Fish Health: Overview and Updates, Global Veterinaria, 12, pp.219-231

Sitographie

- Foregs Geochemical Atlas (2019): www.weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php consulté en 2019.
- INERIS : <https://substances.ineris.fr/fr/page/21>
- <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5916e/x5916e01.htm>

ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs guides

Tableau XXXV - valeurs guides pour interpréter la signification des concentrations de quelques produits toxiques dans les poissons : synthèse d'après ALABASTER et LOVED (1980), GUELLEURNE-EL (1988), CROMPTON (1997), LVD 89 (1997)

Substances	Taux dangereux pour l'homme Maximum admissible		Taux dangereux pour les poissons			Signification statistique des concentrations						
	toxicité humaine mg/Kg PF	toxicité chronique mg/Kg PF	SPOT	Seuil d'effet	organe	Concentrations dans le tissu			Concentrations dans l'organe cible			
						seuil	faible	noyau	seuil	faible	moyen	cible
						µg/Kg PF	µg/Kg PF	µg/Kg PF	µg/Kg PF	µg/Kg PF	µg/Kg PF	
Cd		0,05	nefertilité	7	reproduction	0,01	0,1	0,5	0,1	1	10	reproduction
Cr			mutagène	18	foie	0,02	0,1	0,2	0,1	0,5	1	branchies
Pb		100	nefertilité	8	reproduction	0,1	1	4	0,1	2	3	branchies
Hg	0,5					0,05	0,2	0,5				
Mn	0,5					0,04	0,1	0,25	0,1	1		branchies
PS	0,5					0,02	0,1	0,3				
Zn	50		mutagène	57	reproduction	0,15	0,5	10	0,1	100	150	branchies
PCB n°22		0,04										
PCB n°101		0,08										
PCB n°118		0,1										
PCB n°128		0,1										
PCB n°153		0,1										
PCB n°190		0,12										
PCB tot	2	0,64	fertilité	2,2		0,01	0,1	0,5	10	100	200	MS
Hydrocarbure aromatique			Limite	0,006 à 0,018		0,01	0,05	0,1				
Hexachlorobenzène		0,5										
Chlorobenzène			mutagène	100 à 1000	foie	0,1	1	2				
Chlorophénol			réaction enzymatique									
Phénol						0,3	3	6	1	8	18	MS, reproduction
DDE (DDT)		500										
Lindane		0,1										
aHCH		0,02										
Insecticides autorisés						0,001	0,01	0,05	1	10	20	MS
Atrazine						0,01	0,1	0,3				

Légende : PS : poids sec PF : poids frais (40. Unitaire gram)

Annexe 2 : SEQ Eau V2

Dureté faible	TH ≤ 5 °F	CaCO ₃ ≤ 50 mg/l
Dureté moyenne	5 < TH ≤ 20 °F	50 < CaCO ₃ ≤ 200 mg/l
Dureté forte	TH > 20 °F	CaCO ₃ > 200 mg/l

<i>Classe d'aptitude</i>	→	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
<i>Indice d'aptitude</i>	→	80	60	40	20	

MICROPOLLUANTS MINÉRAUX SUR EAU BRUTE						
Arsenic (µg/l)		1	10	100	270	
Cadmium (µg/l)						
Dureté faible		0,001	0,01	0,1	0,37	
Dureté moyenne		0,004	0,04	0,37	1,3	
Dureté forte		0,009	0,09	0,85	3	
Chrome total (µg/l)						
Dureté faible		0,04	0,4	3,6	70	
Dureté moyenne		0,18	1,8	18	350	
Dureté forte		0,36	3,6	36	700	
Cuivre (µg/l)						
Dureté faible		0,017	0,17	1,7	2,5	
Dureté moyenne		0,1	1	10	15	
Dureté forte		0,27	2,7	27	40	
Cyanures libres (µg/l)		0,02	0,2	2	240	
Etain (µg/l)		1	10	100	55000	
Mercure (µg/l)		0,007	0,07	0,7	3	
Nickel (µg/l)						
Dureté faible		0,25	2,5	25	140	
Dureté moyenne		0,62	6,2	62	360	
Dureté forte		1,2	12	120	720	
Plomb (µg/l)						
Dureté faible		0,21	2,1	21	100	
Dureté moyenne		0,52	5,2	52	250	
Dureté forte		1	10	100	500	
Zinc (µg/l)						
Dureté faible		0,23	2,3	23	52	
Dureté moyenne		0,43	4,3	43	98	
Dureté forte		1,4	14	140	330	

Annexe 3

Echantillon		Poids pilulier vide	Poids avec échantillon humide	Poids avec échantillon sec	% eau	% tissus sec
1	S2N1	9,0424	11,8333	9,649	78%	22%
2	S2N4	9,0872	11,4381	9,6433	76%	24%
3	S2N6	9,0918	11,6252	9,6625	77%	23%
4	S2N8	9,0359	12,1495	9,7136	78%	22%
5	S2N15	9,0801	11,9875	9,76	77%	23%
MOYENNE					77,4%	22,6%
ECARTYPE					0,9%	0,9%

Annexe 4 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis

Ce test permet de comparer des échantillons indépendants (ici, les stations) afin de montrer s'il existe des différences significatives entre eux (p -value < 0,05).

Test de Kruskal-Wallis effectué pour l'analyse des métaux lourds dans les chairs

Métaux	K	df	p-value
PLOMB*	41,92	3	<0,001
ZINC	7,28	3	>0,05
ARSENIC*	32,03	3	<0,001
CADMIUM*	36,299	3	<0,001
CHROME*	15,161	3	<0,01
CUIVRE*	19,332	3	<0,001
ANTIMOINE*	33,773	3	<0,001
BARYUM	9,794	3	>0,05
ETAIN*	46,145	3	<0,001
BORE	9,741	3	>0,05

Test de Kruskal-Wallis effectué pour l'analyse des métaux lourds dans les viscères

Métaux	K	df	p-value
CADMIUM*	33,988	3	<0,001
PLOMB*	44,573	3	<0,001
BARYUM	6,617	3	>0,05
ARSENIC*	17,626	3	<0,001
ANTIMOINE*	39,559	3	<0,001
ETAIN*	10,664	3	<0,05
ZINC*	37,14	3	<0,001
CUIVRE*	30,98	3	<0,001
CHROME*	22,26	3	<0,001
BORE	4,403	3	>0,05

- * Il existe au moins une différence significative entre les stations