Projet de reconquête des milieux aquatiques et amélioration de la qualité de l'eau

Etude approfondie des contaminations polymétalliques et aux HAP dans la zone SIAHVO, incidences et préconisations

Compte rendu de mission

Yohan VATAGEOT Serge JACQUEY

30 janvier 2014

Remerciements

Cette étude, conduite par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Haute Vallée de l'Ognon (SIAHVO) avec le partenariat de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse a été réalisée du 1° septembre 2012 au 31 août 2013 par :

Monsieur Yohan VATAGEOT, ingénieur, chargé de mission auprès du SIAHVO,

Monsieur Serge JACQUEY, universitaire, membre de la commission « qualité de l'eau » du SIAHVO

Ont apporté leur concours :

- M. Raoul JUIF, président du SIAHVO.
- M. Daniel NOURRY, vice-président du SIAHVO, responsable « qualité de l'eau ».
- M. Philippe MATHIEU, technicien rivière au SIAHVO
- L'entreprise « Véolia », agence de Lure (M. Thomas GEHANT)
- L'entreprise SWEDSPAN (Mme Magali COLNEY)

Soutien technique et scientifique :

- Le Samu de l'Environnement Alsace
  avec, en particulier, les concours de :
  M. Fariboz LIVARDJANI, écotoxicologue, société AD Scientifique
  M. Simon SCHALK, gestionnaire de la cellule eau
  M. Robert ERB, président du SDE
- l'AGENCE DE l'EAU Franche-Comté
  M. Sébastien CANAULT
  Mme Sophie GAVOILLE
  Mme Valérie PAUL
- La DREAL
  Mme Malika LACHAMBRE

Ce projet a été financé par l'agence de l'eau Rhône, Méditerranée et Corse, par l'entreprise SWEDPAN et le SIAHVO.

Préface de Monsieur Daniel NOURRY, vice président, en charge de la qualité de l'eau.

Rappelons que le SIAHVO a inscrit dans ses statuts, parmi ses missions, la lutte contre les pollutions des rivières dont il a la charge. Une commission « qualité de l'eau » a été créée afin d'animer ce secteur.
Après les études ordonnées en 2007 sur la qualité des eaux concernant les rivières placées dans le champ d'action du syndicat, puis en 2009 sur la qualité des poissons capturés dans les secteurs dits « douteux », il était nécessaire d'approfondir les résultats obtenus, en particulier pour les pollutions par les métaux. Il était également utile de mieux connaître l'impact des HAP. A partir de toutes les données connues, l'étude devait confirmer les zones polluées, rechercher d'éventuels nouveaux secteurs contaminés et préciser le genre, la densité et l'origine des pollutions. A partir des résultats obtenus, il sera proposé des solutions pour, au mieux éradiquer, au pire contenir les sources nocives. Il est aussi impératif, au-delà des travaux réalisés ou des mesures prises, de contrôler régulièrement l'évolution des pollutions par des prélèvements et des analyses ciblés.
Dans un avenir proche, il faudra aussi prendre en compte les pollutions émergentes (organiques, biologiques…).
Ce travail n'est probablement pas exhaustif, bien qu'il repose sur une étude approfondie de toutes les données portées à la connaissance du public depuis une trentaine d'années, sur 150 analyses nouvelles sur sédiments et eaux et sur une interprétation minutieuse des résultats, avec une recherche systématique des origines, quelles soient naturelles, industrielles (historiques ou contemporaines) humaines (rejets des eaux usées, de produits polluants, dépôts sauvages divers…).
Cette étude permet maintenant d'expliquer avec précision les origines des pollutions de notre secteur. Elle évitera de désigner des boucs émissaires faciles. Nos pêcheurs peuvent manger le poisson pris, avec les précautions d'usage (varier son alimentation, éviter la consommation par les jeunes enfants et les femmes enceintes)

Ayant maintenant une base de connaissances remarquable pour les métaux et les HAP, le SIAHVO devra entretenir ses acquis par un suivi régulier des zones contaminées, proposer des solutions d'amélioration et travailler sur les autres pollutions. Le syndicat devra aussi rendre compte de ces travaux aux services concernés, afin de rechercher avec eux des solutions concrètes à l'enlèvement des polluants à chaque fois que possible. Il lui faudra aussi communiquer vers les communes adhérentes, en particulier celles où les pollutions sont importantes.

Comme M. Raoul JUIF, Président de SIAHVO, je remercie celles et ceux qui nous ont apporté leur soutien et leur compétence. Je remercie aussi toutes les personnes, qui nous ont ouvert leur propriété, qui nous ont apporté des témoignages du passé, en particulier industriel, qui nous ont permis d'accéder à des archives intéressantes.

Sommaire

LISTE DES FIGURES 5

1/ INTRODUCTION 7

PRESENTATION DU SIAHVO 7
PRESENTATION DU PROJET 8

2/ UN PREMIER ETAT DES LIEUX 10

LES METAUX LOURDS ET LES HAP DE LA ZONE SIAHVO 10
L'IMPACT DES POLLUANTS SUR LES POISSONS 12
LES DONNEES PIEZOMETRIQUES 13
LES SITES POLLUES REPERTORIES 15
LES RESSOURCES GEOLOGIQUES 16
LES ANALYSES RECENTES DE LA DCE 24
LES PREMIERES CONCLUSIONS 24

3/ LES PISTES A EXPLORER 26

CE QU'APPORTAIT L'ETUDE "EAUX CONTINENTALES" 26
LES SUBSTANCES PRIORITAIRE DU GROUPE 1 29
Le Mercure 30
Le Cadmium 35
Les HAP 37
LES SUBSTANCES PRIORITAIRES DU GROUPE 2 37
Le Plomb 37
Le Nickel 38
LES SUBSTANCES PERTINENTES 38
Le Zinc 38
Le Chrome 39
Le Cuivre 39
L'Arsenic 39
LE CAS DES DEPOTS SEDIMENTAIRES DEVANT LES SEUILS 39

4/ LES RESULTATS DE L'ETUDE 2013 41

L'ORIGINE LURONNE DU MERCURE 41
LE CADMIUM, LES SOURCES ANTHOPIQUES DE RONCHAMP 47
LES HAP, EMISSIONS PONCTUELLES ET DIFFUSES 61
Distribution dans les sédiments 61
Une origine pyrolytique 65
L'IMPACT DES ANCIENNES ACTIVITES 68
Le Plomb 68
Le Cuivre 71
Le Zinc 74
Le Nickel 79
Le Chrome 80
L'ARSENIC, UNE ORIGINE NATURELLE 81
L'ETAT DES DEPOTS SEDIMENTAIRES 83

5/ ACTIONS PRECONISEES 85

LA REGION DE LURE ET SA PARTIE AVAL 85
LA REGION DE RONCHAMP ET SES CONTAMINATIONS MULTIPLES 86
LA PROBLEMATIQUE GENERALE DES HAP 87

6/ CONCLUSIONS 88

ANNEXES 90

BIBLIOGRAPHIE 126

Liste des Figures

Fig. 1: Corrélations entre le plomb, le nickel et le cuivre en aval de Plancher-Bas 26
Fig. 2: Corrélations entre nickel et chrome en aval des Aynans 27
Fig. 3: Corrélations entre zinc, cuivre et cadmium en aval de Servance 27
Fig. 4: Corrélations entre zinc et cadmium en aval de Ronchamp de Plancher-Bas 28
Fig. 5: Stabilité des résultats d'analyse de 2001 et 2008 en aval de Ronchamp 28
Fig. 6: Répartition des indicateurs de pollution sur le linéaire du Rahin 29
Fig. 7: Distribution du mercure sur le linéaire de la Reigne 45
Fig. 8: Evolution du mercure, sédiments de la Reigne, pont du parc de l'Abbaye 46
Fig. 9: Cadmium dans l'eau au Val de Gouhenans, et débits Rahin à Plancher-Bas (2010) 57
Fig. 10: Evolution des teneurs en HAP en amont de Servance 64
Fig. 11: Evolution des teneurs en HAP au centre du village des Aynans 64
Fig. 12: Les 2 HAP déclassants en fonction du débit de l'Ognon 66
Fig. 13: Les corrélations entre HAP et épisodes neigeux 67
Fig. 14: Distribution du plomb, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81) 70
Fig. 15: Distribution du plomb, sédiments du Rahin 70
Fig. 16: Evolution du plomb dans les sédiments de la Reigne, pont du parc de l'Abbaye 70
Fig. 17: Répartition du cuivre, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81) 73
Fig. 18: Répartition du cuivre, sédiments du Rahin (SIAHVO 2013) 73
Fig. 19: Répartition du zinc, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81) 75
Fig. 20: Répartition du zinc, sédiments du Rahin (SIAHVO 2013) 75
Fig. 21: Teneurs moyennes en ETM dans l'eau, Ognon à Servance (2010-2013) 78
Fig. 22: Répartition de l'arsenic, sédiments du Rahin SIAHVO-Sigmines 82

Carte 1: La Haute Vallée de l'Ognon 7
Carte 2: Etat des contaminations aux métaux lourds (données antérieures à la DCE) 10
Carte 3: Etat des contaminations aux HAP (avant et après DCE) 11
Carte 4: Impact des métaux lourds sur la qualité des poissons, situation 2009 12
Carte 5: Les principaux métaux lourds dans les eaux souterraines 14
Carte 6: Répartition du cadmium (base de données Sigmines 78-81) 19
Carte 7: Répartition du zinc (base de données Sigmines 78-81) 20
Carte 8: Répartition du plomb (base de données Sigmines 78-81) 21
Carte 9: Répartition du cuivre (base de données Sigmines 78-81) 22
Carte 10: Répartition de l'arsenic (base de données Sigmines 78-81) 23
Carte 11: Compilation des données antérieures sur le mercure 30
Carte 12: Sources possibles de pollution au cadmium et au zinc dans le secteur Ronchamp .. 36
Carte 13: Dépôts sédimentaires à analyser 40
Carte 14: Distribution du mercure dans les sédiments (SIAHVO 2013) 41
Carte 15: Distribution du mercure dans le réseau d'assainissement (Veolia 2013) 43
Carte 16: Répartition du mercure dans les sédiments de la Reigne (SIAHVO 2013) 44
Carte 17: Distribution du cadmium dans les sédiments (SIAHVO 2013) 47
Carte 18: Distribution du cadmium sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013) 48
Carte 19: Corrélation cadmium et zinc sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013) 49
Carte 20: Corrélation cadmium eau et sédiments Sigmines 50
Carte 21: Contaminations polymétalliques zone triage (SIAHVO 2013) 53
Carte 22: Les flux de cadmium (SIAHVO 2013 58
Carte 23: Le flux secondaire de cadmium et les anciennes mines 60
Carte 24: Distribution des HAP dans les sédiments (SIAHVO 2013) 61
Carte 25: Distribution du plomb dans les sédiments (SIAHVO 2013) 68
Carte 26: Distribution du plomb sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013) 69

Carte 27: Distribution du cuivre dans les sédiments (SIAHVO 2013) 71
Carte 28: Distribution du cuivre sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013) 72
Carte 29: Distribution du zinc dans les sédiments (SIAHVO 2013)..... 74
Carte 30: Distribution du Zinc dissous et corrélation avec les données Sigmines..... 76
Carte 31: Mines proches de Servance et anomalies cadmium du BRGM 77
Carte 32: Distribution du nickel dans les sédiments (SIAHVO 2013)..... 79
Carte 33: Distribution du chrome dans les sédiments (SIAHVO 2013) 80
Carte 34: Distribution de l'arsenic dans les sédiments (SIAHVO 2013) 81
Carte 35: Niveau de contamination des amas sédimentaires 83
Carte 36: Propositions de suivis réguliers du cadmium (Beuveroux et Rahin..... 87

Tableau 1: Les 2 HAP déclassants dans le Rahin et l'Ognon..... 24
Tableau 2: Les teneurs en métaux de la Reigne et ceux de l'usine à gaz de Senlis..... 32
Tableau 3: Utilisations principales du cadmium 35
Tableau 4: Les contaminations du secteur luron 42
Tableau 5: Teneurs en métaux lourds de la houille de Ronchamp, comparée à d'autres 46
Tableau 6: Teneurs en métaux lourds zone de triage et données moyennes de l'INRA 52
Tableau 7: Demi-vie des 16 HAP prioritaires (Ineris 2005) 62
Tableau 8: La législation en vigueur pour l'épandage des boues 86

Photo 1: L'usine à gaz de Lure (photo entre 1910 et 1915)..... 34
Photo 2: L'entrée de l'usine à gaz (après 1915) 34
Photo 3: Terril rouge, extrémité ouest avec ses ravinements 54
Photo 4: Vue du sommet du terril rouge, au fond à gauche coule le Beuveroux 55
Photo 5: Le Beuveroux coule entre les deux terrils noir et rouge 55
Photo 6: Probable Drainage Minier Acide au pied du terril noir 56
Photo 7: Probable drainage minier acide sortant de la galerie de l'Etançon 60
Photo 8: Les sédiments de la Baie de l'Usine à Magny-Vernois..... 84

1/ Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) a émis un doute quant au retour au bon état chimique de l'Ognon en 2015, essentiellement à cause des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques). D'après les études récentes en ce domaine, les niveaux élevés de certains contaminants, classés en tête des "substances prioritaires" de la directive européenne, laissent planer un risque sur les effets possibles au plan sanitaire. En effet, nombreux sont les pêcheurs qui consomment leur poisson, et si l'impact sur une population adulte peut-être relativisée, il n'en est pas forcément de même pour les très jeunes consommateurs et les femmes enceintes.

Cette étude est la continuité logique des 2 premières actions menées par le SIAHVO:

- étude de la qualité des eaux superficielles de la haute vallée de l'Ognon (menée en 2008 avec l'aide d'Eaux Continentales),
- étude des contaminations des poissons par les métaux lourds (menée en 2009 avec l'aide d'AD Scientifique).

Les conclusions qui en avaient été tirées soulevaient à l'évidence le rôle préoccupant de certains polluants, ce nouveau travail doit permettre de répondre à nombre d'interrogations qui avaient été alors soulevées, notamment celles qui concernent les métaux lourds et les HAP.

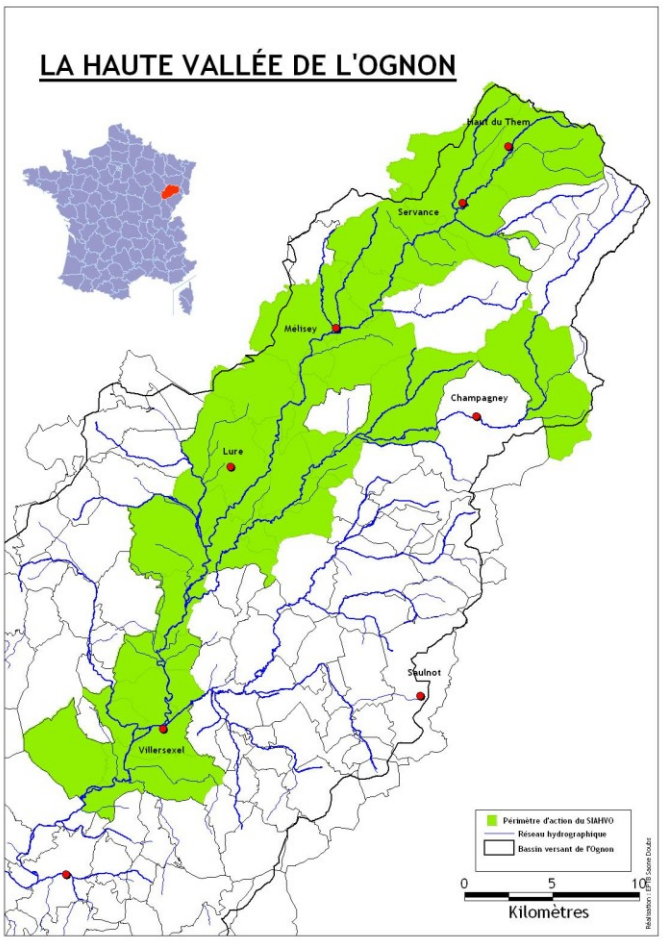
Présentation du SIAHVO

Le SIAHVO, Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Haute Vallée de l'Ognon, est une collectivité territoriale en charge du bassin versant de l'Ognon, de sa source à Pont sur l'Ognon. Il intervient sur une zone de 803 km^2 située au nord de la Haute-Saône qui côtoie le département des Vosges et le Territoire de Belfort.

Le syndicat regroupe 29 communes, soit environ 25 000 habitants. Ses compétences s'exercent sur les rivières Ognon (70 Km), Rahin (30 Km) et Reigne (10 Km).

Il a en charge de réaliser ou de faire réaliser des études et programmes de recherches (état des lieux, analyses, bilan, propositions), notamment sur :

- L'aménagement hydraulique,
- La géomorphologie, la dynamique alluviale,
- La lutte et la prévention contre les inondations,
- L'hydrobiologie et la physicochimie,
- Le suivi de la qualité des eaux souterraines et superficielles,
- Les zones humides (ex : inventaire, restauration),
- Les potentialités d'hydroélectricité,
- L'aspect piscicole et halieutique,
- Les loisirs, le patrimoine et le tourisme liés à l'eau.



Carte 1 : La Haute Vallée de l'Ognon

Présentation du projet

Les objectifs de ce projet sont guidés par l'orientation fondamentale N°5 du SDAGE : "*lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses».* Il s'inscrit dans la phase d'amélioration de l'état chimique des eaux superficielles de la zone gérée par le SIAHVO.

Il s'inscrit également dans le cadre du "**PLAN NATIONAL D'ACTION CONTRE LA POLLUTION DES MILIEUX AQUATIQUES PAR LES MICROPOLLUANTS 2010 - 2013 de la DCE"**

- Il s'intègre particulièrement dans l'axe 2: ***Améliorer la connaissance de l'état des masses d'eau, dans le cadre du schéma national des données sur l'eau***.
- Il devra déboucher sur des propositions concrètes parfaitement identifiées dans l'axe 3: ***Améliorer les connaissances scientifiques et techniques pour identifier les marges de progrès et hiérarchiser l'action des pouvoirs publics.***

Le lecteur trouvera en annexe 1 toutes les informations sur les démarches actuellement préconisées pour connaître un milieu ainsi que les paramètres caractérisant son bon état (au sens de la DCE).

Le bon état chimique d'une eau est basé sur l'appréciation de sa qualité qui dépend des concentrations en polluants, incluant notamment les substances prioritaires. L'état chimique comporte deux classes: bon et mauvais (appelé parfois médiocre). Le bon état est atteint lorsque les concentrations en polluants ne dépassent pas certaines valeurs appelées "**normes de qualité environnementale**", chaque paramètre étant comparé aux NQE/CMA (concentrations maximales autorisées) et il suffit d'un seul paramètre pour déclasser la masse d'eau (annexe 8 de l'arrêté du 25 janvier 2010 et arrêté modificatif du 28 juillet 2011).

Notre étude vise à connaitre avec précision l'état chimique des rivières de la zone SIAHVO, avec en ligne de mire, les polluants déjà mis en évidence lors des 2 études précédentes: le mercure principalement dans la Reigne, le cadmium dans le Rahin et les HAP en général dont certains pics sont apparus corrélativement à ces micropolluants métalliques.

Le projet se déroule en deux étapes :

1- **Inventaire exhaustif et hiérarchisé des contaminations par les substances dangereuses, et localisation de leurs origines**.

Beaucoup d'informations sont déjà disponibles, elles viennent de nombreuses sources, certaines anciennes comme la base de données Sigmines du BRGM, d'autres relativement récentes comme les données du réseau de bassin RMC, les deux premières études pilotées par le SIAHVO (eaux et poissons), celles de la base de données ADES sur les piézomètres et celles de BASOL. Toutes ces grandeurs ont été corrélées pour obtenir une première cartographie relativement représentative des contaminations des eaux superficielles.

Dans sa phase opérationnelle, la recherche précise des origines des pollutions a été réalisée par approches successives. Une première série de prélèvements a été programmée dans le but de vérifier les différentes hypothèses concernant les sources polluantes qu'on pouvait logiquement proposer à partir des données déjà connues. Une seconde série (dans certains cas une troisième, voire d'autres études complémentaires) a permis de lever certaines ambiguïtés.

Tous ces prélèvements ont été faits selon la méthodologie préconisée dans de telles études, en particulier en croisant les informations qu'on peut obtenir des analyses sur matrices eau et sédiment.

2- Proposition de procédures et suppression/réduction des contaminations

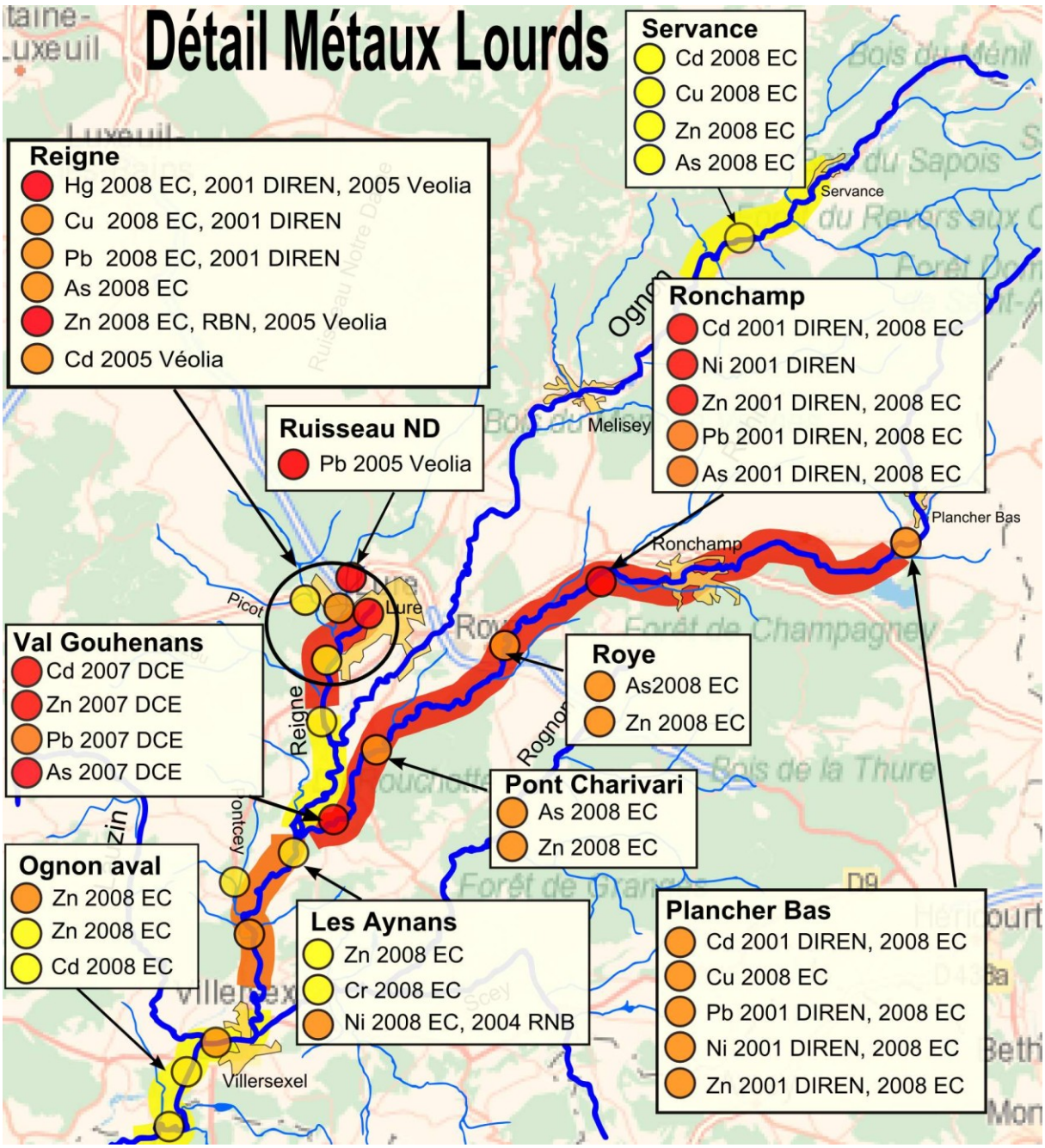
Beaucoup de méthodes ont déjà été testées pour la suppression (où la limitation de l'impact) des sources polluantes. Dans sa deuxième phase, ce projet doit donc servir à faire un travail de compilation de ces différentes approches, en proposant celles qui seront les mieux adaptées à chaque cas. La législation sur les pollutions des milieux aquatiques est souvent méconnue, cette étude servira également à en préciser les domaines d'application. Il existe ensuite de nombreuses possibilités de financement de ces actions, certaines sont peu connues comme celles concernant les pollutions orphelines. Enfin, les conclusions seront portées à la connaissance des élus et des services spécialisés dans ce domaine de compétence, et des propositions seront faites pour que l'ensemble de la communauté soit en mesure de décider des actions finales à mener.

2/ Un premier état des lieux

De nombreuses données sur les eaux superficielles de la haute vallée de l'Ognon sont déjà disponibles: celles provenant du réseau de mesures de l'Agence de l'Eau (certaines sont un peu antérieures à la mise en place du réseau opérationnel de la DCE), celles financées par Veolia en 2007, celles obtenues par le bureau d'étude Eaux Continentales en 2008.

Les métaux lourds et les HAP de la zone SIAHVO

Cette carte fait un bilan général des métaux lourds (substances prioritaires dangereuses, prioritaires et pertinentes) qui y apparaissent très régulièrement. Les couleurs caractéristiques des niveaux de pollution sont celles des classes de l'ancienne grille SEQ version 2, certaines données de la carte viennent d'analyses sur bryophytes (matrice moins utilisée aujourd'hui, on peut aller jusqu'à la classe rouge "pollution très forte") et d'autres sur sédiments (le mélange des 2 sources est ambigu puisqu'il n'y a que 2 seuils importants dans les sédiments, jaune et orange). Le lecteur trouvera les données numériques originales en fin de l'annexe 2, ainsi que l'explication des classes de qualité spécifiques aux sédiments.



Carte 2 : Etat des contaminations aux métaux lourds (données antérieures à la DCE)

On y remarque déjà 2 zones principales:

- le secteur luron, avec principalement le mercure et le plomb comme substances prioritaires dangereuses (le mercure est présent dans la Reigne dès la sortie du lac de la Font, nous le détaillerons dans le chapitre consacré aux pistes à explorer)

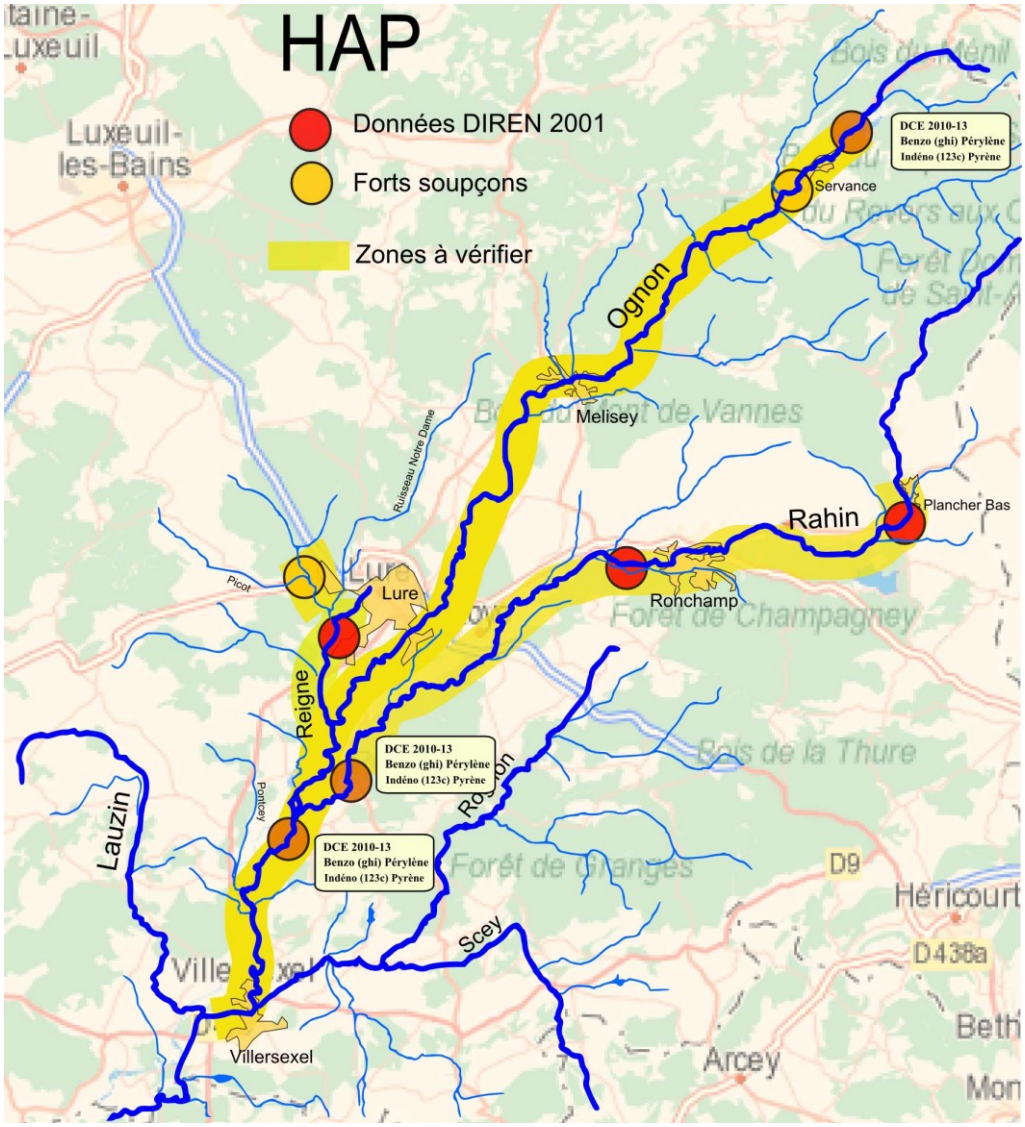
- le Rahin, de très mauvaise qualité dans son ensemble, avec un gros problème de cadmium dès la ville de Ronchamp. Plomb et zinc sont également présents à forte dose jusqu'à sa confluence avec l'Ognon.

L'Ognon amont laisse penser à un impact des entreprises de la zone de Servance, l'Ognon en aval de Villersexel montre une contamination métallique moyenne dans le prolongement de celles venant de l'amont proche.

Le zinc présent dans la Reigne à forte dose au pont de Magny-Vernois, ainsi que le plomb en aval du ruisseau Notre-Dame semblent avoir trouvé une solution, nous en reparlerons plus loin.

L'arsenic est très souvent présent dans ces résultats, les particularités du massif vosgien font qu'il s'agit probablement d'une pollution d'origine naturelle, comme l'indiquent les données du BRGM (voir ci-après).

Concernant les HAP, La carte suivante résume assez bien la situation actuelle.



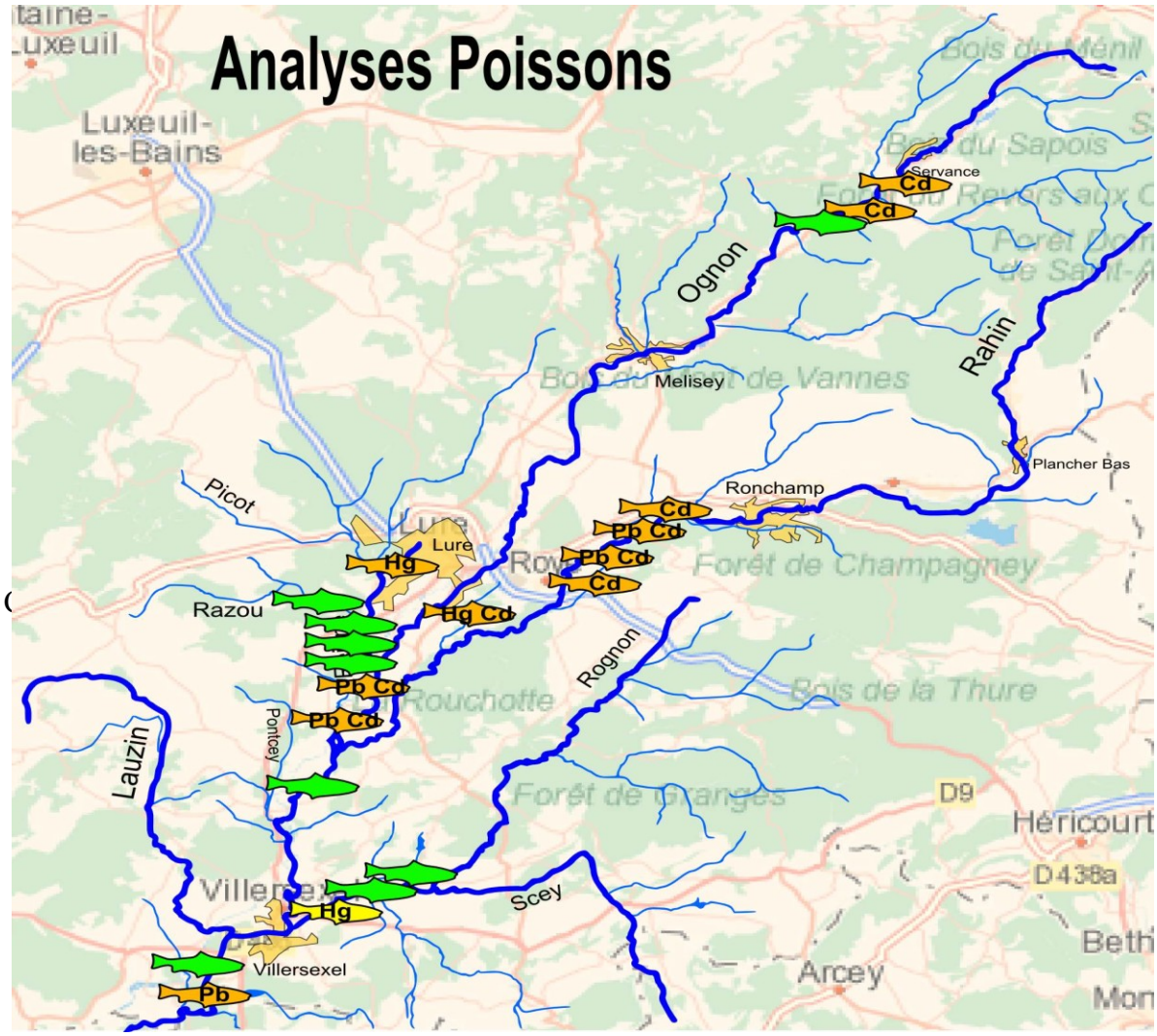
Carte 3 : Etat des contaminations aux HAP (avant et après DCE)

On y remarque quelques certitudes avec des valeurs relativement anciennes, et quelques soupçons puisque la zone a probablement été fortement impactée par l'industrie minière de Ronchamp (terrils, ancienne cokerie et usine thermique).

Nous disposons également de données résultant de l'étude de 2001, indiquant la présence de fortes doses de HAP sur bryophytes dans la Reigne (au pont de Magny-Vernois), et le Rahin en aval de Plancher-Bas et en aval de Ronchamp. Un état des lieux initial à partir de ces quelques informations est assez délicat à réaliser, nous préciserons notre démarche future dans le chapitre consacré aux pistes à explorer en priorité.

L'impact des polluants sur les poissons

Afin de mesurer l'impact de ces polluants des eaux superficielles, une étude sur la contamination des poissons (analyses par AD scientifique) a été entreprise en 2009 (données en annexe 3). Les résultats ont bien confirmé la présence de ces polluants dans la chair des poissons (truites, brochets, lottes), cette carte étant pratiquement superposable à celle des milieux.



Carte 4 : Impact des métaux lourds sur la qualité des poissons, situation 2009

Sur 21 poissons analysés, 10 dépassent les seuils du Règlement CE No 466/2001 de la commission du 8 mars 2001 portant sur la fixation de teneurs maximales pour certains

contaminants dans les denrées alimentaires (essentiellement le cadmium et le plomb), voir annexe 4. Il faut souligner que parfois les doses hebdomadaires (ou journalières) tolérables sont relativement faibles pour de jeunes consommateurs, rendant préoccupante la présence de méthylmercure dans certains carnassiers. Rappelons que les HAP n'ont pas été dosés, et les PCB font l'objet d'une étude nationale, sans objet dans ce travail.

Les poissons les plus contaminés sont bien situés dans les zones où les pollutions sont les plus marquées (en aval de Lure par le mercure et de La Côte pour le cadmium, rappelons qu'aucun poisson n'avait été pêché en amont de La Côte, ce manque de données est peut-être à compléter). Sur 25 poissons pêchés, 2 brochets (secteur Lure) et une lotte (secteur Saint Hyppolite) ont des taux préoccupants en méthylmercure. Tous les poissons du Rahin dans le secteur "La Côte" présentent des taux de cadmium qui dépassent les seuils préconisés par la règlementation européenne d'un facteur 4 ou 5.

Le laboratoire AD Scientifique a donc logiquement émis quelques préconisations sur la consommation des carnassiers de la Reigne et de son secteur (aval Lure jusque dans l'Ognon et le bas du Rahin): "*en attendant une étude plus détaillée (statistiquement valable), il serait souhaitable de limiter la consommation du poisson pour certaine catégorie de consommateur. En effet, pour ne pas atteindre la dose tolérable de méthylmercure recommandée par l'OMS, la consommation hebdomadaire de poisson issu de la pêche à ce niveau de Lure ne doit pas être supérieure à 50 g pour un enfant de 13 kg, 135 g pour un enfant de 36 kg et de 225 g pour un individu de 60 kg*", cette consommation étant également déconseillée aux femmes enceintes et allaitantes.

Soulignons que le cadmium n'avait pas été particulièrement pointé comme préoccupant, aucun consommateur ne pouvant dépasser la dose tolérable admissible, selon AD Scientifique. C'est exact en utilisant les normes de 1994 (1 µg/kg/jour), mais ces normes ont été revues à la baisse en 2009 par l'EFSA, Autorité européenne de sécurité des aliments (2,5 µg/kg/semaine, correspondant à 0,36 µg/kg/jour) pour tenir compte d'effets mesurés sur le cadmium urinaire. Un projet de l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) prévoyait même une réduction à 0,1 µg/kg/jour comme valeur de seuil pour la contamination par ingestion.
En reprenant les données sur nos poissons, cette fois le cadmium amène à parfois dépasser la Dose Hebdomadaire Tolérable. Il faut cependant relativiser ces données qui ne sont que des préconisations logiques, nous rappelons, en fin de l'annexe 4, comment les replacer dans un contexte de consommation de produits alimentaires variés. Ces chiffres sont quand même une incitation sérieuse à trouver une solution durable aux pollutions très marquées qui affectent certains secteurs du SIAHVO.

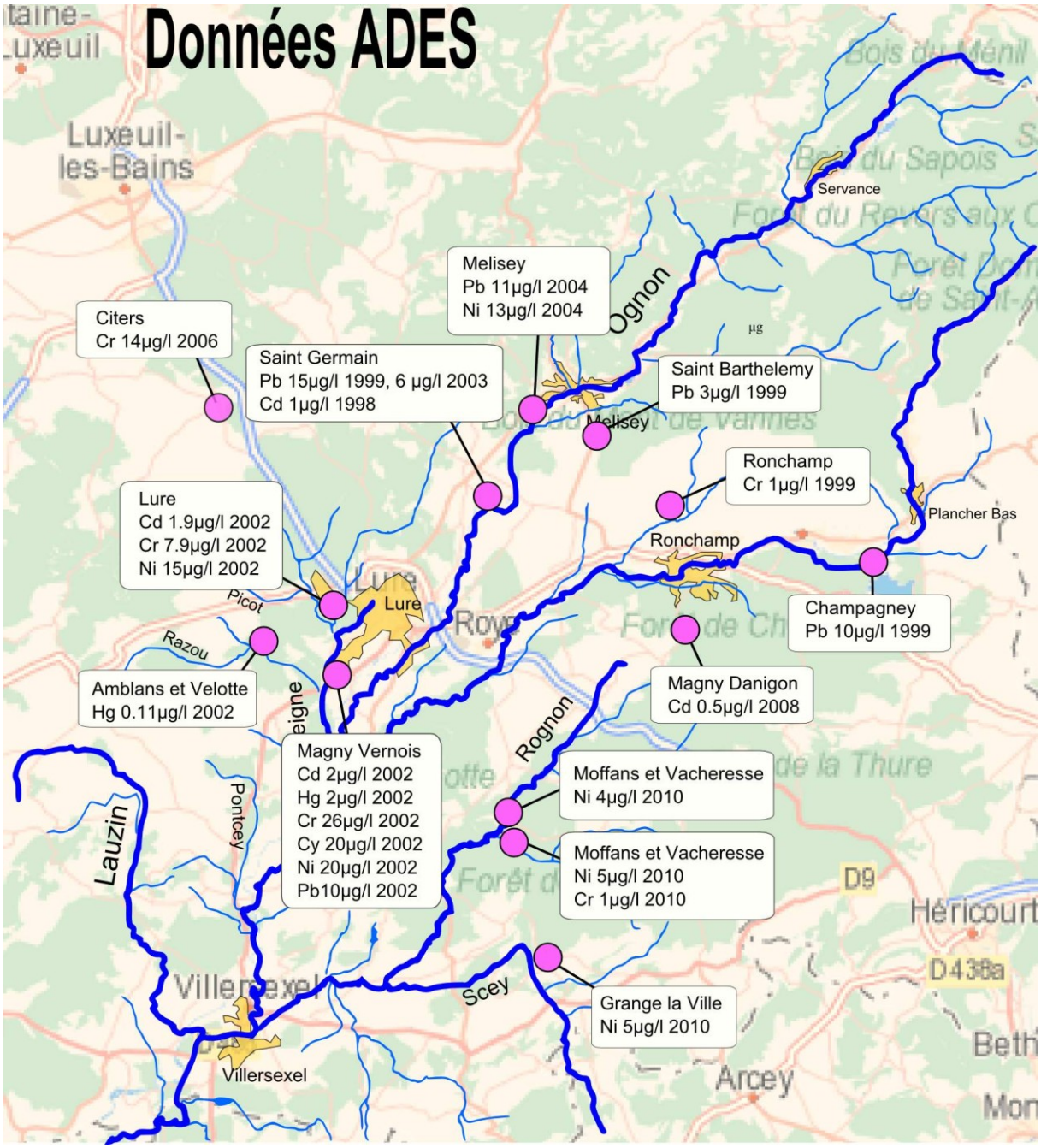
Les données piézométriques

ADES est la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui rassemble sur un site internet public www.ades.eaufrance.fr des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines, voici les données pertinentes pour notre zone d'étude.

Les objectifs de cette banque d'informations sont :

- de constituer un outil de collecte et de conservation des données sur les eaux souterraines,
- d'être mobilisable par un large ensemble de partenaires,
- de permettre les traitements nécessaires à l'action de chacun des partenaires,
- d'être le guichet d'accès aux informations sur les eaux souterraines,

- d'avoir un suivi de l'état patrimonial des ressources pour répondre à la politique des eaux souterraines
- d'adopter au niveau national un principe de transparence et d'accessibilité aux données sur les eaux souterraines.



Carte 5 : Les principaux métaux lourds dans les eaux souterraines

Les données sur les eaux souterraines de toutes les communes du bassin versant de l'ognon concerné ont été regroupées sur la figure précédente. Une remarque importante s'impose dans l'interprétation de ces relevés, certaines données sont fournies par l'ARS car elles concernent des piézomètres situés dans les zones de captage d'eau potable. Or, les seuils de qualité pour les eaux de consommations ne sont pas les mêmes que ceux des Niveaux de Qualité Environnementaux pour les eaux superficielles. Généralement elles se situent sous les valeurs NQE, ce qui semble logique, sauf pour certains polluants (comme le cadmium et le cuivre par exemple, voir annexe 2). Plusieurs caractéristiques permettent de l'expliquer, l'impact toxicologique n'est pas le même que celui sur la santé humaine, et les rivières sont de

formidables concentrateurs de polluants qui se retrouvent en fortes proportions dans les poissons, par bioamplification. Nous utiliserons donc ces données seulement comme indicateurs complémentaires des polluants recherchés.

Les résultats sont assez peu corrélables avec les contaminations des milieux aquatiques, cependant, on remarque que:
- le mercure apparaît dans un piézomètre à proximité de la Reigne
- la zone au sud de Ronchamp montre la présence de cadmium
- le point de Champagney proche du Rahin montre la présence de plomb

Les prélèvements sont généralement faits pour mesurer l'impact de certaines activités industrielles, il est ensuite difficile d'en tirer une conclusion générale pour un bassin versant.

Les sites pollués répertoriés

Plusieurs sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) sont répertoriés dans la base de données BASOL pour la zone concernée par notre étude, ils sont présentés ci-dessous :

Forécia (Lure) fiche Basol détaillée
Présence dans les sols: HAP, plomb, cuivre, BTex, hydrocarbures, solvants halogènés. Une pollution avérée de la nappe par le dichloroéthylène-1,2cis et/ou le trichloroéthylène est constatée dans 3 piézomètres ainsi que dans 2 puits. Une ESR. (Evaluation Simplifiée des Risques) classe le site en "site à surveiller". Il est possible que cuivre et plomb contribuent à la présence de métaux lourds dans la Reigne, la possibilité de cet impact est à étudier.

L'agence EDF (Lure) fiche Basol détaillée
Ce site était celui de l'ancienne usine à gaz de Lure, EDF/GDF en ayant fait l'acquisition. Basol indique que le site n'est pas spécialement préoccupant (classé en classe 4 du protocole). Il a été dépollué dans le sens où les anciennes cuves à goudron ont été enlevées et une partie des terres souillées ont été excavées (voir annexe Basol Lure). Cependant, l'étude que nous avons menée sur l'impact possible de l'ancien crassier ne nous semble pas aboutir à des conclusions aussi optimistes.
L'usine à gaz est antérieure à 1868. Vers les années 1930, l'usine à gaz s'était diversifiée, on y vendait des pains de glace, des appareils sanitaires, des agglomérés (sans doute réalisés à partir des crasses), des ardoises.

L'usine Maglum (Ronchamp) fiche Basol détaillée
La Maglum est citée dans Basol comme étant une usine spécialisée dans la fabrication de pièces destinées à l'industrie automobile. Elle s'implanta à Ronchamp en 1958, à la suite de la fermeture des houillères de Ronchamp dont elle occupa une partie des terrains. La fabrication portait essentiellement sur des pièces de tôle embouties (cendrier, poignées de porte, pot d'échappement, accoudoir, poignée de frein à main, etc..). L'effectif maximal fut de 1150 employés en 1969 et l'établissement fut mis en « dépôt de bilan » en 1980.
Une évaluation simplifiée des risques a été réalisée en 1999 sur le site et les analyses réalisées ont porté sur les polluants caractéristiques de l'activité de traitement de surface exercées par l'usine, à savoir : chrome, cuivre, cyanures, zinc, nickel, trichloroéthane, trichloroéthylène, indice phénol. Les prélèvements de sol effectués dans la zone de Ronchamp montrent principalement la présence importante de zinc et de trichloréthylène, les analyses réalisées sur les piézomètres ne mettent pas en évidence de contamination notable.

Cependant, les données disponibles concernant la composition des bains de traitement de surface ne mentionnant pas la présence de cadmium, aucune recherche spécifique de ce polluant n'a été effectuée.
La Maglum a aussi utilisé d'anciens bâtiments des houillères, situés hors de Ronchamp, mais aucune étude ou suivi particulier n'a été réalisé, bien que l'entreprise soit connue pour y avoir déposé de grosses quantités de déchets industriels.

Au vu de ces éléments, l'ESR a classé le site en classe 2 : site à surveiller. L'arrêté préfectoral du 10 février 2000 a donc prescrit une surveillance de la qualité des eaux souterraines au nouveau propriétaire du site (la SCI le Rahin). Cette surveillance n'est plus réalisée depuis juillet 2000, malgré plusieurs relances de l'inspection.

LISI Automobile (Melisey) fiche Basol détaillée
L'étude a conclu, en 2004, à la présence de polluants dans les sols (hydrocarbures, baryum, chrome, trichloroéthylène). En 2008, l'exploitant a terminé l'ensemble des travaux demandés et préconisés dans les études, et les surveillances réalisées en 2010 concluent à l'absence de pollution significative

Pyle Partners (Servance) fiche Basol détaillée
Le sol est pollué aux hydrocarbures, PCB, solvant Halogénés, et il est actuellement en cours de surveillance, voir la fiche Basol détaillée.

Les pollutions historiques des anciennes fonderies de Ronchamp
Dans le passé industriel de la ville, on retrouve la trace de 2 fonderies :

- la fonderie Moniotte, puis Laurent, actuellement scierie Cenci (fonderie de fonte malléable, bronze, cuivre et "acier coulé au creuset", fonte grise). Actuellement aucune pollution métallique des sols n'est connue.
- la fonderie Girardot, actuellement Sofogir (1ère implantation en 1858 / ancienne fonderie au plomb, puis métaux non-ferreux, pièces de robinetterie en bronze et laiton, et des articles en cuivre, fonte de fer, pièces en alliage d'aluminium). La présence de métaux dans les sols (zinc et sélénium principalement) est connue.

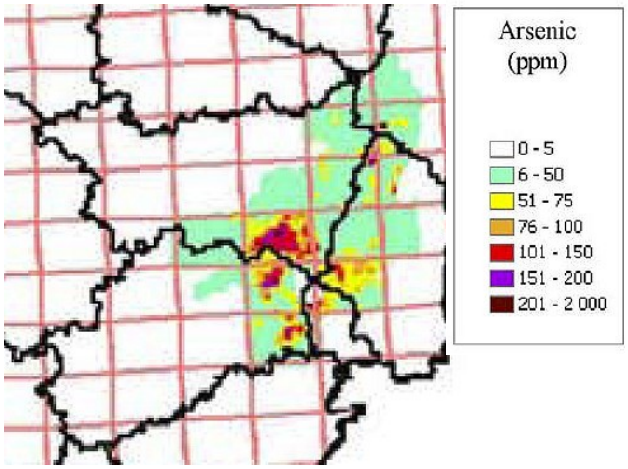
Rajoutons qu'une grosse partie des déchets de fonderie de l'une (ou les deux) de ces entreprises de métallurgie a été déposée pour former un remblai très important (hauteur de plus de 20 mètres), à proximité immédiate du Rahin en aval du restaurant « Chez manu et marie » à l'entrée ouest de Ronchamp. Ce remblai a été aujourd'hui recouvert de terre et forme une vaste zone de parking. Son impact devra être vérifié dans cette étude.

Les ressources géologiques

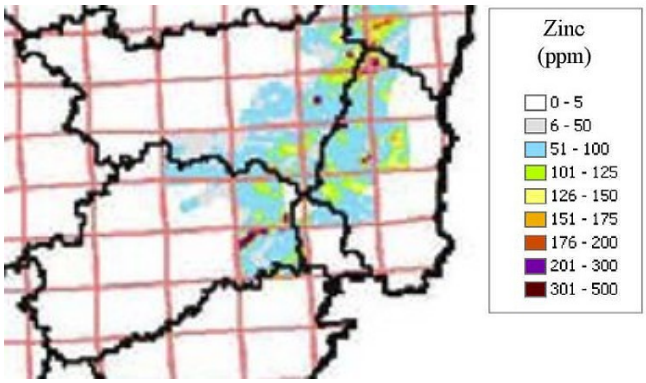
Il est essentiel de vérifier si les polluants ne sont pas d'origine naturelle. Pour cela, nous avons consulté les données du BRGM qui met à disposition les résultats de l'inventaire minier des années 70-80. Sur le secteur de la Haute-Saône, et précisément la zone SIAHVO, les échantillons de stream-sediment (sédiments fins prélevés dans le lit vif d'une rivière, filtrés à 125 µm) ont été analysés en multiéléments par la méthode « Plasma DCP ». Notons que les prélèvements réalisés sont du même type que ceux de ce projet, les échantillons sont pris sur la partie superficielle des sédiments, ce qui correspond aux dépôts fins de matières en suspension dans lesquelles s'adsorbent prioritairement les métaux lourds. Ces informations sont regroupées dans un document dénommé "Les données géochimiques et alluvionnaires de l'Inventaire minier du territoire national Constitution d'une base de données exhaustive"

(Rapport final BRGM/RP-53546-FR janvier 2005) et consultables point par point sur la base Sigmines.
Comme elles correspondent à des prélèvements sédimentaires, elles intègrent non seulement les données géologiques naturelles identifiables dans les alluvions, mais elles doivent faire apparaître les zones polluées à moyenne échelle puisqu'elles sont le résultat d'un échantillonnage de l'ordre de 3 échantillons/km^2. Seul l'est du département, la partie vosgienne où les affleurements sont plus accessibles que dans la partie plus sédimentaire à l'ouest, a fait l'objet d'investigations. Il manque cependant une petite zone extrême où se situe précisément Plancher les Mines, village connu pour ses extractions minières dès le XV ième siècle. Les filons de plomb argentifère, avec la présence de blende (ZnS) et mispickel (arsenic et fer) pourraient être une des causes probables des fortes concentrations de ces métaux dans les sédiments du Rahin (une présence également forte dans les chevelus seraient l'indication d'une zone métallifère plus vaste, ici cela ne semble pas être le cas, le Rahin joue simplement le rôle de vecteur naturel de ces ETM venant de l'amont)

La distribution de l'Arsenic.

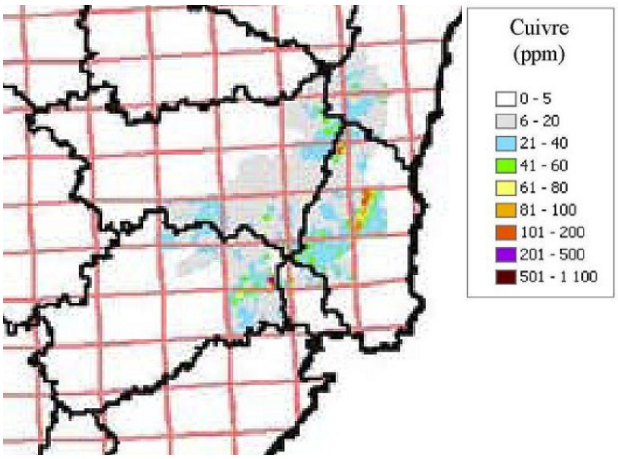


La carte ci-contre confirme que le massif vosgien, dans son ensemble, est relativement riche en arsenic, les analyses de l'Agence de l'Eau ou du SIAHVO l'avaient déjà bien mis en évidence. Deux zones semblent se singulariser dans l'est du département, il faut donc s'attendre à des concentrations locales parfois importantes dans nos futures analyses.
Voir en annexe 5, ce qu'on peut lire du rapport "Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines du bassin Rhône - Méditerranée et Corse" - Rapport de phase 1 de septembre 2005. Le lecteur intéressé y trouvera des cartographies complètes sur toute la zone européenne, et il apparaît bien que le massif vosgien fait partie des zones à fortes concentrations dans les eaux de surface (>1,5 µg/l) et les sédiments (> 10 mg/kg).



La distribution du Zinc

Cette carte va donner une double information puisqu'il n'existe pas de gisements spécifiques de cadmium, mais ce dernier est directement associé à la présence du zinc.
C'est quand même une surprise de constater une distribution relativement étalée sur l'Est du département, avec une concentration plus forte qui dessine quasiment la vallée du Rahin. On peut même y remarquer deux parties, un premier pic proche de la frontière du département, et surtout un filet bien net à partir d'un endroit qu'on pourrait situer au niveau des villes de Ronchamp et Champagney.

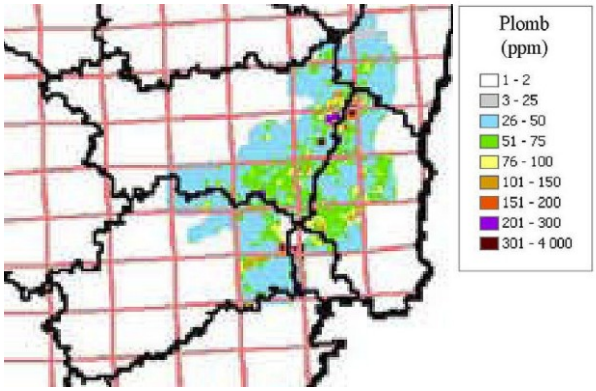


La distribution du Cuivre

Là encore, cette carte montre la présence avérée du cuivre sur l'ensemble des Vosges, avec un pic bien précis qui correspond au même pic de zinc en bordure

du département de Haute-Saône. Une source bien définie pourrait être une bonne candidate en tant que pollution anthropique, ou encore l'impact d'exploitations minières juste en amont de la zone (Plancher les Mines y serait un bon candidat).

La distribution du Plomb



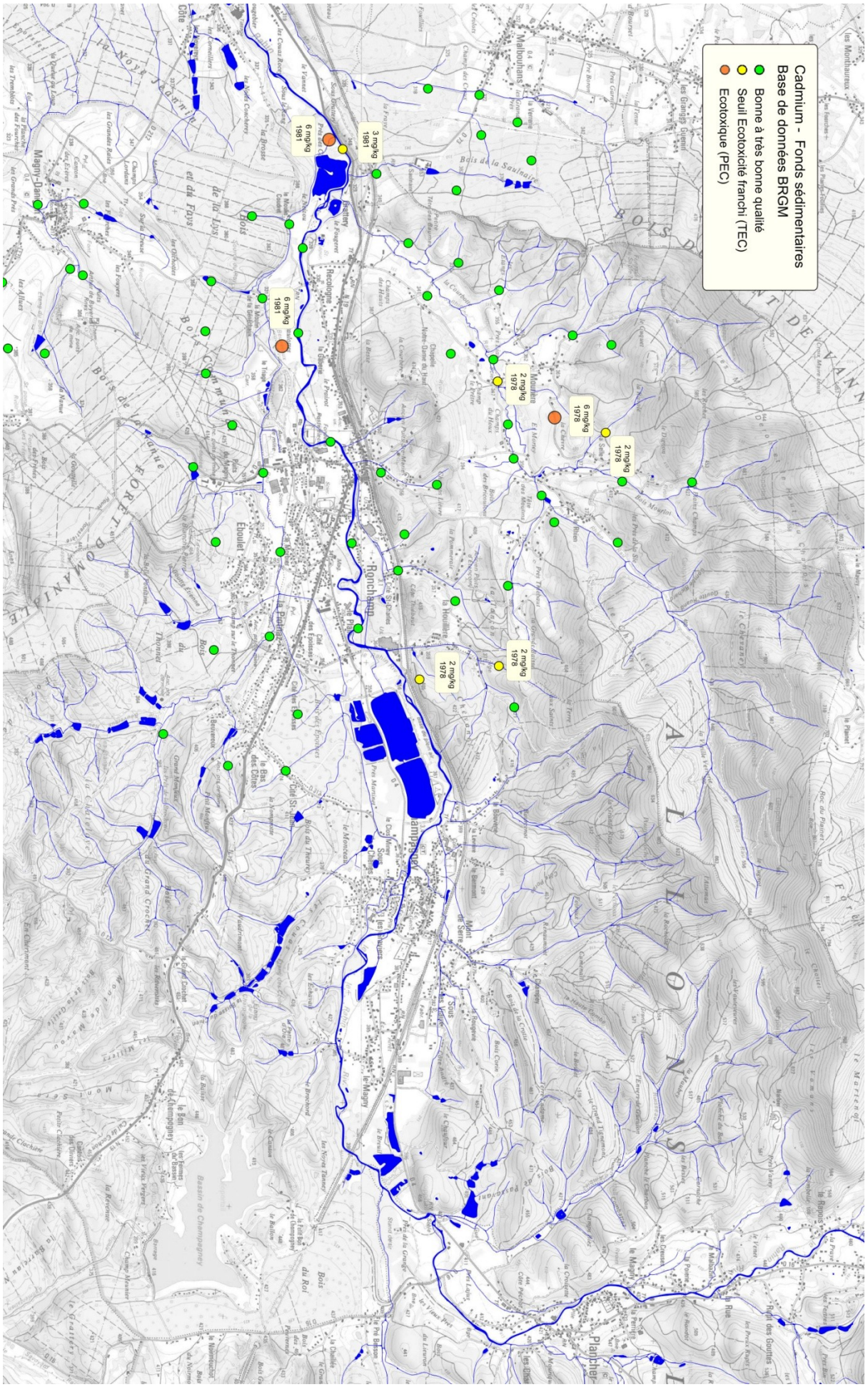
Cette carte ressemble beaucoup aux précédentes, le Rahin semble encore le vecteur naturel des déchets des exploitations minières de Plancher les Mines. Rappelons la présence de mispickel et galène dans le filon de l'ancienne gare de la commune. Il ne faudrait pas oublier que des fonderies étaient installées dans la zone, elles ont certainement contribué à la dispersion des métaux dans la vallée du Rahin.

Plus détaillées, les cartes suivantes montrent précisément comment le Rahin amont est impacté par ces métaux, on remarquera que parfois la rivière est le seul vecteur des polluants Toutes les données ont été exploitées et les points de prélèvement dans les chevelus ne contenant pas de traces de ces métaux n'ont souvent pas été reportés, on peut donc considérer qu'ils ne circulent parfois que dans le lit de la rivière et ne sont pas répartis sur d'éventuels secteurs diffus, c'est le cas du cuivre et du plomb. Par contre, cadmium, zinc et surtout arsenic présentent des distributions un peu différentes, avec de petits pics de concentrations dans le Rhien et le Beuveroux, le Rahin n'étant pas le vecteur principal de leur propagation. Dans l'étude générale précédente, il n'y a pas de carte spécifique de la distribution du cadmium, celui-ci étant présent à des doses relativement faibles. Il faut remarquer que sur l'ensemble des données de la Haute-Saône, 4 sites montrent des teneurs maximales en cadmium de 6 mg/kg de matière sèche, et 3 sont répartis dans la zone de Ronchamp mais hors Rahin. Les teneurs en cadmium et zinc sont bien corrélées dans ces endroits, mais une partie du zinc provient également de l'amont. L'arsenic montre bien une distribution indépendante du Rahin, avec une répartition forte dans le secteur de Mourière et au sud de Champagney, son origine naturelle ne semble pas pouvoir être remise en question.

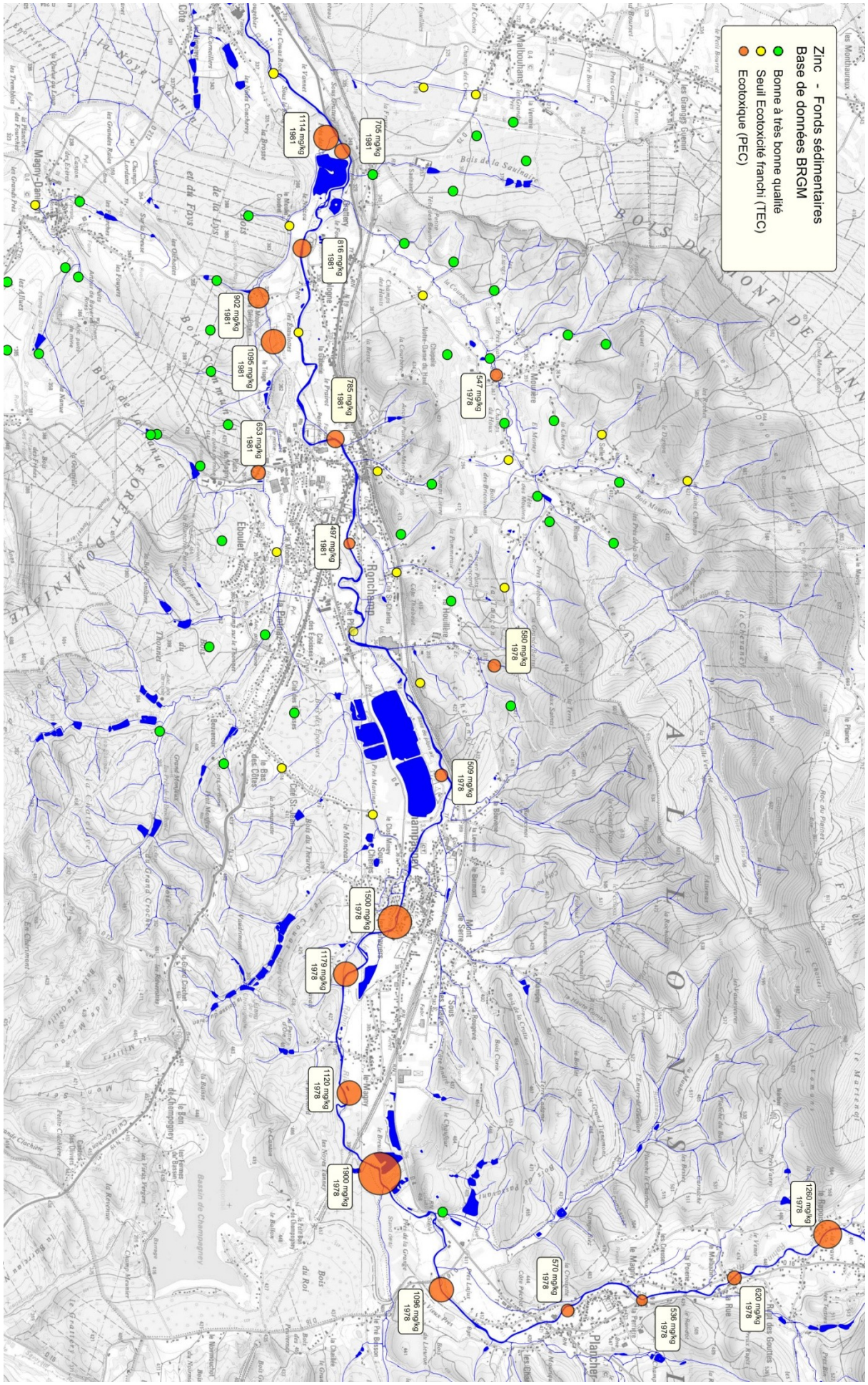
Le mercure est absent dans la zone. Les distributions du nickel et du chrome n'ont pas fait l'objet de cartographies spécifiques, mais le fond géochimique naturel est assez important dans la vallée du Rahin. A l'aval de Plancher les Mines, jusqu'à Champagney, les teneurs en métaux sont en moyenne le double de celles des sédiments des chevelus, avec toujours cette origine envisageable en amont du Rahin.

Une première conclusion à tirer de ces informations: il n'apparaît pas d'impact spécifique relatif à d'anciennes activités industrielles (le cas de Ronchamp pour ses entreprises de traitement de surface par exemple), mises à part celles possibles de Plancher les Mines.

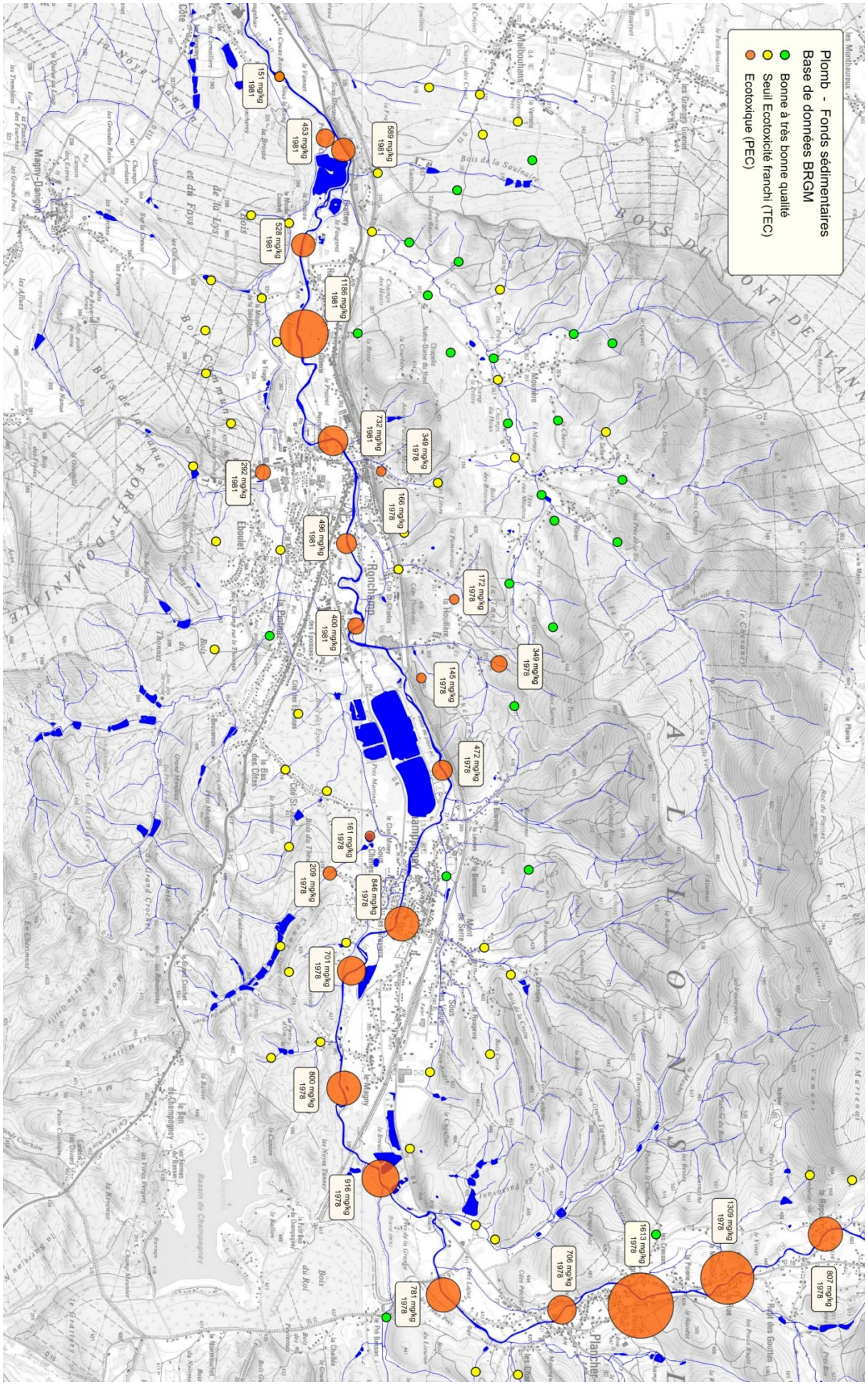
Les cercles (ou autres symboles) qui caractérisent les teneurs en polluants sont colorés selon les 3 classes habituelles (verte, jaune, orange, les légendes sont en haut de chaque carte). Dès qu'une concentration dépasse la classe orange, les cercles sont de tailles proportionnelles aux concentrations mesurées.



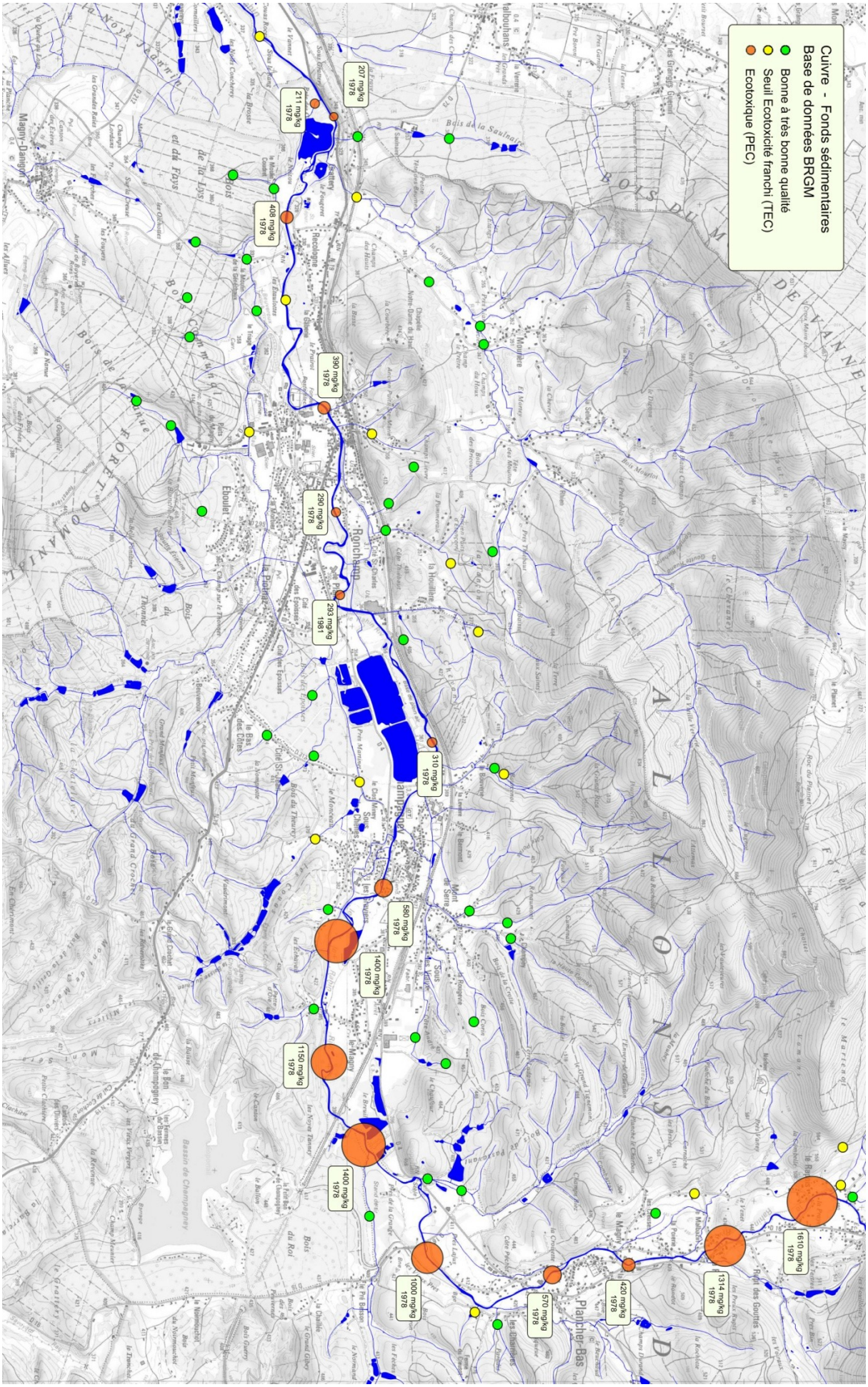
Carte 6 : Répartition du cadmium (base de données Sigmines 78-81)



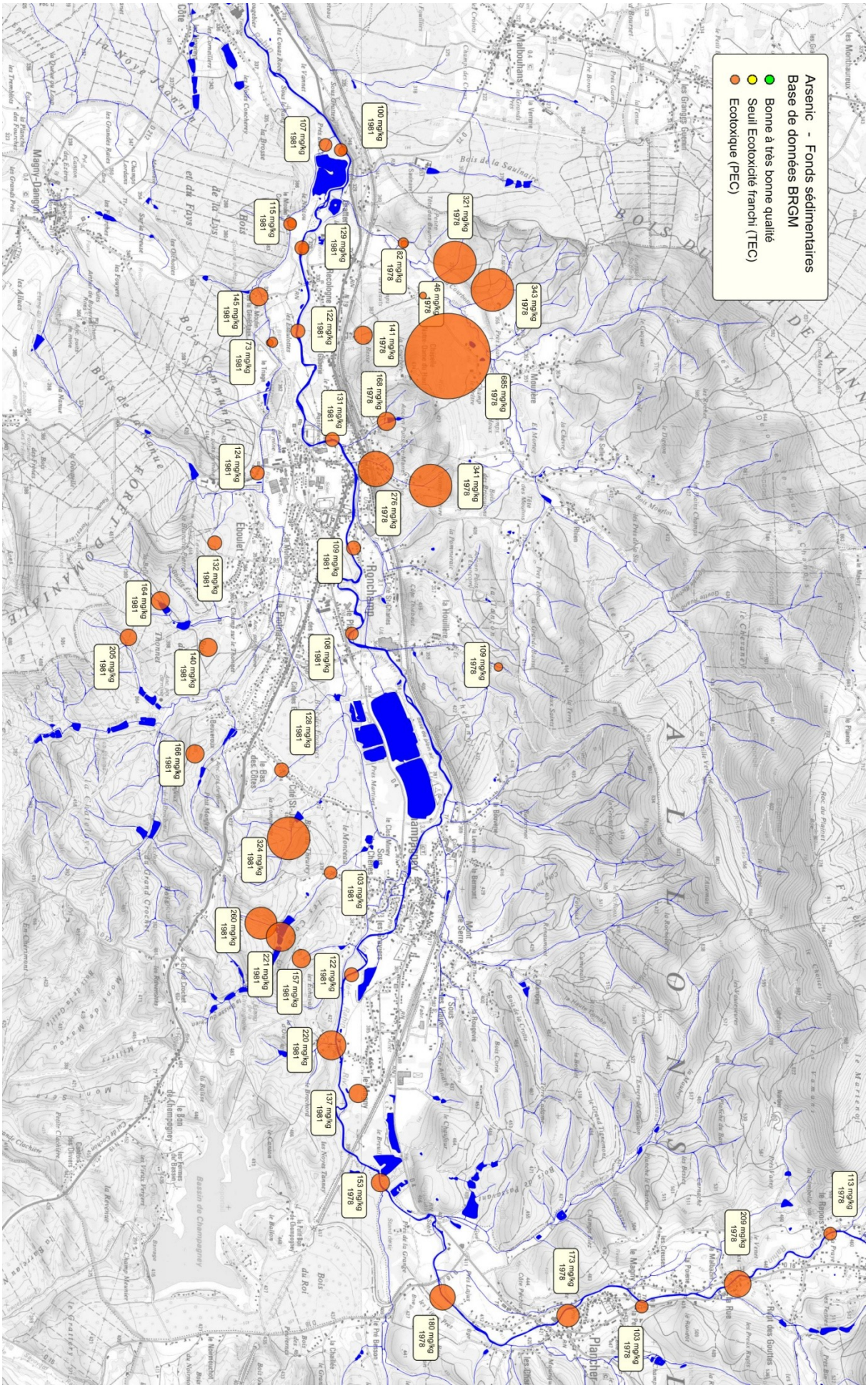
Carte 7 : Répartition du zinc (base de données Sigmines 78-81)



Carte 8 : Répartition du plomb (base de données Sigmines 78-81)



Carte 9 : Répartition du cuivre (base de données Sigmines 78-81)



Carte 10 : Répartition de l'arsenic (base de données Sigmines 78-81)

Les analyses récentes de la DCE

Dans le cadre de la DCE, 3 stations sont opérationnelles sur le secteur SIAHVO, une située sur l'Ognon amont dans la commune du Haut du Them, les deux autres sont assez proches l'une de l'autre, dans la partie la plus aval du Rahin au Val de Gouhenans, et dans l'Ognon aux Aynans juste après la confluence du Rahin. On y retrouve quasiment les mêmes polluants déclassants sur ces 3 stations:

- le zinc est présent sur toutes les stations, par moment à fortes doses.
- le cuivre est présent dans le Rahin aval et l'Ognon aux Aynans.
- deux HAP lourds sont déclassants une fois sur deux, le Benzo (ghi) Pérylène (substances dangereuses prioritaires dont l'objectif est la réduction de 50 % du flux des rejets à l'échéance 2015 par rapport à l'année de référence 2004) et l' Indéno (123c) Pyrène dont l'objectif est une réduction de 30% à la même échéance. Ces deux constituants proviennent essentiellement des combustibles fossiles.

On peut essayer de comparer ces deux derniers polluants sur les deux stations voisines l'une de l'autre afin d'en sortir des caractéristiques communes. La comparaison est uniquement pertinente si les dates de prélèvements sont très proches, voici ce qu'on observe:

	MPOLL/EAU	24/2/10	17/5/10	25/8/10	15/11/10	29/1/13	22/4/13
Rahin Val Gouhenans	*Benzo (ghi) Péryl. (µg/L)*	*0,0043*	*<0,0001*	*<0,0001*	*0,033*	*0,0022*	*<0,0001*
Rahin Val Gouhenans	Indéno (123c) Pyr. (µg/L)	0,0098	<0,0001	<0,0001	0,018	0,004	<0,0001

	MPOLL/EAU	24/2/10	26/5/10	25/8/10	23/11/10	29/1/13	22/4/13
Ognon Les Aynans	Benzo (ghi) Péryl. (µg/L)	0,0042	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0093	<0,0001
Ognon Les Aynans	Indéno (123c) Pyr. (µg/L)	0,0066	<0,0001	<0,0001	0,0062	0,016	<0,0001

Tableau 1: Les 2 HAP déclassants dans le Rahin et l'Ognon

A priori, les variations de ces deux substances sont assez différentes, donc les origines pourraient être également différentes. On peut penser que la Reigne en est aussi un vecteur important, ce qui mériterait d'être vérifié. On remarque cependant que les pics de pollution correspondent à des périodes de régime hydrologique élevé (automne ou hiver), mais il peut s'agir d'un artéfact dû au sous-échantillonnage flagrant dans ces prélèvements.

Les premières conclusions

De ces études antérieures, on peut conclure que l'Ognon et ses affluents sont bien contaminés par :

- les **métaux lourds**, dont les plus préoccupants sont le mercure (dès la ville de Lure) et le cadmium (dans la zone Ronchamp), le zinc pouvant avoir également un impact écotoxicologique important, le plomb et le nickel demandent à être étudiés de plus près pour en estimer les effets. Le cuivre est maintenant détecté dans l'eau, ce qui n'était pas le cas dans les analyses anciennes. L'arsenic, globalement présent sur l'ensemble du secteur, est

probablement d'origine naturelle, l'étude devra montrer si des corrélations sont éventuellement possibles avec d'anciennes activités industrielles. Remarquons que l'étude menée par "Eaux Continentales" en 2008 n'a pas mis en évidence de pollution caractérisée aux métaux lourds (mise à part une altération généralisée à l'arsenic, comme sur le reste des stations de l'étude) sur les 3 stations de l'Ognon amont, à Montessaux, Froideterre et Lure. Cette zone ne fera donc pas l'objet d'une étude complémentaire dans ce projet.

- les **HAP** (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), systématiquement pointés dans toutes les analyses récentes de la DCE, et sur les trois stations. Cette cause principale du doute émis au retour au bon état pour 2015 met en évidence une pollution qui pourrait toucher l'ensemble du secteur SIAHVO. Cette étude devrait permettre d'y voir plus clair.

Il faut encore préciser que les signes d'eutrophisation sont parfois localement bien marqués, avec des taux élevés **d'azote** et de **phosphore** responsables de développements d'algues et d'asphyxie des écosystèmes aquatiques (problématique plus aiguë en aval du secteur SIAHVO). Certains tronçons sont également très surchargés en **matières organiques** par le dysfonctionnement ou l'absence de certains systèmes d'assainissement.

A tout cela s'ajoutent des épisodes accidentels souvent mal gérés. Par exemple le 21 mars 2005 un dysfonctionnement de la station d'épuration de Lure entraine la mortalité de 70 à 80% des poissons de la pisciculture de Magny Vernois, ainsi que de nombreux poissons de la Reigne. Autre exemple plus récent, le 22 juillet 2010, une mortalité soudaine et très importante a été observée sur près de 7 km dans l'Ognon dès le village des Aynans, son origine n'a pas été déterminée.

3/ Les pistes à explorer

Ce qu'apportait l'étude "Eaux Continentales"

A partir des résultats des études antérieures, il est possible de faire émerger quelques pistes pour identifier les origines des pollutions. En effet la corrélation entre les concentrations de plusieurs polluants en différents points du cours d'eau peut apporter beaucoup d'informations (analyse des signatures chimiques). En fait, utilisée sur des variables souvent indépendantes, cette approche simple montre assez bien les couplages entre les données reliées entre elles.

Voici ce que donnent de telles représentations conjointes des concentrations sur bryophytes, mesurées lors de l'étude réalisée par Eaux Continentales en 2008.

Sur les graphiques ci-dessous, l'axe horizontal représente les numéros des stations (d'amont vers aval) et l'axe vertical représente une échelle normalisée. Les concentrations mesurées ont été divisées par la valeur qui engendre le passage à la couleur orange dans la grille d'évaluation SEQ, ceci permet d'avoir des ordres de grandeurs comparables dans les données, et de les situer immédiatement par rapport à ce seuil. Lorsque cette teneur normalisée est comprise entre 1 et 2, alors la classe de qualité est orange et devient rouge quand la teneur est supérieure à 2.

En aval de Plancher-Bas
Un pic corrélatif entre le plomb, le nickel et le cuivre a été observé en aval de Plancher-Bas. Ce serait évidemment un argument pour une origine anthropique, mais les fonds géochimiques de la zone sont si importants que notre étude devra s'efforcer de trancher.

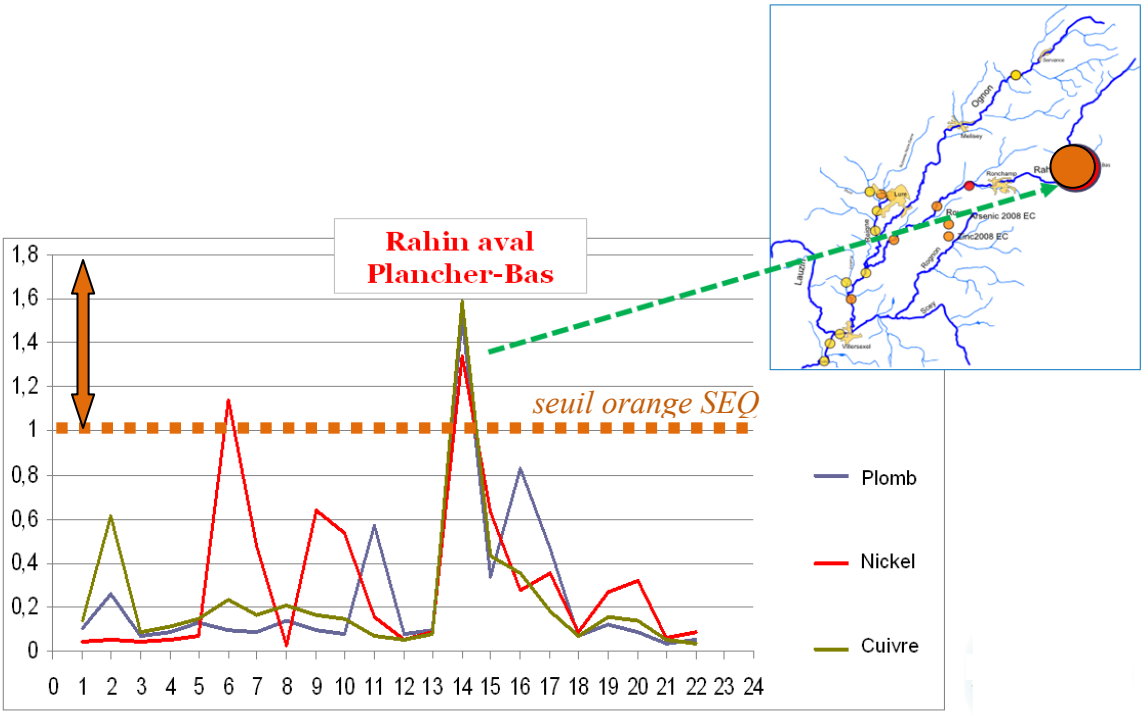


Fig. 1: Corrélations entre le plomb, le nickel et le cuivre en aval de Plancher-Bas

En aval des Aynans

Un (petit) pic corrélatif entre le nickel et le chrome a été observé en aval des Aynans. Les entreprises de traitement de surface sont probablement à l'origine de cette pollution. Malheureusement les prélèvements du BRGM ne couvrent pas cette zone, il est donc indispensable de la reprendre dans cette étude.

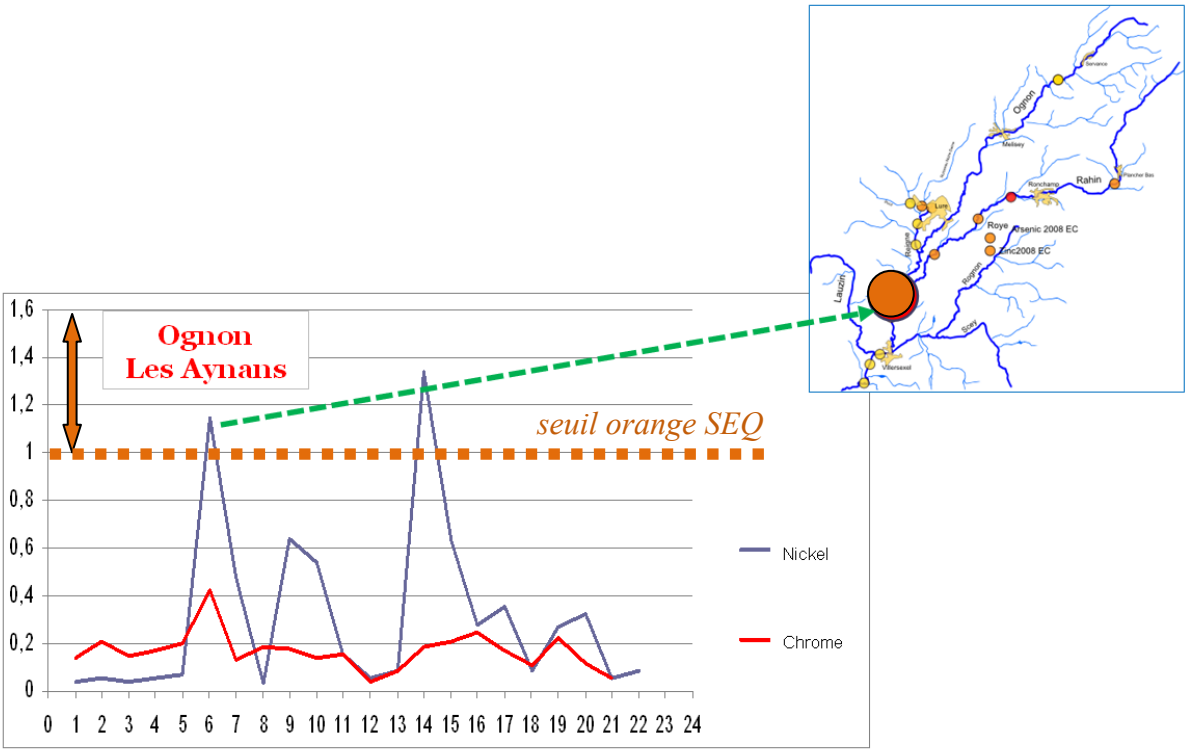


Fig. 2: Corrélations entre nickel et chrome en aval des Aynans

En aval de Servance

Les concentrations des divers métaux analysés ne sont pas alarmantes mais les pics corrélatifs entre divers métaux (plomb, zinc, mercure, cuivre et cadmium) montrent une faible pollution entre l'amont et l'aval de Servance. Après visite sur le terrain nous pouvons penser que cette pollution est probablement d'origine industrielle.

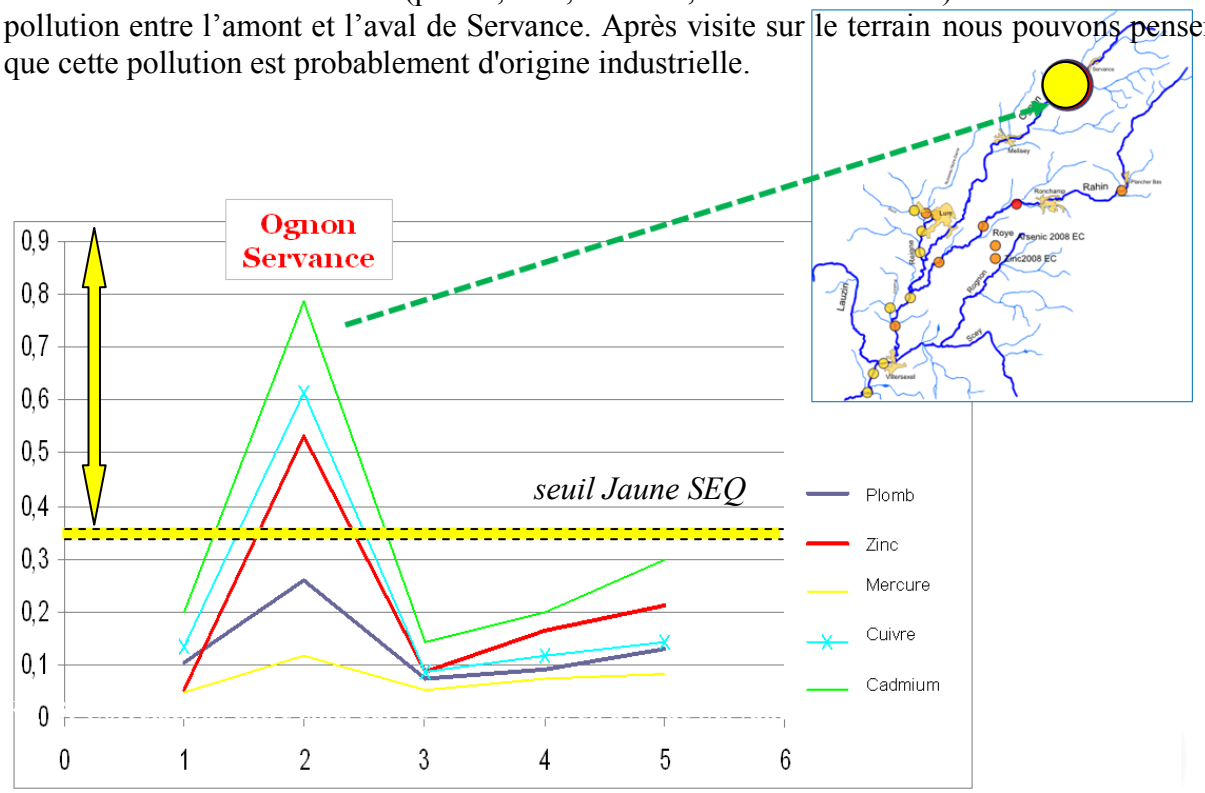


Fig. 3: Corrélations entre zinc, cuivre et cadmium en aval de Servance

Cas particulier de la pollution en aval de Ronchamp

Ronchamp est une petite ville d'environ 2900 habitants dont le paysage est très marqué par les industries minières, sidérurgiques et textiles. L'exploitation minière commença dès le milieu du XVIIIe siècle pour s'achever en 1958. Aujourd'hui, de cette activité il ne reste plus que quelques vestiges et plusieurs terrils dont le volume était encore estimé à 1 000 000 de tonnes en 2010. En plus de cette activité, la ville de Ronchamp a accueilli une entreprise de sous-traitance pour l'industrie automobile, deux fonderies, deux ateliers mécaniques et une filature (certains sites sont encore en activité aujourd'hui).

Le cas de Ronchamp est préoccupant car les contaminations par le cadmium et le zinc sont très élevées dans le Rahin comme le montre le graphique ci-dessous.

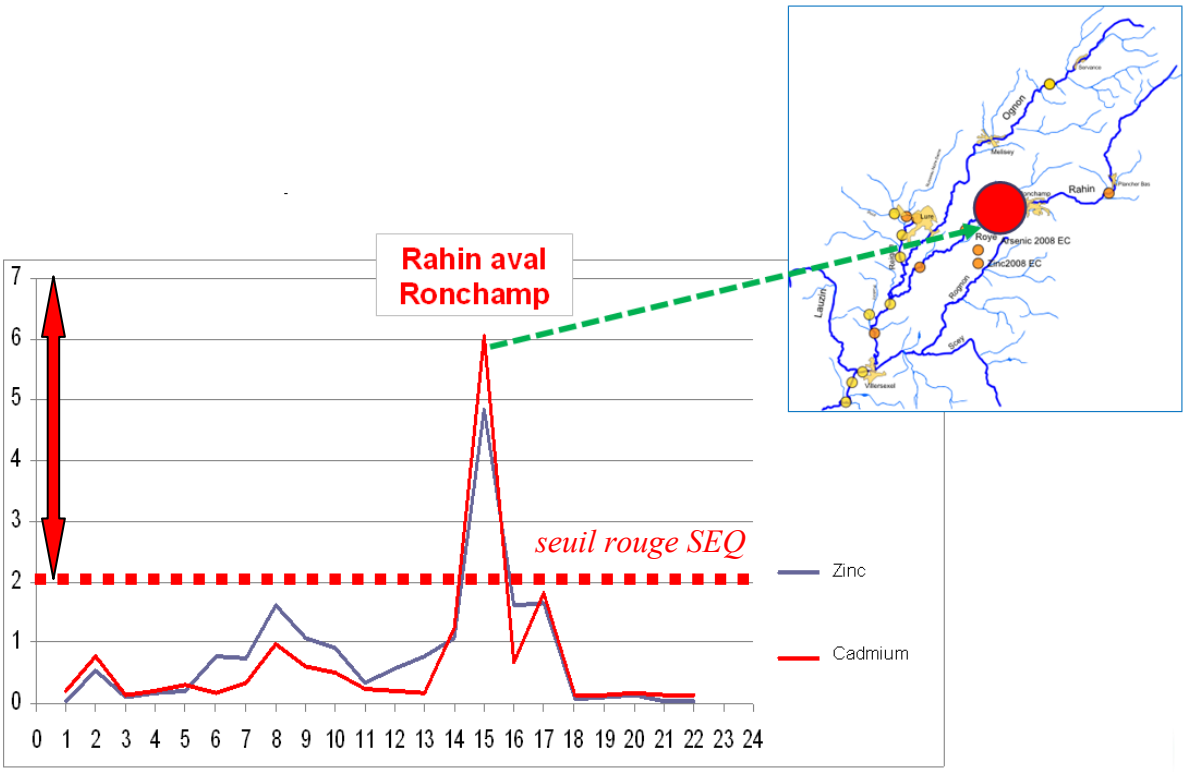


Fig. 4: Corrélations entre zinc et cadmium en aval de Ronchamp

En rajoutant les résultats de l'étude du Conseil Régional (analyses de 2001, bryophytes prélevés au même endroit), on constate une relative stabilité de cette pollution.

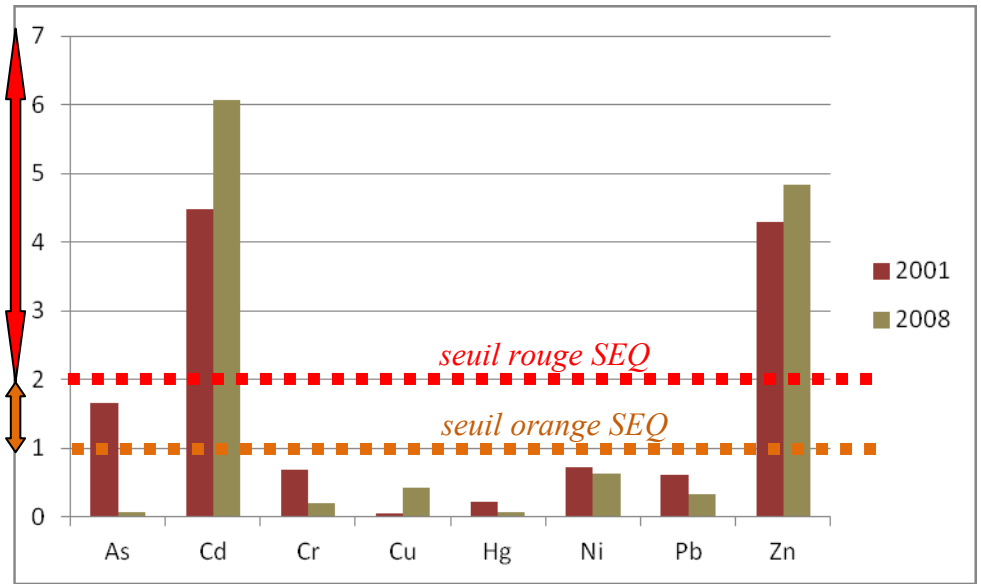


Fig. 5: Stabilité des résultats d'analyse de 2001 et 2008 en aval de Ronchamp

De cette comparaison à 7 ans d'intervalle, il y a donc tout lieu de penser que les sources de pollution au zinc et au cadmium perdurent actuellement, ce que doit vérifier cette nouvelle étude avec l'objectif d'en préciser l'origine.

Reportée sur un axe symbolisant le Rahin, de sa source à sa confluence avec l'Ognon, on montre bien que cette double pollution zinc/cadmium trouve son origine dans les 9 km délimités par l'aval de Plancher-Bas (Départementale D16) et l'aval de Ronchamp (lieu dit "Sous Grattery"). Il y a plusieurs origines anthropiques possibles pour cette pollution, l'ancien site de la Maglum, une décharge de déchets de fonderie en bordure du Rahin, et les anciennes fonderies de la commune. Ensuite, l'évidence n'est pas aussi flagrante pour le cadmium puisqu'il est noté dans les fonds géochimiques sédimentaires du BRGM (le Beuveroux, le Rhien et d'autres ruisseaux pourraient contenir les indices d'une origine naturelle) le plan d'échantillonnage devra être suffisamment riche pour cerner l'endroit d'où s'écoulent ces polluants.

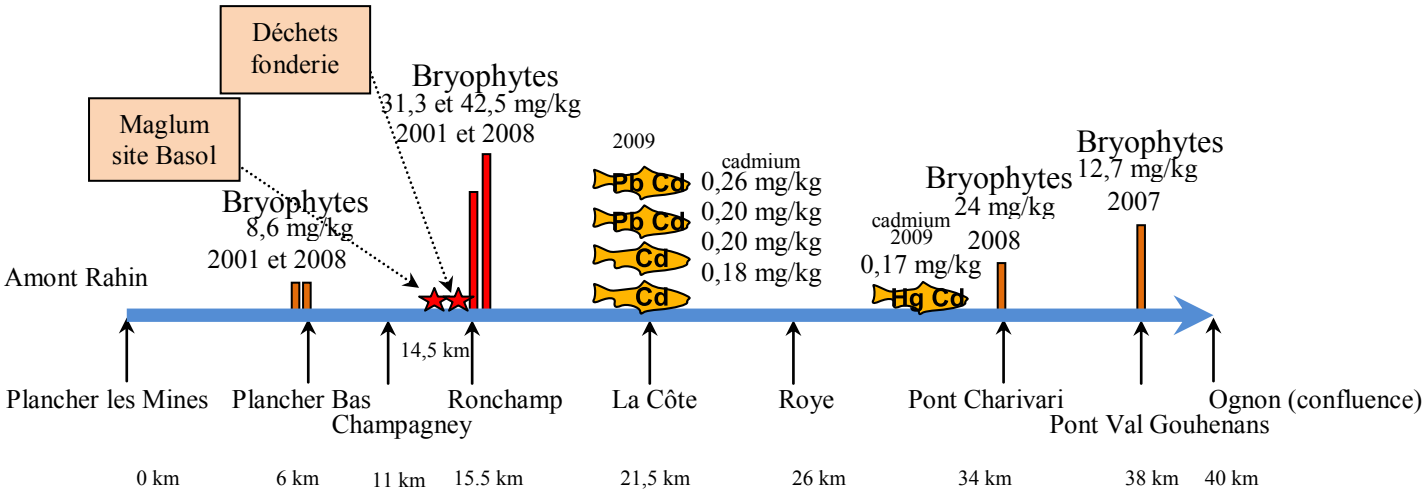


Fig. 6: Répartition des indicateurs de pollution sur le linéaire du Rahin

L'élaboration du plan d'échantillonnage

Rappelons qu'un composé chimique est classé comme contaminant s'il est présent dans l'environnement sans provoquer d'effets toxiques pour l'écosystème. Il devient un polluant dès qu'il est toxique pour le milieu où il se trouve. Ce point est essentiel, il montre que la présence des métaux lourds n'est pas nécessairement un danger immédiat, tout dépend de la forme chimique sous laquelle il est présent dans l'environnement, et si celle-ci peut se transformer pour devenir toxique et surtout biodisponible. Le lecteur trouvera en annexe 6 les différentes formes chimiques sous lesquelles les métaux lourds sont présents dans les systèmes aquatiques, dont celles solubles qui présentent un caractère écotoxique avéré.

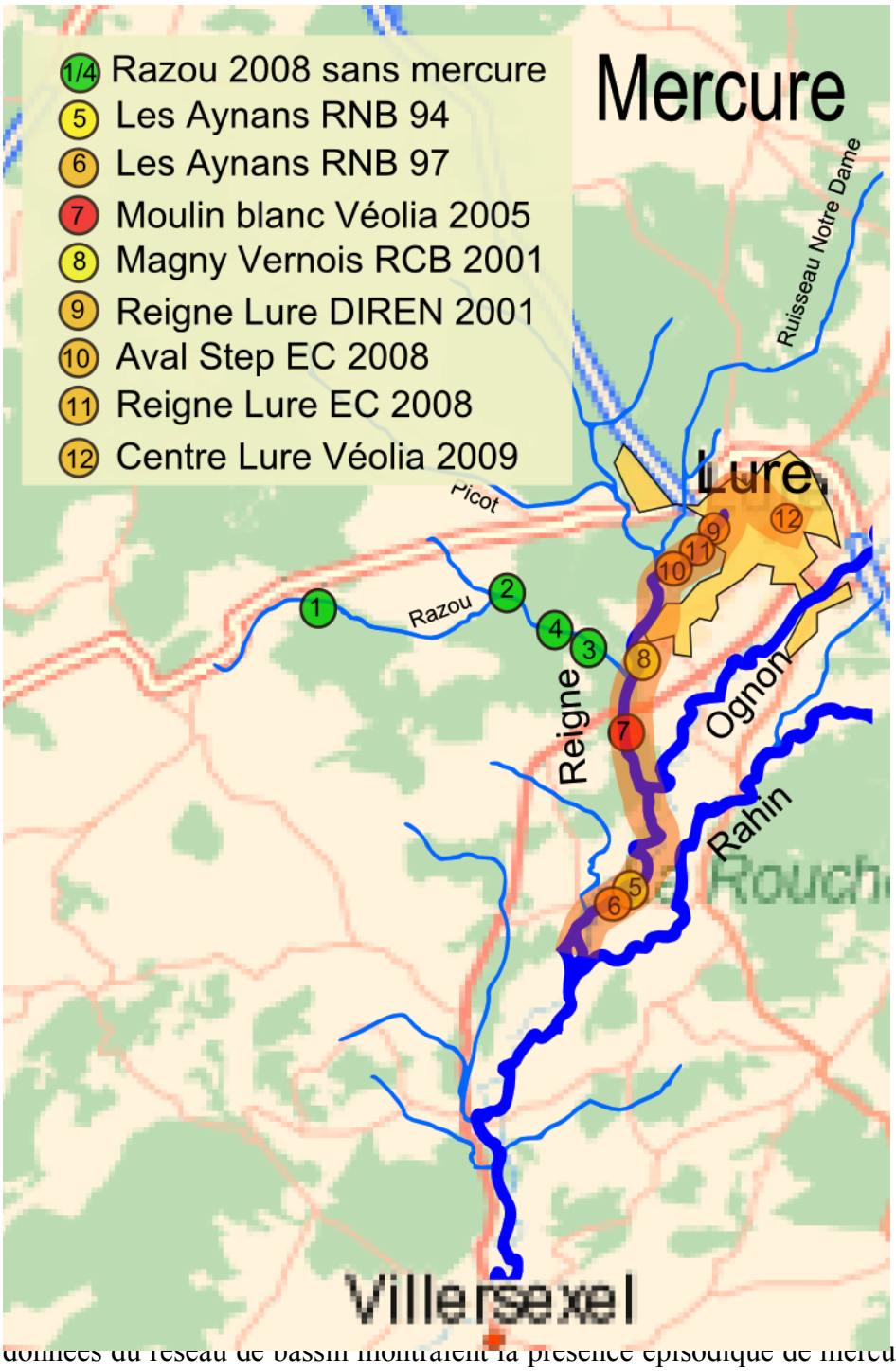
Les substances prioritaire du groupe 1

L'objectif de la DCE pour ces substances est une réduction de 50 % des flux par rapport à la situation de 2004

Le Mercure

Classé numéro un parmi les ETM à éradiquer de l'environnement, le mercure présente une spéciation relativement complexe dans les milieux aquatiques. De nombreuses études expliquent comment la méthylation du mercure, sous l'influence des bactéries méthanogènes, conduit à l'élaboration d'un poison particulièrement dangereux, le méthylmercure. Cette transformation est sournoise car elle conduit à la contamination spectaculaire des carnassiers par un mécanisme de bioamplification (facteur pouvant aller jusqu'à 10^7 entre la partie biodisponible dans l'eau et celle accumulée dans la chair des poissons).

Plus synthétique, la carte suivante regroupe l'ensemble des données concernant la présence de mercure dans la Reigne.



Quelques données du réseau de bassin montraient la présence épisodique de mercure dans les bryophy ate des

Carte 11: Compilation des données antérieures sur le mercure

analyses de 2005 (financement Véolia, pré-étude du SIAHVO), avec un pic important dans les bryophytes de la Reigne (en aval de Magny-Vernois, au lieu dit "Moulin-Blanc"). L'année suivante ce pic n'était pas détecté, nous pensons pouvoir l'expliquer aujourd'hui par la présence, en amont, de sédiments contaminés dans la "Baie de l'Usine" à Magny-Vernois, sédiments parfois remis en circulation dans la rivière. Nous avons alors procédé à une recherche systématique des données concernant le mercure dans cette zone. Une analyse des sédiments du Razou (affluent de la Reigne ayant sa confluence juste en amont du point de prélèvement des bryophytes de 2007) avait même été réalisée pour vérifier une possible origine venant d'une entreprise de traitement de surface de Genevreuille ou de l'ancienne décharge (réhabilitée) de Magny-Vernois, mais les teneurs en mercure étaient alors du niveau du bruit de fond.

C'est surtout l'analyse des sédiments de la Reigne (prélevés en 2001, en sortie du lac de la Font, juste en aval du trop plein du réseau d'assainissement luron) qui faisait clairement apparaître des niveaux importants dans ces boues (6,8 mg/kg de ms), mercure associé à de nombreux autres métaux lourds à fortes doses (Plomb, cuivre, zinc, etc). On en prévoyait le curage en prévision de l'aménagement du futur Parc de l'Abbaye. Lors de l'étude du SIAHVO de 2008 (bureau Eaux Continentales), la présence du mercure était avérée dans les sédiments de la zone qui va jusqu'à la Step de Lure. Ce mercure, probablement d'origine ancienne, a t-il pu engendrer du méthylmercure ? La question a naturellement été posée.

Ces données indiquent que la pollution provient de la ville de Lure, soit par le trop plein du réseau d'assainissement (l'origine serait alors dans la ville elle-même), soit par la résurgence de l'Ognon au lac de la Font (origine luronne par les anciennes canalisations qui s'y déversaient, origine plus éloignée venant de l'Ognon avant ses pertes à Froideterre).

Une étude complète a été menée sur le secteur, pour retrouver d'éventuelles industries ou entreprises utilisatrices de mercure. De toutes ces hypothèses, il en reste 2 principales:

- les anciennes tanneries de la ville qui constituaient la seule industrie luronne avant 1789 (4 tanneries avant la révolution française, puis la dernière après 1900 qui a donné son nom à la rue de la Tannerie). C'est principalement dans les sels de mercure, utilisés comme antifongique, antibactérien, qu'il faudrait éventuellement chercher l'origine de notre pollution (l'utilisation du nitrate de mercure dans le secrétage des poils s'est avérée comme une cause de maladies professionnelles particulièrement spectaculaires). Cette piste est quand même peu probable car le mercure utilisé dans ces entreprises est sous une forme relativement volatile, il ne pourrait en subsister que sous formes de composés insolubles (sulfures, séléniures, carbonates, etc.) dans les sédiments. De plus, la présence conjointe des autres métaux lourds ne pourrait être expliquée.

- l'ancienne usine à gaz de Lure. En effet, ces entreprises sont répertoriées comme sources très importantes de pollutions multiples aux métaux lourds, mais surtout aux HAP. Les HAP n'ont jamais étés recherchés lors de ces différentes études, seul un pic très important, et sans explication, avait été détecté sur bryophytes lors de la seule analyse réalisée en 2001 au Pont de Magny-Vernois, sur la Reigne. Une origine luronne est donc possible, un dosage de HAP est impératif, directement dans le secteur de la Font.

Il restera encore à vérifier quelques pistes épisodiques, comme la présence d'anciennes fonderies et une usine de fabrication de modèles réduits de voiture et soldats de plomb.

La possibilité d'utilisation de mercure pour la fabrication de poêles en fonte (dorure des portes par peinture à l'amalgame mercure-or et évaporation du mercure) a également été envisagée,

mais ces fabrications auraient pu être réalisées uniquement à "la Forge" à Magny-Vernois, excluant la piste luronne.

La piste de l'usine à gaz est certainement la plus probable, nous allons montrer les raisons qui plaident en sa faveur. Ces anciennes distilleries de la houille, au même titre que les cokeries, font partie d'un plan national de décontamination pris en charge par GDF qui en a repris la responsabilité. Nous avons particulièrement étudié quelques exemples de sites pollués exemplaires et semblables en taille à celui de Lure, comme par exemple l'ancienne usine à gaz de Beauvais citée dans Basol, et celle de Senlis. Pour ces deux, la présence simultanée d'arsenic, cadmium, cuivre, plomb, mercure et HAP en grandes quantités est validée.
Nous avons pu obtenir les concentrations de ces polluants dans le cas du terrain occupé par l'ancienne usine à gaz de Senlis (dans la couche 2 - 3 m de profondeur, cela a son importance car ce site voit actuellement migrer ses polluants dans la profondeur du sol), voici ces données comparées à celles des sédiments de la Reigne au niveau du pont de l'Abbaye en 2008:

	mg/kg	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Plomb	Nickel	Zinc	Mercure
Senlis	Sous crassier	36	1,4	37	140	270	17	1400	8,1
Reigne	Parc Abbaye	22,4	1,9	48	252	239	26,3	1070	3,32
Reigne	Amont Step	59,3	2	48,4	166	256	24	589	2,64

Tableau 2: Les teneurs en métaux de la Reigne et ceux de l'usine à gaz de Senlis

Les données des sédiments de la Reigne sont colorées selon les seuils des classes de qualité SEQ v2, celles de l'ancienne usine à gaz de Senlis correspondent à une analyse de sol sous le crassier (dans la tranche de profondeur 2-3 m où ont actuellement migré les polluants). Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques sont naturellement présents dans le sous-sol de Senlis, avec des teneurs impressionnantes de 34 gr/kg de MS pour la somme des 16 HAP.

En 2010, avait déjà été émise cette possibilité d'une pollution par l'usine à gaz de Lure, essentiellement pas son ancien crassier dont certains témoignages situent sa présence un peu éloignée de l'usine elle-même, durant la période 1920-1940. En 2009, le mercure a été dosé dans un regard des eaux de pluie placé à proximité, la mesure (3 mg/kg de ms) confirme la présence de ce métal à des teneurs comparables à celle des sédiments de la Reigne de 2008.

<u>Présentation du plan d'échantillonnage pour le mercure</u>

- L'essentiel des prélèvements se fera pour vérifier la piste de l'usine à gaz et son crassier. Les prélèvements se feront dans le réseau mixte assainissement/eau pluviales (unitaire dans la zone) car c'est la seule possibilité pour que les polluants de cette entreprise se retrouvent dans la Reigne. Les points seront choisis dans les regards de certaines branches du réseau, en particulier la zone où l'ancien crassier a peut-être servi à faire les fonds de chaussée de la rue du stade et du stade lui-même, information encore à vérifier.

- L'ancienne entreprise de modèles réduits (JMK) sera également encadrée.

- La zone des anciennes tanneries de Lure sera contrôlée par quelques prélèvements (à l'époque de la grande industrie des tanneries, elles étaient à proximité des anciennes

fortifications de la ville, au bord de l'actuelle rue Pasteur), et nous profiterons des travaux actuels d'amélioration du réseau d'assainissement pour analyser quelques échantillons de terre profonde au début de la rue de la tannerie.

- Nous rajouterons une analyse particulière dans un puits situé dans une propriété privée voisine de l'usine à gaz, afin de repérer une éventuelle migration de polluants.

- Nous vérifierons cependant la piste d'une contamination par la résurgence de l'Ognon par un prélèvement dans le lac de la Font. La Reigne, dès cette résurgence, sera contrôlée à plusieurs endroits pour faire une analyse de sédiments dans les mêmes conditions hydrologiques.

- Les prélèvements et analyses dans le réseau seront confiés à Véolia, les autres seront du ressort du SIAHVO.

- En parallèle, nous étudierons l'évolution des teneurs en métaux lourds et HAP dans les boues de la Step de Lure, puisque la piste privilégiée est le débordement du trop plein de la conduite d'assainissement, dans la Reigne, en période de forte dilution par les eaux pluviales, ces polluants devraient logiquement se retrouver dans ces boues.

- Enfin, nous savons que l'usine à gaz de Lure était alimentée par les houillères de Ronchamp, nous réaliserons une analyse de cette houille pour en estimer la teneur en métaux lourds, avant pyrolyse.

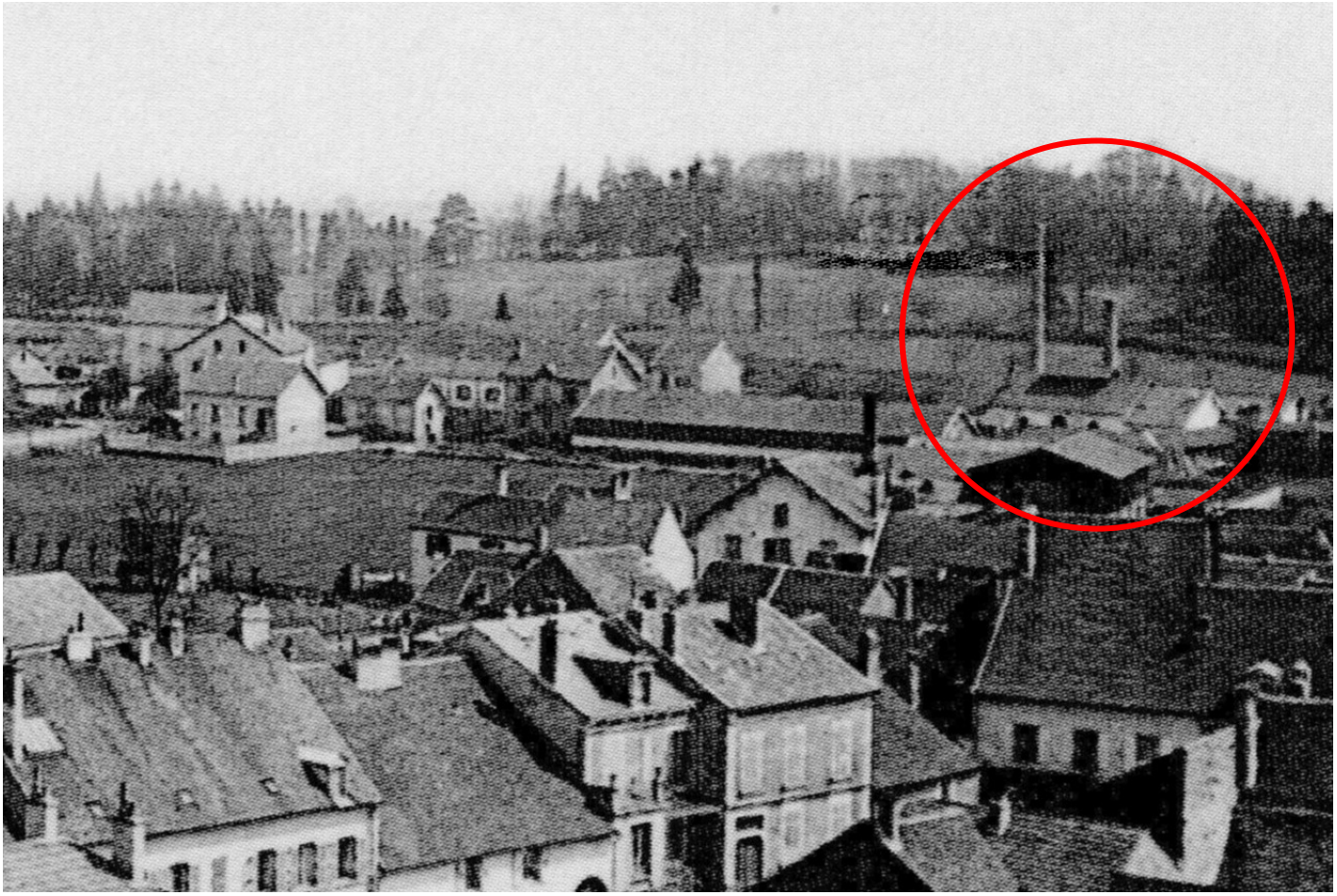


Photo 1: L'usine à gaz de Lure (photo entre 1910 et 1915)

Photo 2: L'entrée de l'usine à gaz (après 1915)

Le Cadmium

Les deux origines, naturelle ou anthropique, du cadmium sont crédibles pour expliquer sa présence dans le Rahin. En effet, ce métal est considéré comme un sous-produit de la métallurgie du zinc, avec une proportion naturelle dans le minerai de zinc qui se situe dans une fourchette variable de 1,6 à 8 pour mille. Les mines de zinc sont souvent à l'origine de fortes contaminations des milieux aquatiques par le cadmium, le cas de Decazeville en Aveyron est tristement célèbre. La présence du zinc est avérée dans le massif vosgien, par exemple la blende dans certains filons de Plancher les Mines. La question est donc de savoir si ce zinc est en quantité suffisante pour avoir un impact sur l'ensemble du Rahin, et surtout de comprendre sa concentration élevée seulement à partir de Ronchamp.

Une origine anthropique est tout à fait possible lorsqu'on considère l'histoire industrielle de Ronchamp. Comme arguments nous avons la liste des utilisations du cadmium dans l' industrie présentée par le Cecad (collectif d'étude sur le cadmium):

(en tonnes/an)	France	Europe
Production de métal raffiné 1ère fusion	en 1995 : 0	de 1989 à 1995 : 5790
Consommation en 1995	1969 accumulateur Ni-Cd	6512
Consommation par produits : - accumulateur - pigment - traitement de surface - stabilisant - alliage	 1280 220 208 200 60	 11500 2398 1370 1370 514

Tableau 3: Utilisations principales du cadmium

La piste des fabricants d'accumulateurs n'est pas d'actualité dans la zone, par contre il apparaît deux possibilités dans notre contexte local:
- les pigments utilisés dans l'industrie textile (le plus fort consommateur) et dans l'industrie des plastiques. Il est bon de rappeler que les pigments à base de sulfure de cadmium, jaune avec CdS, rouge avec Cd(S,Se) ou orange par mélange des précédents ont été utilisés à grande échelle dans les matières plastiques (gilets de sauvetage, casques de chantiers), et stabilisant du PVC(sous forme de sulfate)
- les industries du traitement de surface.

Il y a donc trois candidats majeurs à l'origine de cette pollution:
- l'ancienne Maglum dont les activités de traitement de surface et de pièces en plastique pour l'industrie automobile sont parfaitement connues
- l'ancienne filature (la filature de coton Fergusson-Tepper crée en 1842, puis l'usine Boucher-Mura & Cie, puis la filature de Ronchamp), située à proximité de la zone Maglum, au bord du "Canal de Ronchamp"
- le mur de déchets de fonderie déjà cité.

A noter l'entreprise Canet, fabrication de ressorts, qui employait jusqu'à 130 personnes, mais son éloignement du Rahin et les rejets quasiment inexistants de l'entreprise n'en font pas l'un de nos principaux candidats.

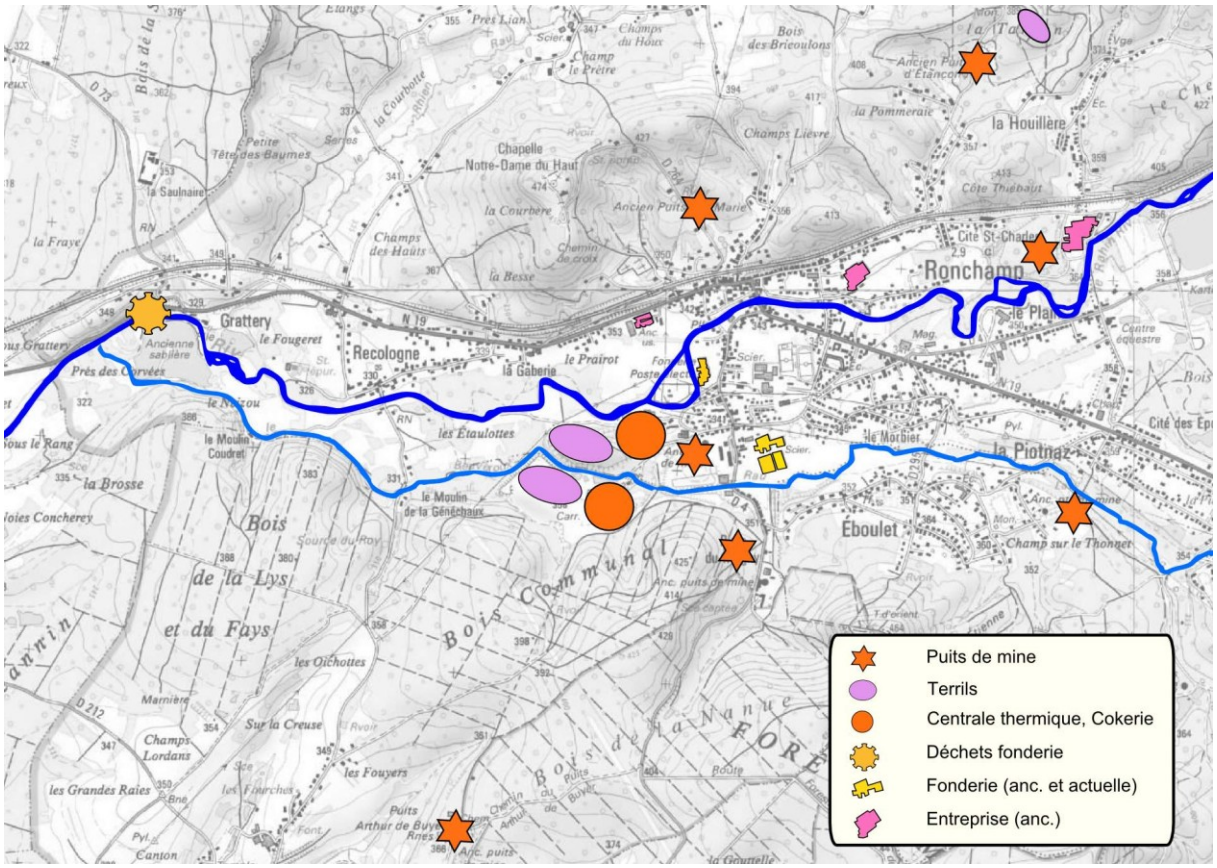
Il faudra encore vérifier l'impact éventuel des fonderies anciennes ou encore en activité:
- Fonderie Girardot actuellement fonderie Sofogir en bordure du Rahin (sol pollué au zinc)
- Fonderie Moniotte/Laurent actuellement scierie Cenci à proximité du Beuveroux.

Sans oublier les établissements anciens connus pour leurs pollutions aux métaux lourds:
- la centrale électrique (thermique) située à proximité du puits du Chanois (entre Rahin et Beuveroux)
- la cokerie (1863 - 1937) située près du puits Saint Joseph à proximité du Beuveroux puis reconstruite dans la zone du Chanois
- les deux terrils (dont un qui a pris feu il y plus d'un siècle et s'est consumé en profondeur pendant des dizaines d'années) situés de part est d'autre du Beuveroux dans la zone de triage.

Dans le cas d'une origine industrielle ancienne, la présence simultanée du zinc et du cadmium dans nos pollutions irait plutôt dans le sens d'une contamination par une entreprise de traitement de surface, plus crédible que celle d'une industrie textile. Rajoutons que l'entreprise Maglum a utilisé les anciens puits de mine pour y déverser ses déchets; et un incendie s'est déclaré dans un ancien terril du puits Saint Charles en 1993 (à proximité des anciens bâtiments de l'usine Maglum). Les émanations de cet incendie qui dura plusieurs mois ont provoqué quelques malaises chez les personnes vivant à proximité, on cite en particulier les symptômes de la "fièvre du fondeur" dus aux vapeurs de zinc et de cadmium.

Pour nos prélèvements, nous choisirons de faire nos analyses sur matrice eau pour localiser l'origine du rejet polluant qui a saturé les bryophytes en aval de Ronchamp, et sur matrice sédiments fins pour connaitre l'étendue des zones touchées par les particules de taille plus grandes qui sont véhiculées par les matières en suspension. Nous aurons également une bonne estimation des réservoirs de polluants susceptibles de redevenir biodisponibles.

Nos prélèvements se feront dans le Rahin et le Beuveroux, ainsi que les chevelus pouvant amener ces toxiques depuis une source plus éloignée, encadrant systématiquement tous les candidats polluants. Ainsi plusieurs dizaines de points serviront à disséquer l'ensemble de la zone. Une vérification sera faite sur la partie plus aval du Rahin, sur eau filtrée, afin de connaitre la profondeur de la zone de mélange en sortie de Ronchamp. Cette information est déjà disponible à partir des anciennes mesures sur bryophytes et sédiments qui montrent sans ambigüité une contamination sur l'ensemble du cours du Rahin jusqu'à sa confluence avec l'Ognon, soit une trentaine de km.



Carte 12: Sources possibles de pollution au cadmium et au zinc dans le secteur Ronchamp

Les HAP

Une hypothèse importante est à vérifier sur le secteur luron: la possible contamination de la Reigne par l'ancienne usine à gaz. Cette hypothèse sera validée si les HAP sont présents à forte dose, dès le déversoir du pont de l'Abbaye où se retrouvent de nombreux métaux lourds. Le puits situé à proximité de cette ancienne entreprise sera également analysé.

Pour la zone de Ronchamp, il conviendra de vérifier l'impact des houillères, en particulier l'ancienne centrale thermique à proximité du puits du Chanois et l'ancienne cokerie au sud-est de la première.

L'usine d'enrobage (APL Enrobage), située zone industrielle du Tertre Landry à Lure, sera contrôlée en analysant d'éventuelles contaminations dans le ruisseau le Picot situé à proximité.

La zone de Servance fera l'objet d'un contrôle particulier, les données anciennes concernant l'entreprise Madec mentionnant une pollution du sol et de la nappe par des hydrocarbures (non HAP).

Les normes concernant ces polluants ont beaucoup changé depuis les références SEQ eau. La matrice optimale de surveillance est le sédiment/biote pour la plupart des HAP, mais lorsque les normes de qualité environnementales ne sont pas encore définies, il est indiqué de faire le suivi sur l'eau; c'est le cas des 2 HAP pointés régulièrement par l'Agence de l'Eau dans le cadre de la DCE, avec des NQE de 0,002 µg/l. Les seuils de qualité pour les sédiments sont simplement déduits par calcul des valeurs pour l'eau (on pourra se référer aux fiches de l'Ineris 2010). Ces valeurs sont extrêmement basses pour l'eau, seuls quelques laboratoires sont accrédités pour fournir des limites de quantifications au moins inférieures, et les incertitudes de mesures augmentent fortement au voisinage du seuil. Rajoutons que des teneurs significatives sont mesurables uniquement par fortes conditions hydrologiques, on comprendra que cette approche n'a pas été des plus simples sur la durée restreinte de cette étude.

Dans un premier temps, nous travaillerons sur sédiments (le coût des analyses étant nettement plus faible), et cette étude devra se poursuivre par un suivi sur l'eau, lors des hivers prochains.

Les substances prioritaires du groupe 2

L'objectif de la DCE pour ces substances est une réduction de 30 % des flux par rapport à la situation de 2004

Le Plomb

Les données précédentes laissent apparaître 2 problèmes qui nécessitent des investigations complémentaires:

- un pic important dans les bryophytes du ruisseau Notre Dame avait été mis en évidence en 2005. Selon nous, la présence d'un pic conjoint d'antimoine, permettait d'en situer l'origine probable comme venant du stand de tir militaire situé à quelques kilomètres en amont, à proximité d'un des affluents de ce ruisseau. En remontant à l'historique de la caserne du régiment de Dragons de Lure, nous avions estimé entre 40 et 160 tonnes la quantité de plomb accumulé dans la butte pare-balles (la fourchette assez large vient des incertitudes sur la quantité de plomb irrégulièrement enlevé au cours d'un siècle d'utilisation). Ce mur pare-balles a finalement été enlevé en juillet 2008 et déposé en décharge de classe 1, juste avant les

travaux de terrassement de la nouvelle déviation de Lure. Il y a lieu de vérifier que toute trace de plomb a disparu de ces ruisseaux, par une cartographie des sédiments depuis le stand de tir, en prenant soin d'encadrer les autres sources potentielles de contamination (entreprises et ancienne décharge de la ville de Lure). Les sédiments accumulés devant la ferme Notre-Dame, feront l'objet d'une surveillance particulière, ils pourraient être prochainement dragués dans le cadre de futurs travaux envisagés pour le rétablissement de la continuité écologique. Ces analyses seront complétées par plusieurs dosages du plomb dans l'eau, la matrice optimale de surveillance.

- le Rahin, sur l'ensemble de son parcours (du village de Plancher les Mines jusqu'à sa confluence avec l'ognon), montre une contamination préoccupante par le plomb, aussi bien sur les données de la vaste étude de 2001 (bryophytes), que celles de l'Agence de l'Eau de 2007 (sédiments). Les dernières analyses (après 2010) réalisées dans le cadre de la DCE, ne montrent pas de valeurs très importantes du plomb recherché sur eau brute, les sédiments précédemment analysés laisseraient plutôt penser à la présence de plomb immobilisé sous forme de complexes chimiques insolubles, comme par exemple des sulfures. La remise en circulation dans l'eau sous forme biodisponible n'est pas à exclure, comme l'ont montré ces analyses anciennes sur bryophytes. Les données du BRGM sur les fonds géochimiques du pied des Vosges confirment également la présence très marquée du plomb dans les sédiments du Rahin, dès l'amont du parcours. Nous devrons donc vérifier les origines naturelles possibles (mines de plomb-argentifère et de cuivre de Plancher-les Mines du XVe au XVIIIe siècle) mais aussi les origines industrielles locales (fonderies anciennes ou récentes, présentent dans les villages amont). Rappelons que les données piézométriques de la banque de données ADES, confirment la présence de plomb à proximité du captage de Champagney, à la limite de la norme sur les eaux potables. Une cartographie sur matrice sédiments et eau permettra d'en dire plus sur la qualité du Rahin.

Le Nickel

La contamination relativement forte du brochet de la Font (6,1 mg/kg de pf), et d'une truite prélevée à Magny-Vernois (1,2 mg/kg de pf) dans la Reigne pourrait bien indiquer une origine commune dans la ville de Lure, comme pour le mercure. Comme la matrice optimale de surveillance du nickel est l'eau, il faudra naturellement vérifier les rejets du déversoir de la salle de musique et d'éventuels écoulements directs dans le lac de la Font, tout cela devant être associé à une cartographie des teneurs dans les sédiments.

Les substances pertinentes

Ces substances, dites "pertinentes", entrent dans une classification complémentaire, elles sont caractéristiques du bon état écologique des milieux, au sens de la DCE. Parmi les contaminants métalliques, il s'agit du zinc et du cuivre. Ils ne présentent pas le même risque pour les consommateurs des produits de la pêche, ils ne sont pas bioaccumulables du fait que le corps humain en réalise facilement la régulation, et sont même souvent indispensables (dans certaines limites) au fonctionnement du métabolisme. Par contre, leur caractère écotoxicologique est avéré, et à fortes doses, ils présentent des effets néfastes sur les populations benthiques, la flore aquatique ou certaines catégories de poissons.

Le Zinc

Le cas du Rahin semble problématique, avec une présence corrélée de zinc et cadmium dans les anciennes données sur bryophytes, il y aura lieu de localiser les zones sédimentaires particulièrement impactées et vérifier si le zinc biodisponible ne se trouve pas à forte dose dans d'eau.

Le Chrome

Le Chrome n'a pas été spécialement mis en évidence dans les études précédentes, il sera dosé pour chaque prélèvement mais ne fera pas l'objet d'une recherche spécifique.

Le Cuivre

C'est encore la vallée du Rahin qui se distingue avec des niveaux de contamination bien marqués en cuivre (sur bryophytes, donc non comparables aux PNEC sédiments), là encore dès l'amont de la rivière. Plancher les Mines, déjà citée précédemment pour ses mines de cuivre, a vu se développer une industrie de la fonderie de cuivre (aujourd'hui disparue) dans la seconde moitié du XIXe siècle. Comme pour le plomb, ces données sont corroborées par celles du fond géochimique du BRGM. Une cartographie précise sera établie sur sédiments, puis fera l'objet d'un complément sur matrice eau en fonction des résultats de la précédente.

Le cuivre apparait également dans les sédiments de la Reigne, mais la grande variété de métaux à la source de cette rivière semble indiquer une origine commune des pollutions. Comme la contamination n'est pas présente sur une zone importante, le cuivre sera étudié dans le cadre plus large de l'estimation de l'impact des anciennes activités industrielles luronnes.

L'Arsenic

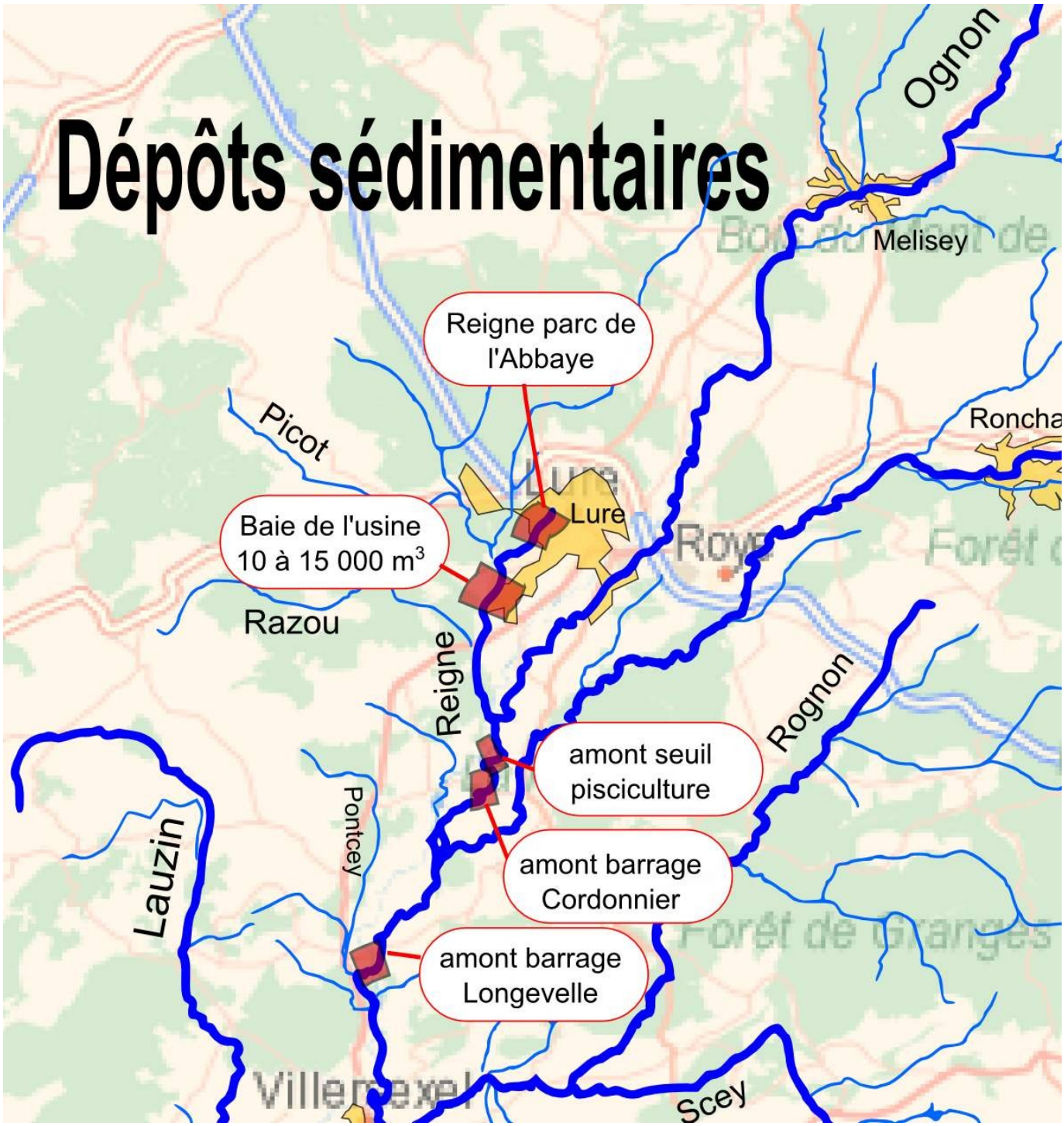
Le massif des Vosges est fortement impacté par l'arsenic qui se rencontre dans les sédiments de nombreux cours d'eau, et cela sans lien apparent avec une origine anthropique. Nous ne traiterons pas spécifiquement cette pollution qui demanderait (si ce n'est pas déjà réalisé) une étude de la spéciation de ce métal pour en estimer au moins les risques écotoxicologiques. De plus, les analyses sur bryophytes réalisées lors de précédentes campagnes de mesures, ne semblent pas pointer particulièrement cette pollution. Seule une mesure au Val de Gouhenans montrait une valeur dépassant de peu la classe rouge, indiquant la présence d'arsenic biodisponible dans l'eau du Rahin, alors que les concentrations en arsenic total sont relativement conséquentes dans sa partie amont, allant dans le sens de présence de complexes chimiques relativement stables.

Le cas des dépôts sédimentaires devant les seuils

Les problèmes liés à certains dysfonctionnements de l'assainissement luron (réseau unitaire en majeure partie, contamination par les eaux pluviales et les eaux de sources) sont la cause des rejets très importants de matières organiques dans la Reigne puisque la Step n'est pas encore équipée pour résoudre temporairement le problème posé par ces effluents trop dilués. Les seuils et barrage situés en aval ont accumulé des quantités de sédiments, parfois très importantes (on citera les sédimentations de la "Baie de l'Usine" à Magny-Vernois dont le volume estimé tourne autour de 15 000 m^{3}).

De nombreuses améliorations sont en perspective, aussi bien sur la Step elle-même que sur les réseaux d'assainissement, et le curage éventuel des grosses accumulations sédimentaires pourrait se poser lorsque ces avancées seront opérationnelles, d'autant plus que ces sédiments peuvent jouer le rôle de réservoirs à polluants.

Une analyse systématique de ces dépôts sédimentaires connus sera réalisée sur la Reigne et l'Ognon, afin d'estimer leur teneurs en métaux lourds et HAP, nous rappelons ici qu'une législation est à appliquer sur les boues de dragage en rivière (annexe 7), pouvant imposer une étude complémentaire dans le cas de dépassement des seuils indiqués par la loi sur l'eau.



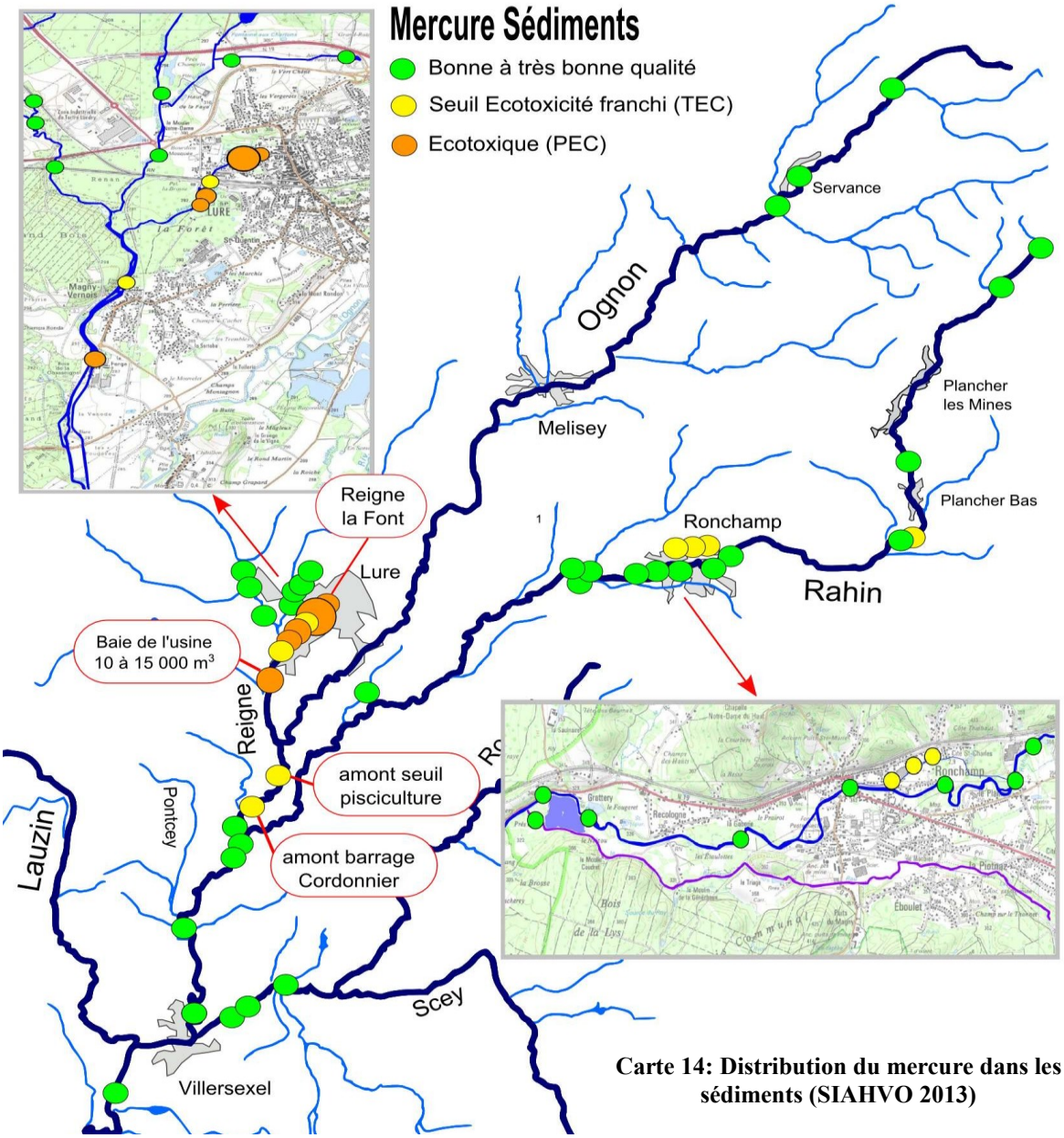
Carte 13: Dépôts sédimentaires à analyser

4/ Les résultats de l'étude 2013

Les conditions hydrologiques étant particulièrement défavorables durant la mauvaise saison, les prélèvements ont été réalisés de fin mars à fin août 2013. 47 analyses de sédiments (limons fins filtrés à 2 mm) ont été programmées dans les zones à investiguer, dont le fond d'un puits à proximité de l'emplacement de l'usine à gaz luronne et 6 prélèvements de sol qui ont permis de vérifier l'éventuel impact des anciennes tanneries de la ville. Dans un deuxième temps, 81 analyses d'eau (eau filtrée à 45 µm) ont été effectuées en plusieurs étapes et au coup par coup, pour converger progressivement vers l'origine des flux polluants mis en évidence. Les secteurs où les études précédentes et nos analyses de sédiments n'ont montré aucune dégradation n'ont plus fait l'objet d'investigations.

Les résultats sont présentés dans les cartes suivantes, et dans la mesure du possible nous essaierons de les comparer aux données anciennes pour vérifier si une dynamique de résorption naturelle peut être constatée dans les sédiments. Les polluants seront traités selon leur classement dans la hiérarchie des substances à éliminer ou réduire et les valeurs numériques sont regroupées en annexe 8. Les cercles (ou autres symboles) qui caractérisent les résultats sont colorés selon les 3 classes habituelles (verte, jaune, orange), dès que la classe orange est dépassée, les cercles sont de tailles proportionnelles aux niveaux mesurés.

L'origine luronne du mercure



Carte 14: Distribution du mercure dans les sédiments (SIAHVO 2013)

L'essentiel du mercure est bien concentré dans la Reigne, le Rahin est légèrement impacté par un dépôt de sédiments dans ce qu'on appelle "le Canal de Ronchamp". Les résultats sur les sédiments de la Reigne amont et Ognon proche sont les suivants (en mg/kg de MS):

Prélèvement	lac la Font Reigne	Pont Abbaye Reigne	Amont STEP Reigne	Aval STEP 1 Reigne	Aval Step 2 Reigne	Amont pisci-culture MV Reigne	Baie usine Faurecia Reigne	Amont pisc. Vy les Lure Ognon	Amont barrage Cordonnier Ognon	Puits zone usine à gaz
Arsenic	15,5	16,7	7,16	14,7	7,31	16,9	17,8	19,5	33,4	30,1
Cadmium	0,45	0,63	0,4	1,47	1,4	2,78	3,64	1,34	1,34	0,41
Chrome	26,3	26	18,4	21,1	19	30,1	37,4	30	30,3	36
Cuivre	56,9	154	124	98,8	80,7	55,9	101	36,4	38,4	121
Nickel	14,2	13,5	7,23	11,5	9,72	24,1	23,5	16,4	88,2	32,3
Plomb	91	90	43,8	87,7	78,6	77,5	104	39,9	40,2	701
Zinc	206	524	151	373	232	478	702	254	485	962
Mercure	1,06	1,92	0,4	1,24	1,01	0,37	1,24	0,22	0,37	0,7
Somme des 16 HAP	8,14	42,6	6,24	9,2	12,4	1,92	4,75	1,17	1.80	3,92

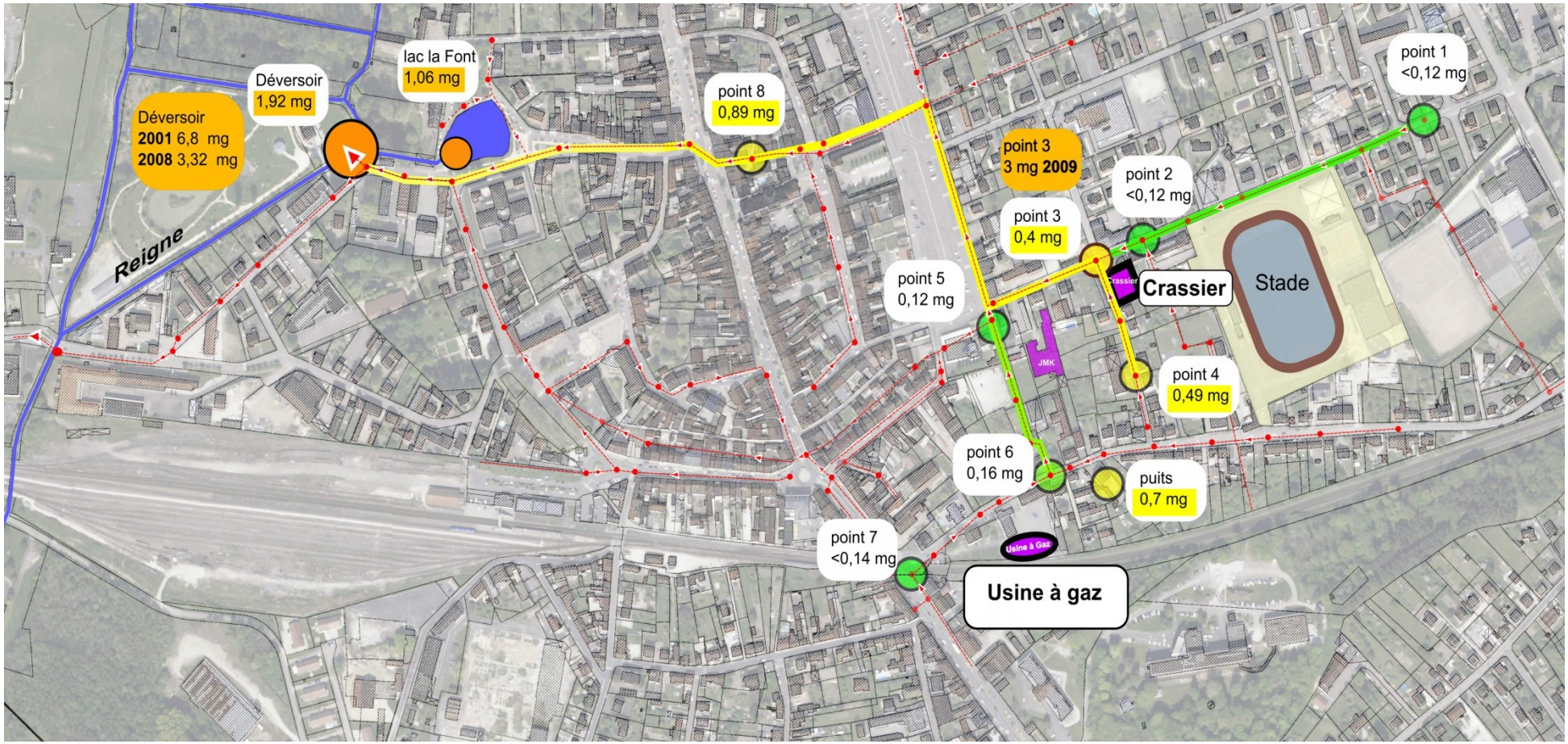
Tableau 4: Les contaminations du secteur luron

Les couleurs jaunes correspondent au seuil classique TEC (effets écotoxicologiques possibles voir annexe 2) et les oranges au seuil S1 de dragage de sédiments.

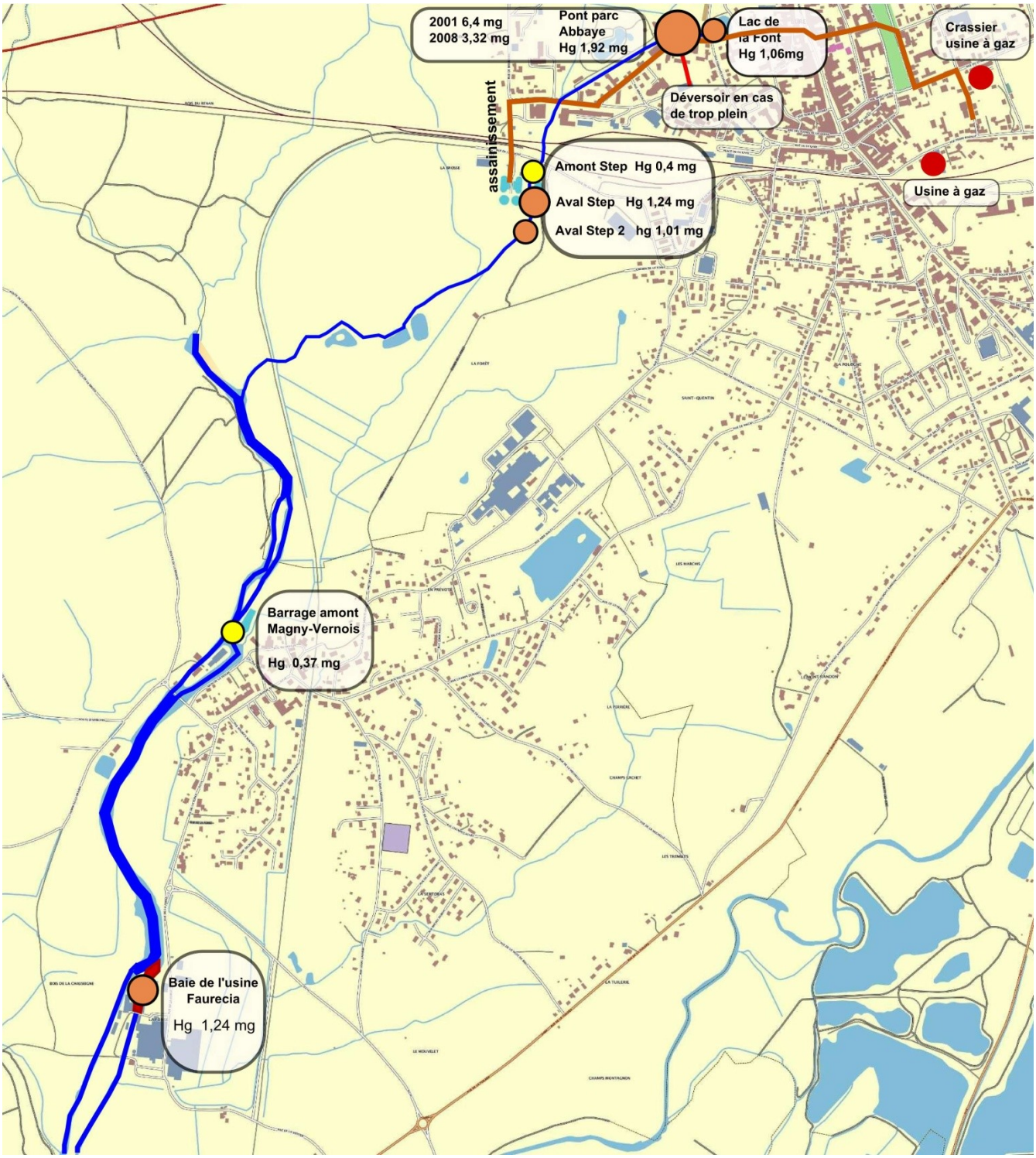
L'hypothèse à vérifier était simple, si les métaux lourds de la Reigne viennent de l'ancienne usine à gaz (nous supposerons par les eaux de ruissellements, mélangées à cet endroit aux eaux d'assainissement), ils doivent être associés à une présence importante de HAP, ce qui est bien le cas :
- dans tous les prélèvements, les concentrations en HAP dépassent le seuil TEC
- celui du Pont de l'Abbaye arrive à un niveau considérable, le plus élevé de toutes les mesures faites dans la zone SIAHVO (c'est 2 fois la valeur du seuil S1)
- avec un niveau 4 fois moindre en HAP (et métaux lourds dans la même proportion), le lac de la Font est cependant touché par cette pollution, laissant penser que des rejets directs (eaux de ruissellement probablement, en cours de vérification) ont bien encore lieu à cet endroit, expliquant la contamination au méthylmercure du brochet pêché lors des analyses de 2009.

Les analyses, effectuées par Veolia dans les sédiments du réseau d'assainissement luron en complément de nos analyses en rivières, vérifient également la présence du mercure. Même si les valeurs sont moyennes, elles dépassent toutes les seuils TEC dans une branche du réseau qui vient du secteur de l'ancienne usine à gaz et passe à proximité du Pont de l'Abbaye, donc alimentant bien le déversoir soupçonné. Naturellement, utiliser ces seuils dans un réseau d'assainissement n'a aucune autre signification que de souligner l'importance relative de ces teneurs en mercure, d'autant plus que les échantillons ont été analysés en entier (sans se limiter à la fraction <2 mm comme pour les sédiments de rivière), ce qui va artificiellement minorer les résultats.

Les sédiments d'un puits situé dans la cave d'une propriété, à moins de 100m de l'usine à gaz, ont des teneurs impressionnantes en plomb et zinc, c'est la contamination la plus importante de toute la zone luronne (pour le plomb c'est presque 8 fois les valeurs relevées au déversoir du parc de l'Abbaye). Toutes ces valeurs sont synthétisées sur les cartes suivantes.



Carte 15: Distribution du mercure dans le réseau d'assainissement (Veolia 2013)



Carte 16: Répartition du mercure dans les sédiments de la Reigne (SIAHVO 2013)

A noter, sur cette deuxième carte, la diminution des contaminations quand on s'éloigne de la Font, puis une remontée en aval immédiat de la step. Ensuite une nouvelle diminution en s'éloignant vers l'aval, jusqu'à cet endroit qui est probablement le cœur du problème, ces quelques 15 000 m3 de sédiments de la "Baie de l'Usine" Faurecia.

La diffusion d'un polluant amène toujours à une atténuation lorsqu'on s'éloigne de sa source, ici c'est probablement ce déversoir du trop plein de l'assainissement qui déverse ses produits toxiques la moitié de l'année. A cet endroit, la Reigne vient régulièrement les diluer et

transporte plus en aval les matières en suspension auxquelles s'adsorbent si facilement les métaux lourds. A la hauteur de la step, on retrouve le même genre de problème en période de saturation par les eaux claires, les effluents d'assainissement sont renvoyés directement dans le milieu naturel, c'est l'équivalent d'un deuxième déversoir. Puis véhiculés par les matières en suspension rejetées par la step puisqu'elle ne peut les traiter dans les conditions habituelles. Ces métaux lourds vont se déposer en même temps que leur vecteur, dans les zones à faible turbulence, la "Baie de l'usine" étant un endroit idéal pour cela. Cela fait donc des dizaines d'années que cette zone sédimentaire accumule les métaux (et autres polluants). On pourrait s'étonner aussi du peu de métaux lourds dans les boues de la step, c'est normal si on rappelle que ces boues sont régulièrement retirées de la station (environ tous les 2 mois) pour être épandues. Nos polluants s'y retrouvent bien, mais ils correspondent au flux légèrement contaminé, intégré sur cette période de 2 mois, alors que dans les sédiments de la rivière, la période d'intégration est de plusieurs dizaines d'années. Les dysfonctionnements de l'assainissement sont donc probablement la cause de cette concentration des polluants, et ce phénomène n'existerait pas non plus si le transit sédimentaire était correctement réalisé tout le long de la Reigne et l'Ognon. On retrouve des accumulations de sédiments contaminés en amont de tous les seuils jusqu'à l'entrée des Aynans, avec une concentration d'autant plus forte que le volume sédimentaire accumulé est plus important. Et cette distribution se répète pour presque tous les polluants.

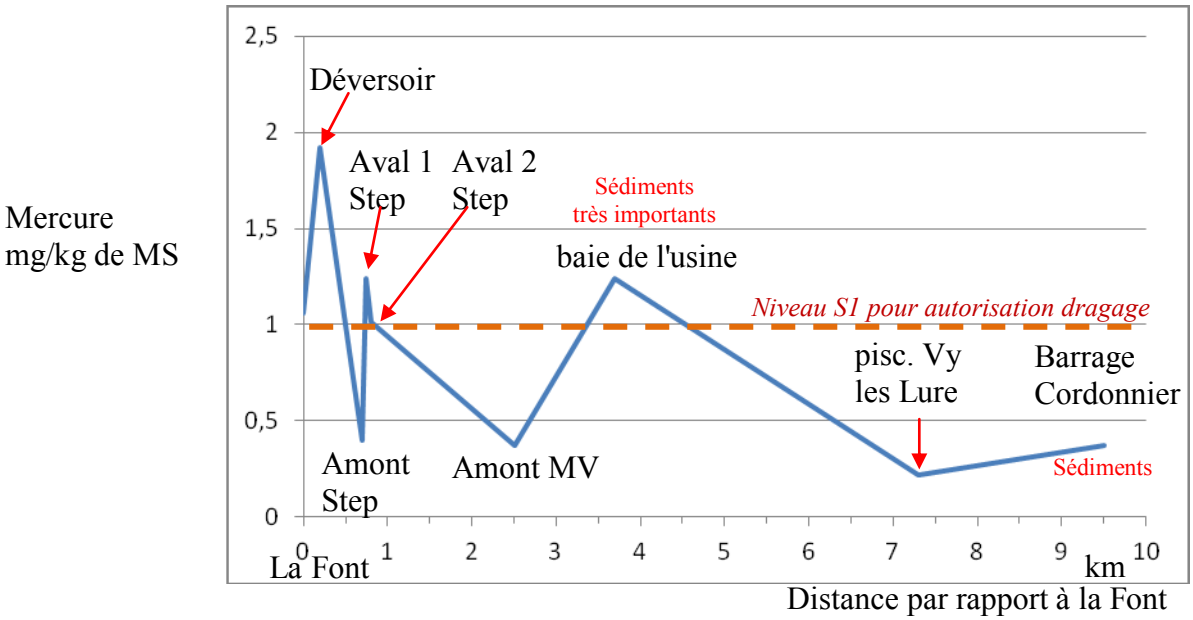


Fig. 7: Distribution du mercure sur le linéaire de la Reigne

Deux échantillons de terre, prélevés lors des récents travaux d'assainissement rue de la Tannerie ne montrent aucune présence de mercure, pas plus pour d'autres métaux ou HAP, excluant définitivement la piste des tanneries comme origine de notre pollution.

Les caractéristiques de la houille utilisée dans l'usine à gaz

La houille des mines de Ronchamp a servi, entre autre, à alimenter l'usine à gaz de Lure. Nous avons fait réaliser une analyse de quelques échantillons de ce charbon, voici comment il se situe par rapport aux charbons venant d'autres gisements.

Toutes les teneurs en métaux habituels sont bien dans la moyenne mondiale, à part le plomb qui dépasse très fortement cette valeur. Il s'agit probablement des conséquences du fond géochimique local où le plomb s'est accumulé dans les matières organiques qui sont à l'origine du charbon. Nous avons beaucoup d'arguments qui plaident en faveur de l'usine à

gaz, le puits analysé à proximité se distinguant en matière de contamination au plomb, les sédiments de la Reigne montrant également une forte pollution par ce métal.

		Ronchamp	Ruhr	moyenne mondiale	moyenne USA
mg/kg	Arsenic	3,91	3,5	0,3 à 13	3,37
mg/kg	Cadmium	<0.40		0,01 à 0,31	0,05
mg/kg	Chrome	<5.00	17	1 à 35	9,82
mg/kg	Cuivre	7,85	20	1 à 23	6,16
mg/kg	Nickel	1,79	30	2 à 22	6,39
mg/kg	Plomb	119	15	1 à 22	3,53
mg/kg	Zinc	11,6	22	4 à 23	
mg/kg	Mercure	<0.10		0,02 à 0,19	0,112

Tableau 5: Teneurs en métaux lourds de la houille de Ronchamp, comparée à d'autres

Plusieurs études expliquent le devenir de ces métaux lors de la combustion du charbon. Arsenic, cadmium, plomb et zinc sont classés comme moyennement volatiles et s'accumulent dans les cendres volantes, alors que le mercure est très volatile et s'évapore dans l'atmosphère. Mais la pyrolyse de la houille produit des effets différents puisque le charbon n'y est pas brulé mais distillé à haute température, et mercure, autres métaux (et surtout HAP) contaminent fortement les sols où étaient stockés les résidus de cette distillation.

Une autre possibilité pour confirmer cette origine aurait été de doser les cyanures dans les terrains occupés par l'usine à gaz et son crassier, cette pollution provient majoritairement d'activités industrielles anciennes (usines à gaz, cokeries, etc.) qui se sont éteintes à la fin des années 1960 et qui sont situées en milieux urbains. Ces exploitations industrielles sont en effet connues pour avoir laissé un important passif immobilier et foncier intra-urbain, pour certains non exploitables sans coût de dépollution important en raison de la pollution accumulée dans les sols durant des décennies d'activités, c'est la raison du plan de réhabilitation des usines à gaz mis en œuvre par GDF.

On pourra constater également que les teneurs en mercure de la zone (déversoir, aval step et même réseau d'assainissement à l'endroit du crassier) sont allées en décroissant depuis les premières analyses de 2001 (même constatation pour le plomb), cette information pourrait indiquer le tarissement progressif de la source polluante, du fait d'une migration progressive des métaux dans les couches plus profondes du sol. C'est précisément cette migration lente qui est observée dans le cas de Senlis, un tel comportement dans notre cas aurait naturellement pour conséquence la diminution des polluants entrainés par les eaux de ruissellement. Un simple suivi à long terme des analyses des boues de la Step devrait nous renseigner sur ce fait. Quant à la disparition de cette pollution, une solution sera proposée dans un prochain chapitre.

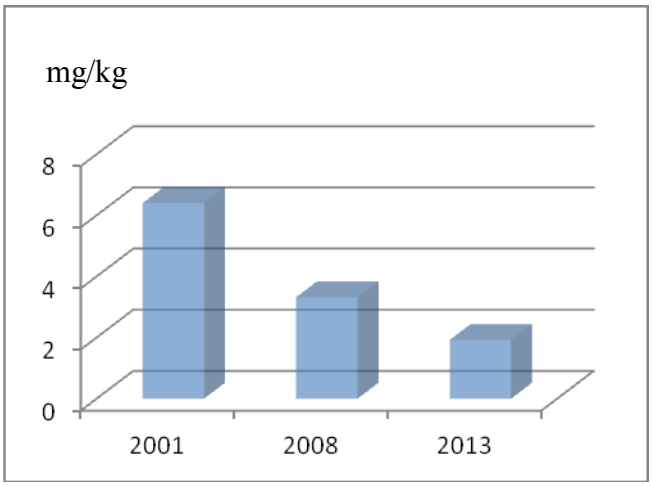
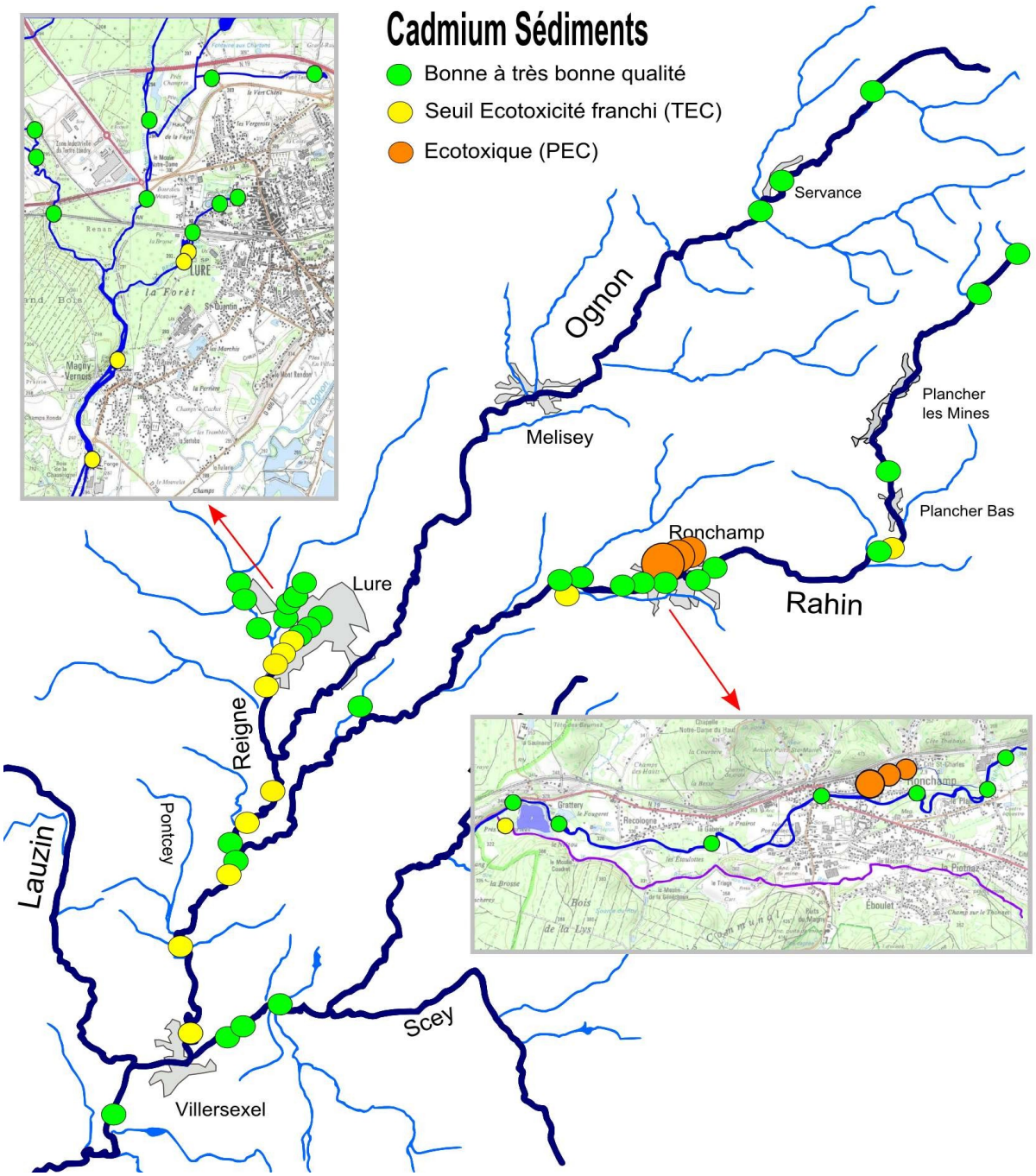


Fig. 8: Evolution du mercure, sédiments de la Reigne, pont du parc de l'Abbaye

Le cadmium, les sources anthopiques de Ronchamp

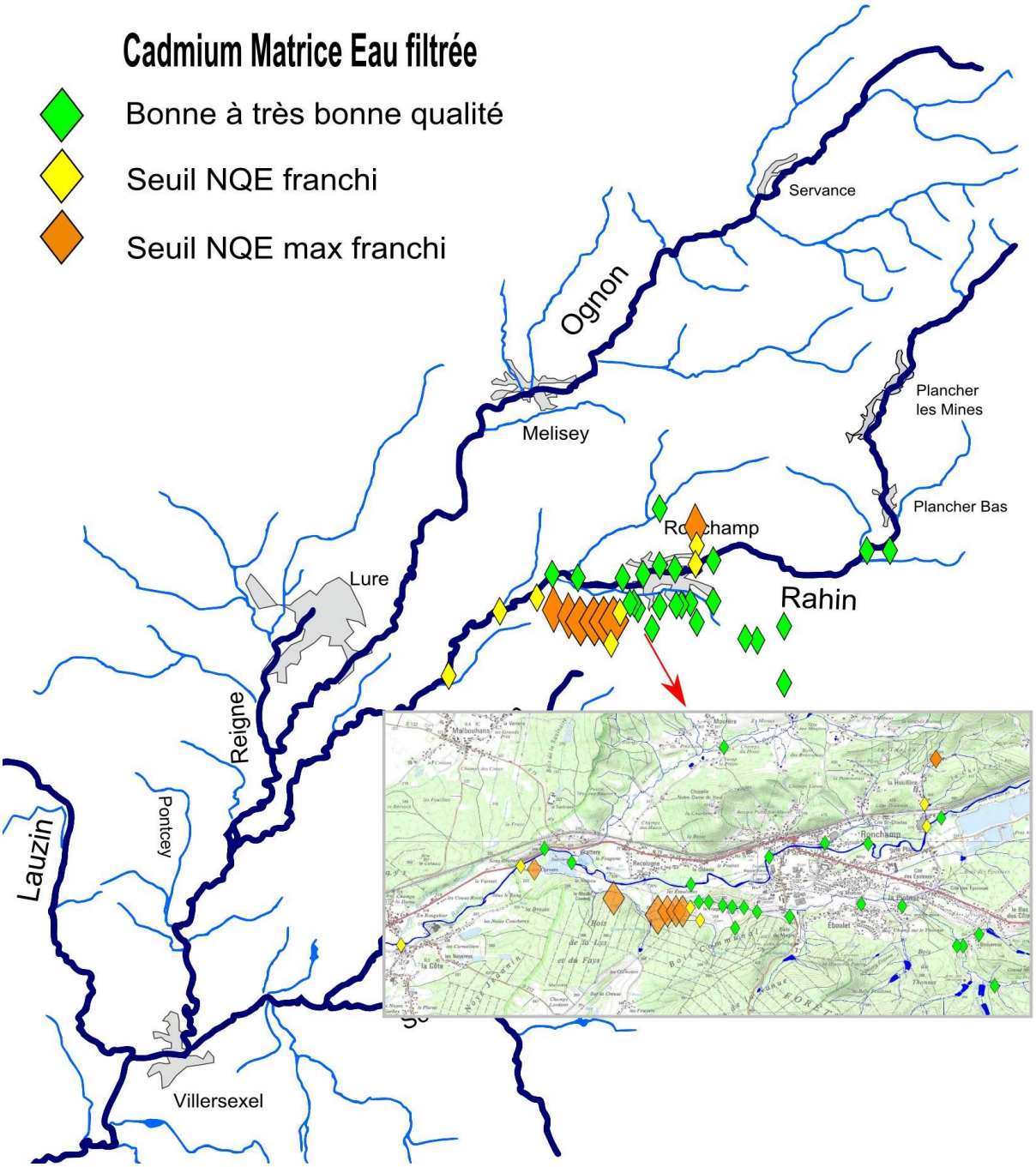
Nos résultats sur l'ensemble du secteur SIAHVO confirment la situation antérieure, à savoir que le Rahin est bien l'épicentre d'une pollution au cadmium, et c'est bien dans la zone de Ronchamp qu'il faut en chercher l'origine.



Carte 17: Distribution du cadmium dans les sédiments (SIAHVO 2013)

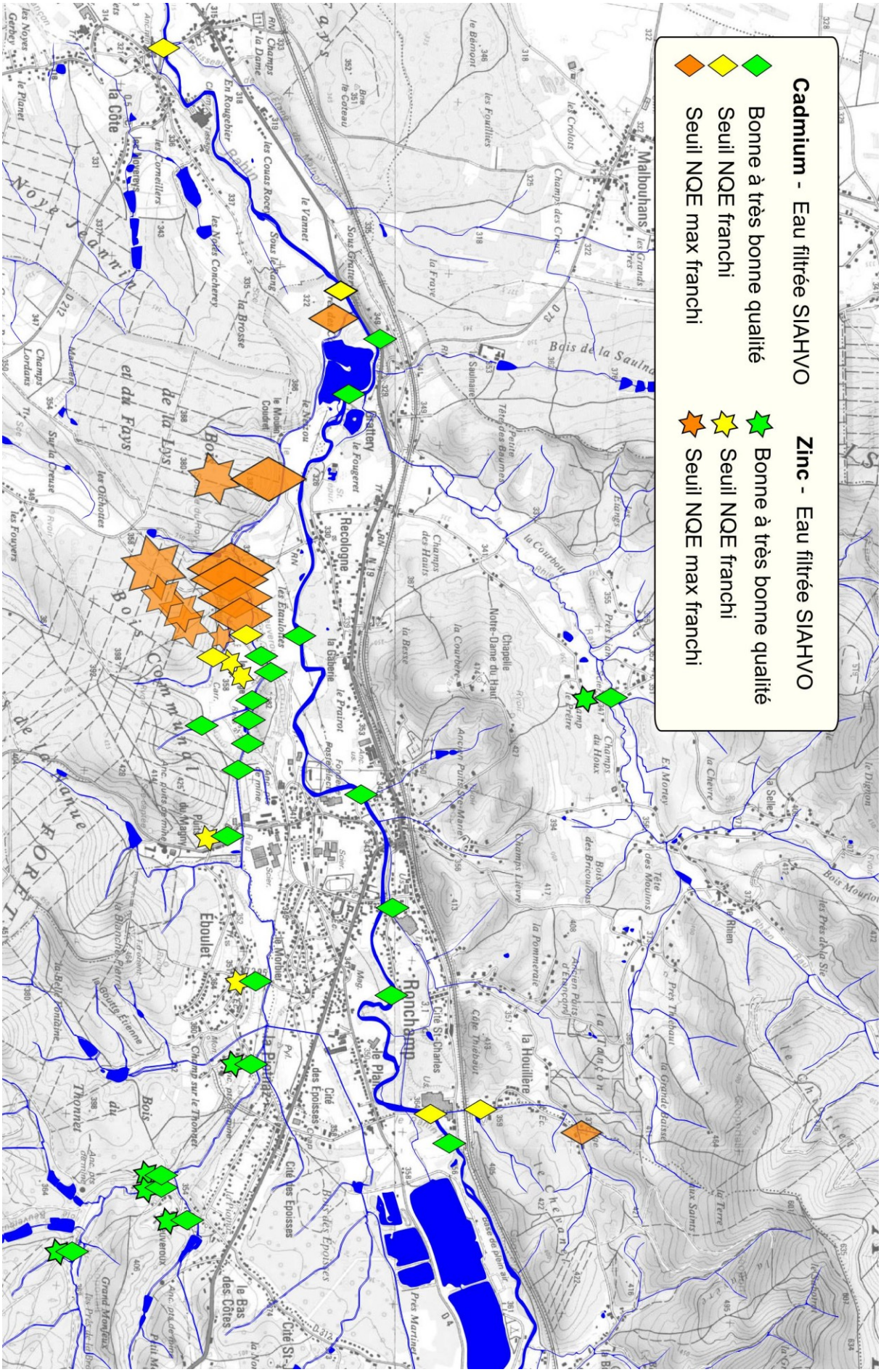
Nous avons systématiquement recherché ce métal sur matrice eau filtrée dès qu'un résultat laissait apparaître un dépassement du seuil TEC dans les sédiments, l'eau étant la matrice optimale de surveillance du cadmium. Cela concerne trois secteurs, le "Canal de Ronchamp" dont les contaminations variées sont à des niveaux conséquents, l'aval de Plancher-Bas et l'aval du Beuveroux, afin de localiser l'origine des pollutions déjà pointées par les bryophytes.

La carte suivante est le résultat d'investigations menées par approximations successives, Les prélèvements d'eau s'étalant sur 4 mois, il est normal que des différences de teneurs en cadmium soient observables uniquement par ce fait, mais elles ne remettent pas en question l'origine des pollutions et leur impact sur l'environnement. Nous avons également vérifié les anomalies en cadmium déjà pointées par le BRGM comme le Rhien et un petit ruisseau au nord de Ronchamp, vers le puits de l'Etançon.



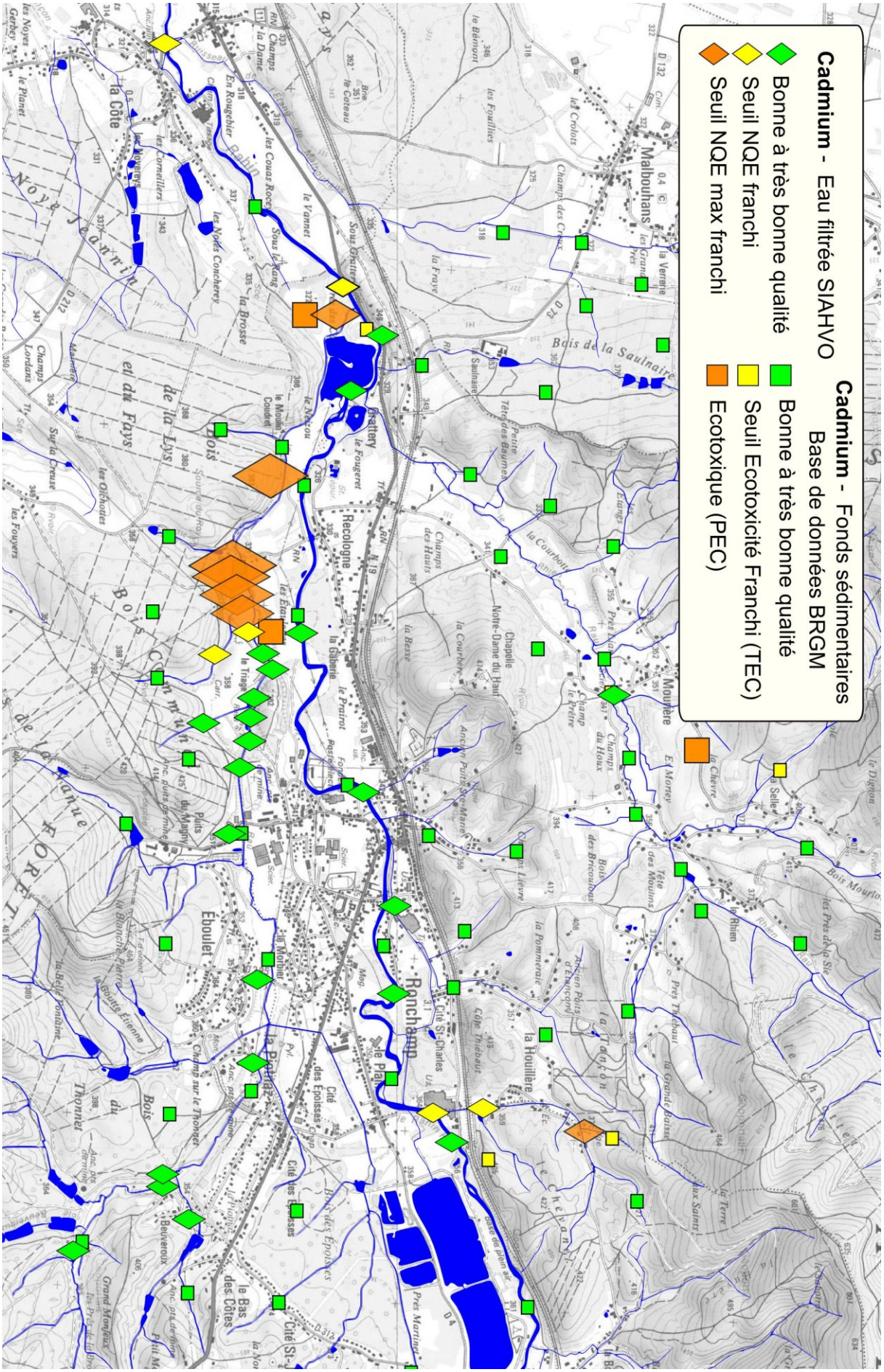
Carte 18: Distribution du cadmium sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013)

Cadmium et zinc apparaissent simultanément dans le Beuveroux, ces polluants viennent vraisemblablement d'une source identique.



Carte 19: Corrélation cadmium et zinc sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013)

Nos flux de cadmium sont corrélés avec les anomalies mises en évidence par le BRGM (1978-81), sauf pour le Rhien.



Carte 20: Corrélation cadmium eau et sédiments Sigmines

D'une première campagne d'analyse d'eau, il résultait que seulement 2 vecteurs de cadmium dissous méritaient une étude plus fine, ce petit ruisseau au nord de Ronchamp et surtout le Beuveroux touché (juste avant sa confluence) par des concentrations trois fois plus élevées que les NQE/MA. La bonne nouvelle était naturellement que le "Canal de Ronchamp" n'était pas vecteur de cadmium biodisponible, ce métal étant, comme pratiquement tous les autres polluants repérés sur son linéaire, probablement piégé sous forme de complexes chimiques stables. Aucune des 9 analyses d'eau du Rahin (2 dans la partie Plancher-Bas et 7 réparties entre l'entrée de Ronchamp et le Beuveroux) ne dépassent les seuils de quantification.

Une deuxième campagne a permis d'approfondir nos connaissances sur ce petit ruisseau et surtout sur le chevelu du Beuveroux dont chaque bras pouvait être une source polluante. Pour le petit ruisseau, le cadmium est bien présent au hameau de la Houillère (la partie d'ailleurs la plus touchée), mais son débit étant relativement faible, le flux de polluant ne doit pas être particulièrement inquiétant (on passe ainsi de 1,27 µg/l à l'amont, à 0,24 µg/l à l'écoulement dans le Rahin, sur une distance d'un kilomètre). Il fera cependant partie des flux que nous devrons suivre régulièrement.

Le Beuveroux a créé l'évènement, la pollution apparaît au niveau de la zone dite du triage, en aval immédiat des terrils, et ce cadmium va se diluer dans le Rahin, mais reste parfaitement mesurable dans le village de Roye à 7 km de la confluence du Beuveroux. Il est certainement la contamination principale de la rivière jusqu'aux Aynans.

Mesuré simultanément avec le cadmium sur près de la moitié des prélèvements, le zinc dissous suit la même dynamique, avec une parfaite corrélation entre ces deux métaux. Les résultats de cette deuxième campagne sont représentés plus en détail carte 20.

Une troisième campagne d'analyses a été programmée pour affiner les résultats dans la zone du triage (ou zone des terrils), seuls vestiges encore présents des anciennes activités houillères. Dans le secteur se situaient la cokerie dont les ruines des trémies sont encore bien visibles, et plus au nord-est la centrale électrique. Ces derniers prélèvements ont eu pour but de valider l'une (ou plusieurs) des hypothèses suivantes:

- rive gauche du Beuveroux, se situe un terril de schistes noirs classiques. Une entreprise a repris les activités de tri de 1984 à 1987 pour en récupérer une partie de la houille encore exploitable, et GDFC s'y est installé en l'utilisant comme carrière sèche, pour valoriser les schistes en tant que matériaux de remblais. Ce terril a probablement reçu les crasses de la cokerie et autres cendres volantes, voire d'autres déchets dont l'origine n'est plus forcément connue (la fonderie Moniotte-Laurent était située juste à l'est du terril).

- rive droite, un terril ancien se consume lentement depuis des dizaines d'années. Les schistes contiennent parfois jusqu'à 30% de charbon peu exploitable, et nombreux sont les terrils qui entrent spontanément en combustion. Ce phénomène affecte principalement les terrils anciens dont les stériles provenant des ateliers de triage du charbon ou d'installations de lavage encore peu élaborées pour l'époque, comportent, en quantité variable, du carbone, de l'hydrogène et du soufre. Avec le temps, ces matières combustibles entassées s'oxydent et la combustion peut se déclarer lorsque la température interne est suffisante. La combustion qui s'effectue toujours de la surface vers la profondeur, est particulièrement lente. Sa durée peut en effet atteindre plusieurs décennies, et le volume des terrains affectés par ce phénomène est toujours plus développé du côté des vents dominants. La réaction complexe qui transforme les pyrites en sulfates ferreux, puis ferriques pour obtenir finalement de l'hydroxyde ferrique (ce qui donne cette coloration rouge bien connue aux vieux terrils) libère de l'acide sulfurique. L'acidité devient très forte (le pH peut tomber jusqu'à 2,4) et peut gêner considérablement

l'installation de toute végétation. Les photos reportées un peu plus loin témoignent de ces caractéristiques particulières. La question d'une possible libération de métaux lourds est posée, métaux qui vont se propager par lixiviation lors des épisodes pluvieux provoquant d'importants ravinements visibles sur les pentes du terril.

- rive gauche, à proximité du terril noir, descend un ruisseau venant directement du tunnel qui permettait d'amener les matériaux extraits du puits Arthur (chemin de fer de la Lucette), puits utilisé pour y déverser des déchets plastiques (dont certains PVC ont pu être stabilisés au cadmium). Ce ruisseau se perd dans une zone marécageuse qui longe le Beuveroux, juste en aval du terril noir, et sur environ 400 m (de la zone de triage au moulin de la Généchaux).

- enfin, un point de prélèvement du BRGM (en 1981), situé à 200 m à l'ouest du terril rouge, dans la petite plaine formée entre Beuveroux et Rahin (à peu près à égale distance de ces deux cours d'eau) donnait une anomalie sérieuse au cadmium, zinc et plomb. La question d'une origine naturelle de ce cadmium mérite également d'être posée.

Quatre prélèvements de sols dans la zone des terrils et un de sédiments dans le ruisseau qui descend du tunnel allant au puits Arthur ont été réalisés pour faire une comparaison avec l'anomalie au cadmium pointée par le BRGM. Les résultats des analyses de sols ont ainsi été comparés au bruit de fond géochimique national et aux anomalies métalliques modérées mesurées par l'Inra, ces valeurs de la zone du triage dépassent largement les données références.

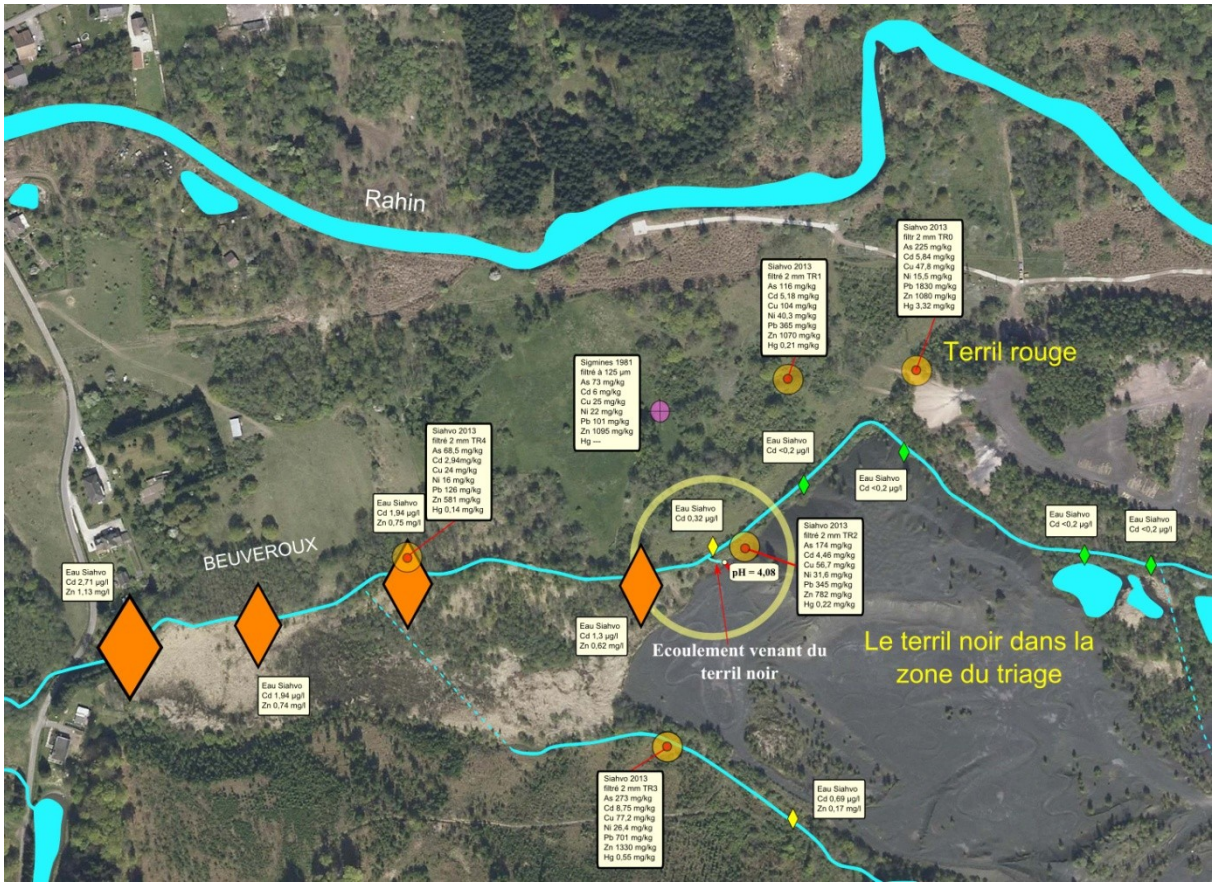
Métaux	Bruit de fond géochimique national "sol ordinaire" (INRA) en mg/kg	Bruit de fond géochimique national "anomalies naturelles modérées" (INRA) en mg/kg	Point TR0	Point TR1	Point TR2	Point TR4
Arsenic	1 à 25	30 à 60	225	116	174	68,5
Cadmium	0.05 à 0.45	0.7 à 2	5,84	5,18	4,46	2,94
Chrome	10 à 90	90 à 150	33,5	26,5	24,1	12,9
Cuivre	2 à 20	20 à 62	47,8	104	56,7	24
Nickel	2 à 60	60 à 130	15,5	40,3	31,6	16
Plomb	9 à 50	60 à 90	1830	365	345	126
Zinc	10 à 100	100 à 250	1080	1070	782	581
Mercure	0.02 à 0.1	0.15 à 2.3	3,32	0,21	0,22	0,14

Tableau 6: Teneurs en métaux lourds zone de triage et données moyennes de l'INRA

Le cadmium est bien présent dans ce secteur, et le pied du terril rouge est la partie la plus contaminée, avec en particulier cette dose impressionnante de plomb et la réapparition du mercure que nous attendions à cause de l'ancienne cokerie (pourtant il n'avait pas été mis en évidence dans les sédiments du Beuveroux).

Nous avons fait des relevés systématiques de pH dans tous les ruissellements qu'on peut trouver aux pieds des terrils. Un écoulement qui vient du terril noir, mérite une attention particulière. Cette eau acide (pH de 4,08) se jette dans le Beuveroux quelques mètres à côté, précisément là ou apparaissent zinc et cadmium dans ce ruisseau. Ce point est sans doute essentiel dans nos investigations.

Toutes ces valeurs sont reportées sur la carte suivante, cette zone particulière est donc bien un candidat sérieux à l'origine du flux de cadmium et de zinc.



Carte 21: Contaminations polymétalliques zone triage (SIAHVO 2013)

Les données laissent entrevoir une contamination de la plaine à l'ouest du triage, sans doute plus vaste que ces quelques prélèvements proches des terrils ne le laissent supposer. Le Beuveroux véhiculant du cadmium sous forme biodisponible, il faut pour cela qu'un processus chimique soit à l'origine de leur remise en circulation, car il est couramment vérifié que des ETM piégés dans des sédiments ou des sols sont difficilement remobilisables.

Un risque à vérifier, le Drainage Minier Acide

Ces résultats apportent un nouvel éclairage sur les pollutions métalliques du Rahin, elles s'apparentent fortement au phénomène connu sous le terme "Drainage Minier Acide" (ou DMA, voir BRGM). L'acidité produite dans les terrils est une source importante de pollution des zones humides et milieux aquatiques, même loin en aval. Plusieurs métaux peuvent être libérés en même temps, engendrant une écotoxicité supérieure à celle de chacun pris séparément (potentialisation), c'est le cas des métaux comme le zinc, le cadmium et le cuivre qui peuvent agir en synergie sur les écosystèmes.

Ces métaux qui sont alors rendus solubles dans les effluents miniers, ne sont pas dégradables et risquent d'être bioaccumulables pour de nombreuses espèces animales. Si les terrains traversés par ces polluants sont acides, l'acidité des eaux n'est pas modifiée et permet la diffusion des polluants sur une longue distance. Dans le cas de terrains calcaires (milieux basiques), ces métaux précipitent sous forme de composés insolubles. Mais lors des conditions hydrologiques intenses (l'hiver en général), ces métaux peuvent à nouveau redevenir solubles selon les modifications des conditions physicochimiques des milieux. Un exemple est tristement célèbre en France, c'est le cas du cadmium qu'on détecte dans l'estuaire de la Gironde et qui rend les fruits de mer totalement impropres à la consommation, ce métal vient du site de Decazeville (bassin du Lot), à plusieurs centaines de kilomètres en amont.

Dans les phénomènes de "Drainage Minier Acide", l'arsenic présent dans l'arsénopyrite (et d'autres minéraux, car la partie vosgienne du département est particulièrement touchée) est solubilisé, des bactéries pouvant participer directement à ce phénomène. L'arsenic va se retrouver sous formes de complexes chimiques multiples, dont certains sont solubles, d'autres peuvent précipiter. Cette libération de l'arsenic pourrait bien être à l'origine des teneurs relativement élevées qu'on mesure juste à proximité immédiate des terrils, et plus spécifiquement au pied du terril rouge. Le plomb qui se trouve également à forte concentration à cet endroit (près de 2 gr/kg dans le sol) pourrait s'expliquer par les mêmes processus chimiques déclenchés par l'acidification locale.

Il faut également s'attendre à la remobilisation d'autres polluants dans l'eau du Beuveroux, soit par l'intermédiaire d'un écoulement sous la surface du sol (drainage naturel classique), soit lors des épisodes hydrologiques sévères.

Cette possibilité d'un impact des terrils explique également la présence du cadmium alors qu'il est d'utilisation restreinte dans l'industrie depuis quelques années (RÈGLEMENT CE No 1907/2006). Si cette hypothèse devait se vérifier, il faut envisager la recherche d'autres métaux lourds remis en circulation dans le Beuveroux, car jusqu'à présent nous n'avons ciblé que le cadmium et le zinc.

Les photos suivantes donnent une idée de l'ampleur des terrils encore présents dans le secteur.

Photo 3: Terril rouge, extrémité ouest avec ses ravinements

Photo 4: Vue du sommet du terril rouge, au fond à gauche coule le Beuveroux

Photo 5: Le Beuveroux coule entre les deux terrils noir et rouge

Photo 6: Probable Drainage Minier Acide au pied du terril noir

La contamination des bryophytes en amont du Beuveroux

Il faut souligner que toutes les anciennes mesures sur bryophytes à l'aval de Ronchamp, qui mettaient en évidence la forte contamination au cadmium de cette zone, ont été faites quelques centaines de mètres en amont de la confluence du Beuveroux. Cela signifie sans ambigüité qu'un flux de cadmium vient bien du Rahin hors Beuveroux, même s'il est beaucoup plus faible, soit par l'intermédiaire du petit ruisseau au nord de la zone Maglum, soit par le Rhien, mais probablement pas du "Canal de Ronchamp" où nos mesures n'ont rien détecté dans l'eau (et pas non plus d'un rejet annexe puisque nous avons réalisé 6 analyses d'eau réparties entre l'amont de Ronchamp et le Beuveroux).

On peut se poser plusieurs questions concernant ces différents points, en particulier peut-on faire la démarche inverse qui consiste à estimer, même grossièrement, la concentration en cadmium dans l'eau qui a produit ces valeurs très importantes en 2008 dans les bryophytes (pour mémoire 42,5 mg/kg de MS), et se trouve-t-on dans une situation où ces polluants dissous circulent différemment selon les conditions hydrologiques ?
A la première question, on peut se référer aux différentes études en laboratoire qui permettent d'estimer un facteur de bioaccumulation BCF (rapport en la quantité de cadmium mesurée dans les bryophytes en mg/kg et la concentration du polluant dans l'eau en µg/l). Prenons le cas de Fontinalis Antipyretica dont le BCF est estimé au minimum à 24 000, cela nous amène à des concentrations de cadmium dans le Rahin, à cet endroit, de 1,7 µg/l si les conditions de dureté et pH de l'eau sont réunies. Mais il n'est pas certain qu'il s'agisse bien de ces bryophytes, car la rivière n'en est pas si riche dans cette zone. Dans le cas d'autres mousses, on donne des BCF qui peuvent monter jusqu'à 200 000, ce qui nous amène cette fois à une concentration en cadmium dans l'eau à 0,2 µg/l. Sans aller plus loin sur ces arguments qui mériteraient d'être discutés, on est dans des ordres de grandeurs parfaitement compatibles avec ce qui pourrait provenir de quelques ruisseaux impactés par des anomalies en cadmium.
Les conditions hydrologiques influencent certainement ces flux de cadmium, comme le montre les données suivantes. Dans le cadre de la DCE, un point opérationnel

complémentaire permet de suivre la qualité du Rahin juste avant sa confluence avec l'Ognon, et nous disposons maintenant des concentrations en polluants sur matrice eau. La limite de détection est plus basse que pour nos analyses (0,03 µg/l contre 0,2 µg/l dans notre cas), et les suivis sont réalisés mensuellement.

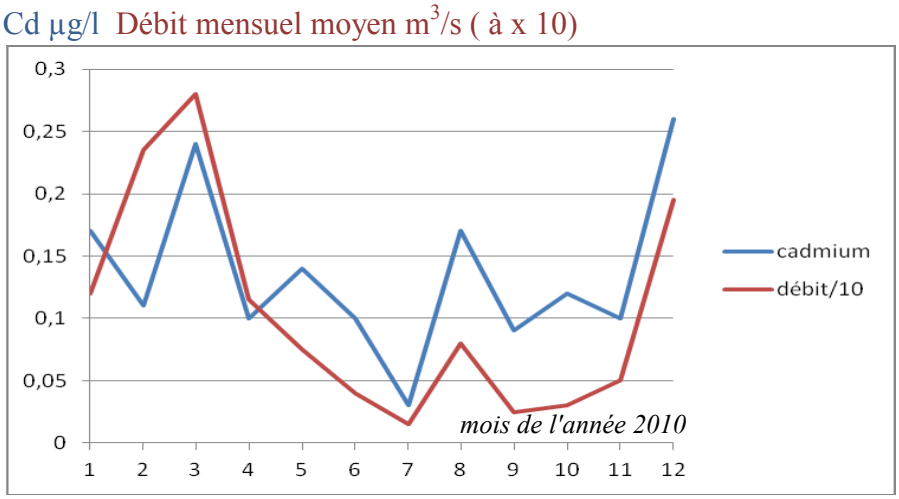


Fig. 9: Cadmium dans l'eau au Val de Gouhenans, et débits Rahin à Plancher-Bas (2010)

Nous observons ici une forte réduction des pollutions métalliques en été, ce qui paraît logique (le Rahin se perd sous son lit normal à l'aval de La Côte, pour réapparaître épisodiquement sur la commune de Vouhenans), comme le montre la dynamique de la figure 8 réalisée sur l'année 2010.

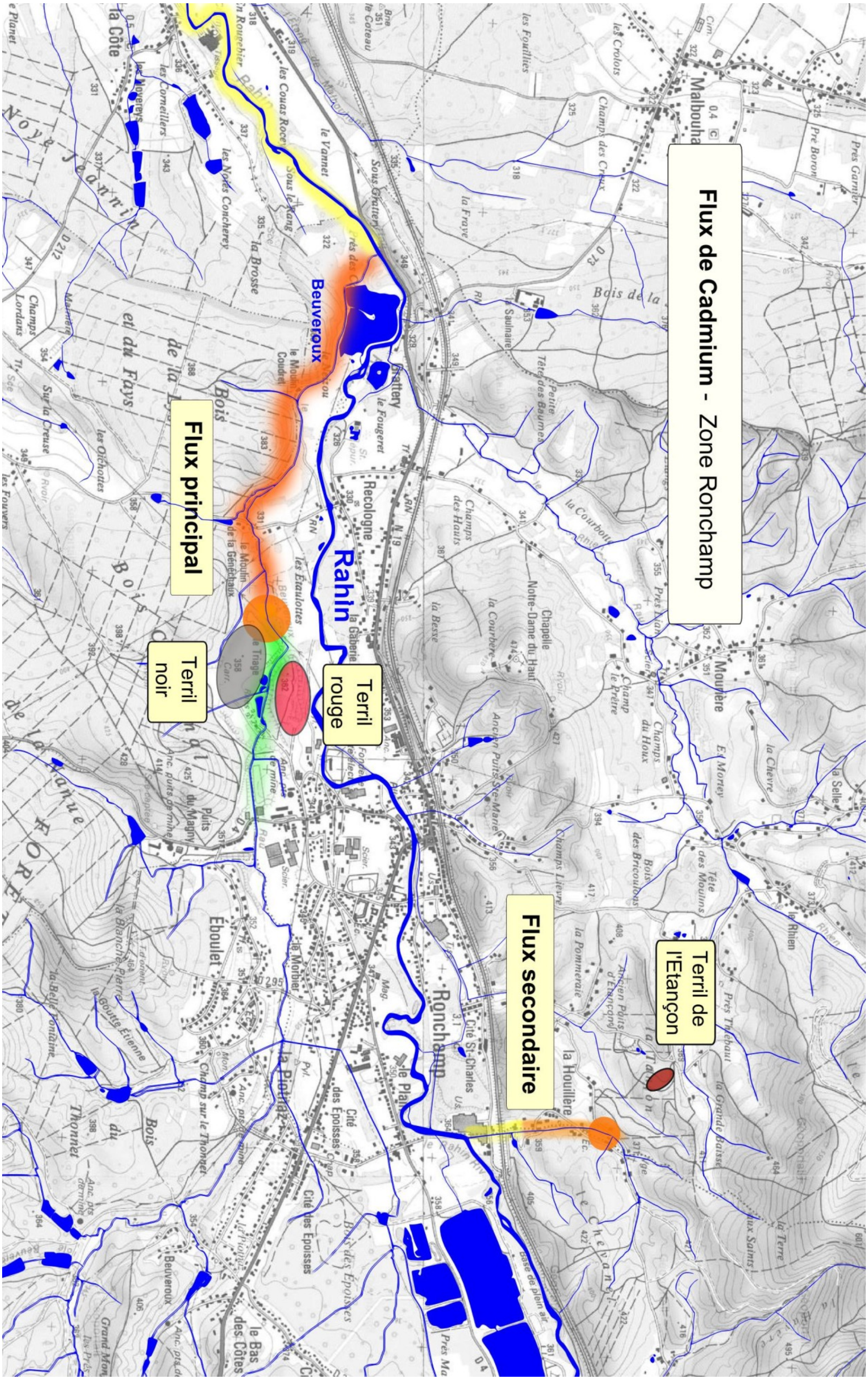
On peut en tirer quelques conclusions utiles concernant cette pollution:

- les analyses d'eau montrent, tout en aval, une variabilité importante des concentrations, avec un facteur au moins de 5 entre l'étiage et les périodes de hautes eaux.

- les mesures anciennes sur bryophytes intègrent naturellement ces variations sur le temps de latence des mousses, mais la forte concentration hivernale indique que des polluants sont remis en circulation à cette saison, ce qui pourrait conforter l'idée qu'ils viennent aussi du sol dans cette plaine en aval du triage (ou des terrils), période où ces sols sont gorgés d'eau. Une recherche plus fine des altitudes, dans cette plaine sous les terrils, laisse apparaître un léger bassin versant qui relie Beuveroux et Rahin, posant la question d'une mise en communication possible de ces deux cours d'eau en période de crue, phénomène qu'il faudra vérifier car il pourrait aussi expliquer les contaminations observées antérieurement dans les bryophytes.

Enfin, nos mesures ont été faites en période d'étiage, et on remarque cependant que la contamination du Beuveroux n'est pas progressive dès la zone des terrils (ils longent pourtant le ruisseau sur plus de 400 mètres), mais apparaît assez brutalement à plus de 100 m du pied du terril rouge, laissant penser à la contamination par un écoulement de subsurface, probablement celui que nous avons pointé photo 6.

En résumé, voici les flux de cadmium dans le Rahin et les 3 terrils encore présents sur la commune, derniers vestiges des activités minières.



Carte 22: Les flux de cadmium (SIAHVO 2013)

Une origine commune des deux flux de cadmium ?

Il est étonnant de constater que les anomalies en cadmium détectées par le BRGM viennent de secteurs d'extractions minières, celui de Mourière, exploité au 19 ième siècle avec une zone de lavage, ceux des terrils du triage (là aussi avec le lavoir à proximité) et celui du flux secondaire de cadmium. Mis à part le secteur Mourière où le cadmium n'est pas détectable dans le Rhien (mais prélèvements réalisés à l'étiage), on peut se poser la question d'une origine commune de nos flux polluants.

Voici quelques arguments pour étayer cette hypothèse, ils sont matérialisés sur la carte 24 suivante:

- les puits récents de la zone de l'Etançon (1950, 1958) ont été forés à proximité des puits plus anciens (19 ième siècle) qui eux-mêmes auraient pu être le siège de drainage miniers acides (dès la pénétration de l'oxygène de l'air dans les galeries).

- l'accident de 1950 a remis l'eau (qui avait inondé ces vieilles galeries) en communication avec les forages récents, on cite le cas des anciens puits Saint-Pierre et puits Henri IV qui se sont alors rouverts sous la pression de l'eau. Or ces puits sont à quelques dizaines de mètres de ce ruisseau où le flux secondaire de cadmium a été mis en évidence lors de nos prélèvements.

- le charbon de l'Etançon (et probablement celui des anciennes mines du secteur) était riche en pyrite de fer, élément à l'origine des drainages miniers acides. Il était acheminé par camions à la zone de triage/lavoir, à proximité du Beuveroux. Il peut donc être aussi à l'origine du drainage minier acide soupçonné dans ce secteur (terril noir) et du flux de cadmium principal.

- les eaux de la zone des puits récents étaient récoltées par une rigole d'écoulement se déversant dans l'étang Fourchie, ce dernier avait des eaux rouges très chargées en ions ferriques, preuve de drainages acides miniers venant des galeries situées plus en hauteur.

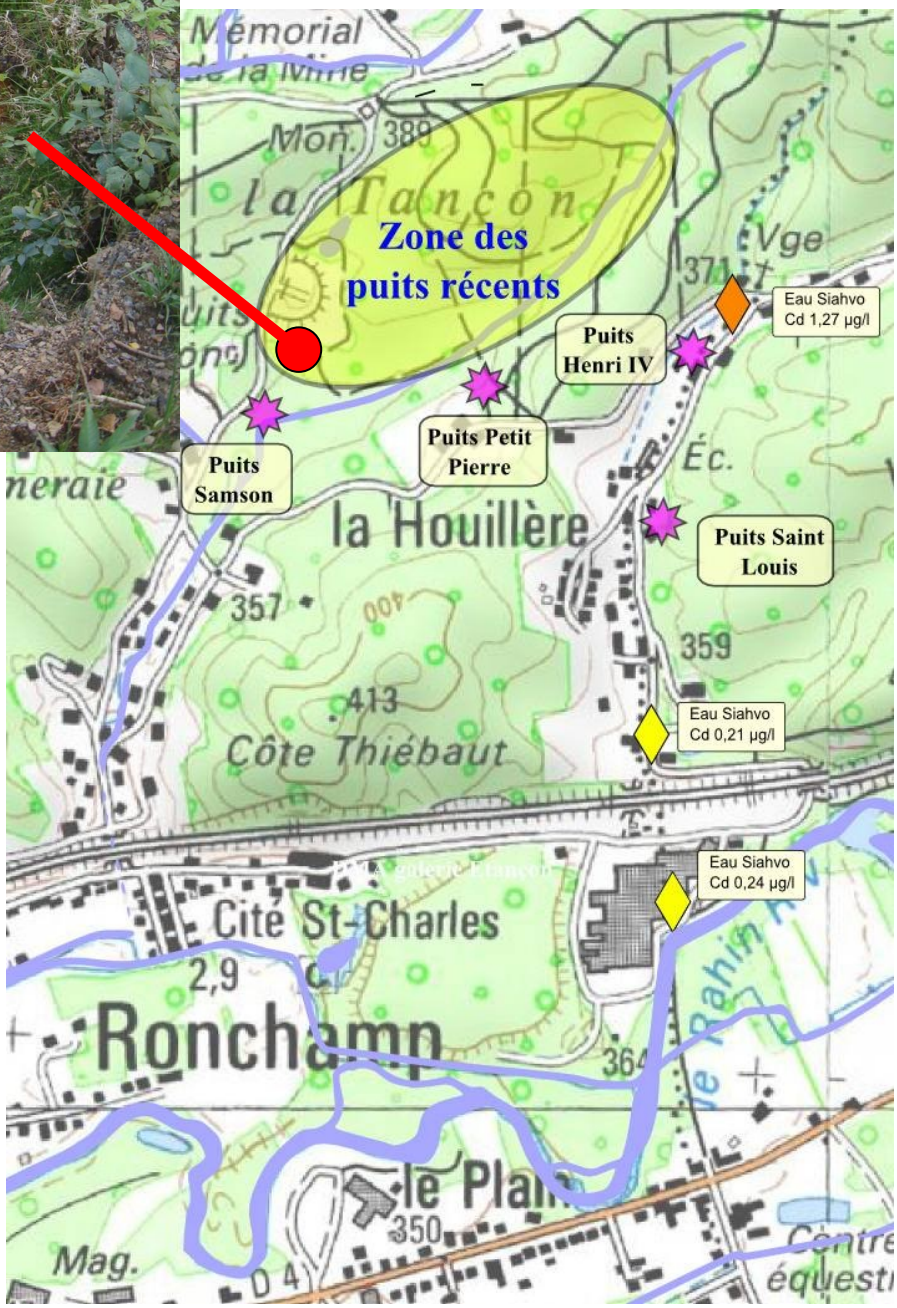
- les galeries récentes sont encore le siège de drainages acides miniers, c'est le cas de la galerie de l'Etançon dont les écoulements rouges vont se déverser dans un ruisseau en aval (photo 7).

Il pourrait exister d'autres voies de circulation des polluants vers le Rahin, une recherche systématique sur l'ensemble des ruisseaux du secteur devraient être menées, surtout en période de conditions hydrologiques sévères.

Dans la zone du Chanois (d'où vient une partie des stériles) se trouvaient la cokerie et l'usine thermique, il est tout à fait envisageable que les résidus de ces exploitations aient été reversés dans ces terrils, rajoutant encore d'autres métaux lourds à ceux contenus dans les schistes.

Beaucoup d'interrogations subsistent encore (surtout en aval de la zone de triage) pour qu'on puisse, à ce stade, proposer une procédure efficace de réduction des polluants. Une étude plus approfondie est d'abord la meilleure réponse à donner à cette problématique.

Photo 7: Probable drainage minier acide sortant de la galerie de l'Etançon



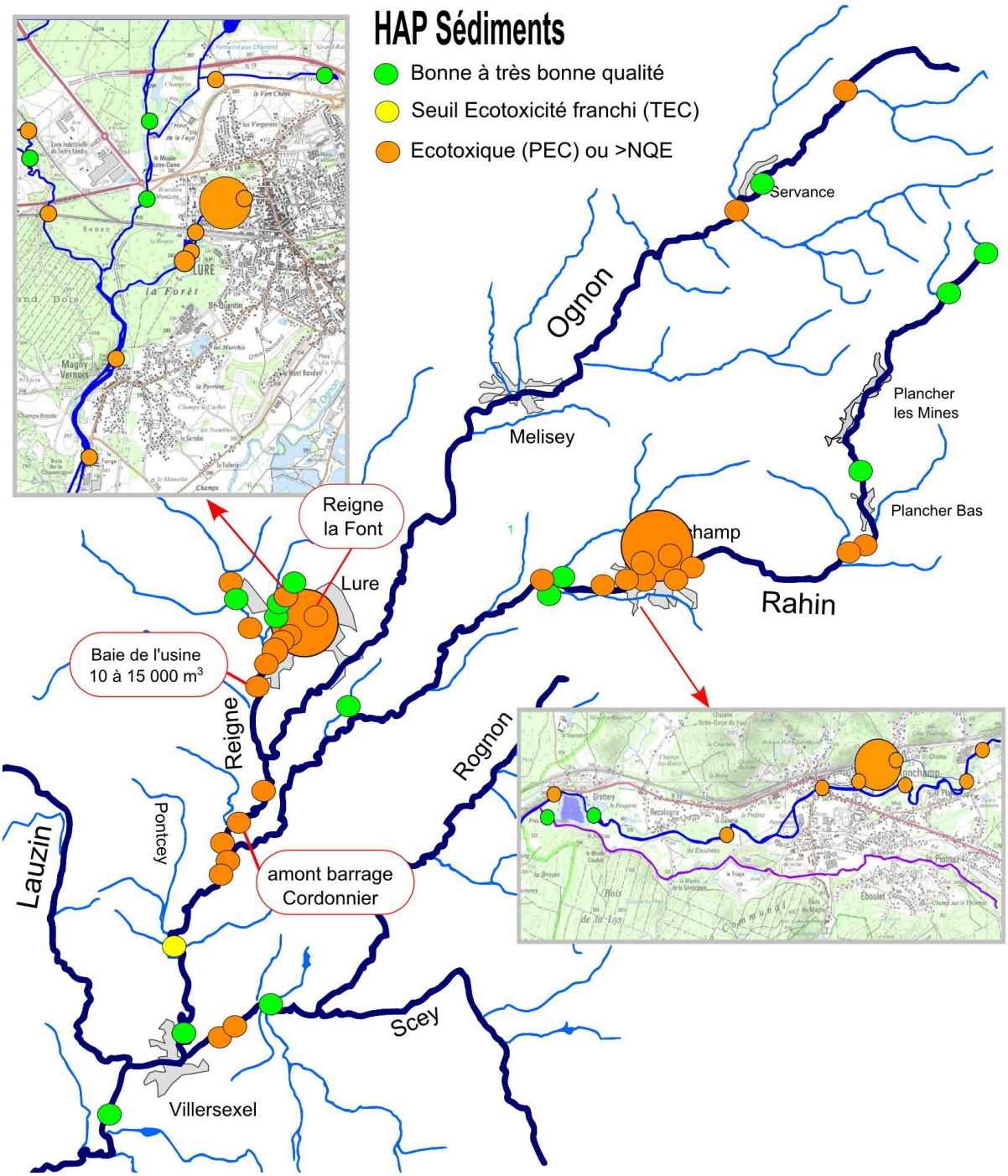
Carte 23: Le flux secondaire de cadmium et les anciennes mines

Les HAP, émissions ponctuelles et diffuses

Nous allons distinguer spécifiquement les résultats de nos analyses sur sédiments et les données récentes de la DCE (Ognon à Servance et les Aynans, et Rahin au Val de Gouhenans) qui déclassent systématiquement nos rivières à cause de la présence régulière de Benzo(ghi)Pérylène et d'Indéno(123c)Pyrène) dans l'eau.

➢ *Distribution dans les sédiments*

Plusieurs critères de qualités ont été utilisés pour caractériser nos résultats. Si les NQE sédiments existent, les sédiments sont en orange passée cette valeur. Sinon on utilise les seuils TEC et PEC habituels.



Carte 24: Distribution des HAP dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Les HAP sont des molécules très toxiques, le benzène, le dibenzo(a,h)anthracène, le benzo(a)pyrène et le benzo(b)fluoranthène font partie des 20 substances les plus dangereuses classées par l'Agency for Toxic Substance and Disease Registry. La plupart des HAP classés prioritaires par l'USEPA (United States Environmental Protection Agency), ceux recherchés dans nos analyses, sont peu volatils et très peu solubles dans l'eau. Etant hydrophobes, liposolubles et généralement peu volatils, les HAP ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques, ce qui en fait leur matrice optimale de surveillance. Ces substances sont stables chimiquement mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu. La persistance des HAP sera également fonction de leur temps de demi-vie, lequel est plus important pour les HAP les plus lourds, c'est aussi les moins solubles. Voici ces données, en jaune les plus lourds et en vert les plus légers:

HAP	*Demi-vie (j= jour, a = année)*	**HAP**	*Demi-vie (j= jour, a = année)*
Naphtalène	*16-48j*	Benzo(a)anthracène	*102j-1,9a*
Acénaphtylène		Chrysène	*l-2a,7a*
Acénaphtène		Benzo(b)fluoranthène	*360j-1,7a*
Fluorène	*32 - 60j*	Benzo(k)fluoranthène	*2,5a-5,9a*
Phénanthrène	*16-200j*	Benzo(a)p***yrène***	*57j-1.5a*
Anthracène	*50j-1,3a*	Dibenzo(ah)anthracène	*361j-2,6a*
Fluoranthène	*140j-1,2a*	Benzo(ghi)pérylène	*0,25a-1,8a*
P*yrène*	*210j-5,2a*	Indéno(1,2,3,cd)pyrène	*1,6a-2a*

Tableau 7: Demi-vie des 16 HAP prioritaires (Ineris 2005)

Pour l'ensemble des 16 HAP, les temps de 1/2 vie recensés varient énormément selon les conditions (aérobie ou anaérobie, eau, sol ou sol-eau), et les études de leur comportement dans les sols sont plus nombreuses que dans l'eau ou le milieu sol-eau. Ce tableau précédent n'est donc donné que pour situer les ordres de grandeur.

Les deux zones déjà pointées pour la présence de métaux lourds sont encore d'actualité, Reigne et "Canal de Ronchamp" et nous avons déjà discuté du fait que ces HAP, dès le centre de la ville de Lure, sont des arguments forts en faveur de l'ancienne usine à gaz comme origine du mercure (et d'autres polluants). Chacune de ces sources va ensuite contaminer la partie aval. Ainsi la Reigne contamine l'Ognon jusqu'au village des Aynans avec la présence marquée de fluoranthène, anthracène et benzo(k)anthracène. Pour le Rahin, c'est avéré jusqu'en aval de Ronchamp, avec le même spectre que pour l'Ognon en aval de Lure (HAP a durée de 1/2 vie moyenne ou longue).

On peut remarquer la présence des 3 HAP précédents dès le Haut du Them, dans l'Ognon, a proximité de sa tête de bassin. Or il y a peu d'entreprises à incriminer, laissant supposer une autre forme de contamination que par rejets directs, nous évoquerons ce cas particulier dans la partie consacrée aux HAP mesurés dans l'eau.

Avec les seuils utilisés, apparaissent également les impacts (réduits) de plusieurs petites sources potentiellement polluantes, comme dans le Picot, le ruisseau Notre Dame et le Scey.

Si l'origine de ces HAP est ancienne, on devrait donc logiquement voir régresser ces contaminations, en particulier la somme des HAP légers doit devenir une fraction très faible de la somme totale. Cela est parfaitement constaté dans tous nos résultats, sauf pour les prélèvements de la Reigne amont et le puits à proximité de l'ancienne usine à gaz de Lure,

ainsi que le point milieu du "Canal de Ronchamp", où les taux de naphtalène sont les plus élevés de toute la zone SIAHVO. Utilisé autrefois comme répulsif contre les mites (la naphtaline), cet HAP était extrait du goudron de houille qui en contenait environ 10 %. Là aucun doute possible, dans la Reigne cet HAP vient bien de l'ancienne usine à gaz. Concernant le "Canal de Ronchamp", nous n'avons pas assez d'information sur l'histoire industrielle des houillères pour en déterminer l'origine précise, mais l'incendie du terril du puits Saint Charles (1993-94) pourrait bien en être la cause, comme pour la Reigne, les HAP légers sont encore présents à doses relativement élevées, indiquant qu'ils viennent d'une source qui les alimentent régulièrement.

D'après le programme PIREN-Seine (Archives sédimentaires), trois catégories de sources sont souvent considérées pour identifier l'origine des HAP mesurés dans les échantillons environnementaux: les sources biologiques, pétrolières (bruts pétroliers et dérivés) et pyrolytiques (combustion de matériel organique par les industries et les systèmes de chauffage résidentiel, transports, incinérateurs, incendies). La discrimination de ces 3 sources peut se faire sur la présence de certains composés. Elle est fondée sur le principe de base selon lequel la distribution des HAP, pour des échantillons d'origine pyrolytique, est dominée par des HAP lourds, tandis que celle des échantillons pétroliers est dominée par des HAP légers.

Le chrysène est un composé caractéristique de la contamination par les sources pyrolytiques. Les échantillons contaminés par des hydrocarbures émanant de processus de combustion présentent, en effet, une abondance en chrysène, alors que ceux contaminés par des hydrocarbures autres (pétroliers + biologiques) ont une concentration en chrysène moindre, dans certaines études, on considère même le chrysène comme un indicateur des émissions par le chauffage individuel.

Si on applique ces règles à nos échantillons, l'origine pyrolytique des HAP est donc largement confirmée dans la Reigne puisque le chrysène contribue à hauteur d'au moins 10 % de la somme des HAP. Ce pourrait être une autre source pour les HAP mesurés en aval du Scey, avec un taux de chrysène de seulement 5,9%. Maintenant se pose la question de la pérennité de ces facteurs discriminants pour des HAP qui sont dans les sédiments depuis des dizaines d'années pour certains. Par exemple, si on discrimine sur les HAP lourds, ils contribuent pour plus de 60% de la somme des HAP, allant aussi dans le sens d'une origine pyrolytique de nos contaminations.

Certains auteurs sont allés plus loin dans la discrimination des sources de HAP, par exemple, ils citent la présence importante du fluoranthène comme révélatrice d'une origine pyrolytique. Le benzo[*a*]anthracène est normalement abondant dans les échantillons contenant des HAP provenant de phénomènes de combustion. Une concentration faible de ce composé indiquerait une origine pétrolière, ce serait alors le cas pour les prélèvements du Rahin à la stèle du Général Brosset et au Pont du Breuil aux Aynans. La discrimination ne nous parait cependant pas justifiée, étant donnée l'environnement industriel de ces deux endroits particuliers et de la très grande dispersion des valeurs d'un endroit à l'autre.

D'autres critères ont été proposés, comme par exemple le rapport phénanthrène/(phénanthrène + anthracène) qui devrait être inférieur à 0,9 pour des résidus de combustion à haute température (origine pyrolytique) alors que pour des températures plus faibles (origine pétrolière) ce rapport est supérieur à 0,9. Plusieurs rapports du même type, fluoranthène/ (fluoranthène + pyrène) ou benzo[*a*]anthracène/(benzo[*a*]anthracène + chrysène), seraient des signatures de l'origine des productions des HAP. Nous les avons appliqués sur nos analyses

sans pouvoir mettre en évidence une origine bien spécifique, les grandes variabilités dans les valeurs de ces rapports constituent un obstacle à leur utilisation.

Dans les sédiments, on peut vérifier qu'il y a bien une diminution régulière de ces HAP au cours du temps, en comparant nos données avec celles des suivis dans le cadre de la DCE. Deux endroits sont représentatifs pour confirmer cette évolution, les prélèvements étant faits aux mêmes emplacements. Voici comment se comportent quatre HAP bien connus, dans l'Ognon en amont de Servance (le pic spécifique de 2005 semble anecdotique) et l'Ognon à l'aplomb du pont du Breuil aux Aynans:

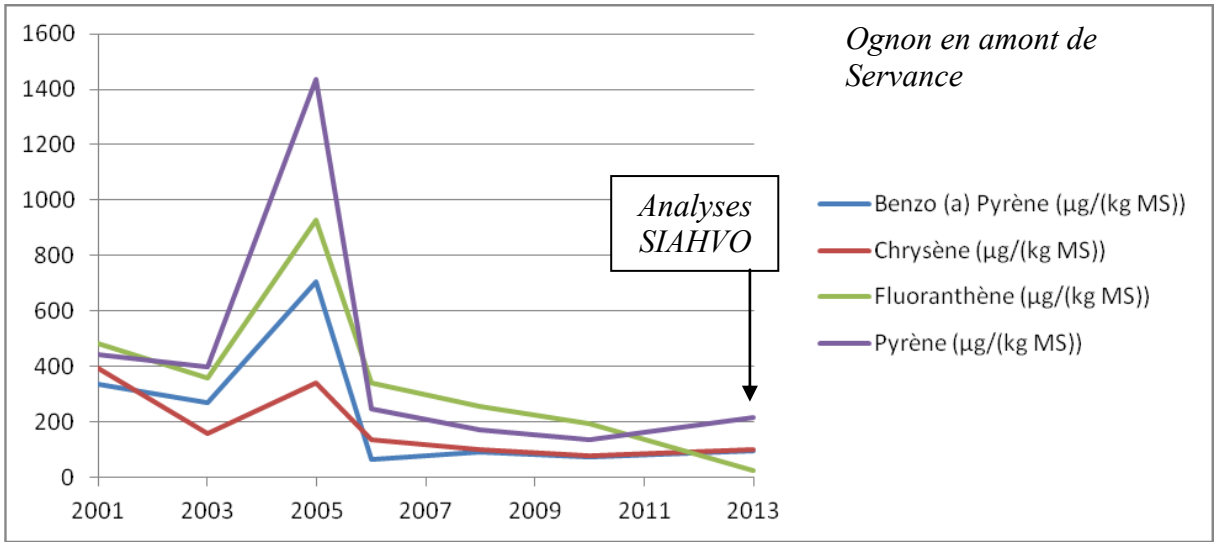


Fig 10 : Evolution des teneurs en HAP en amont de Servance

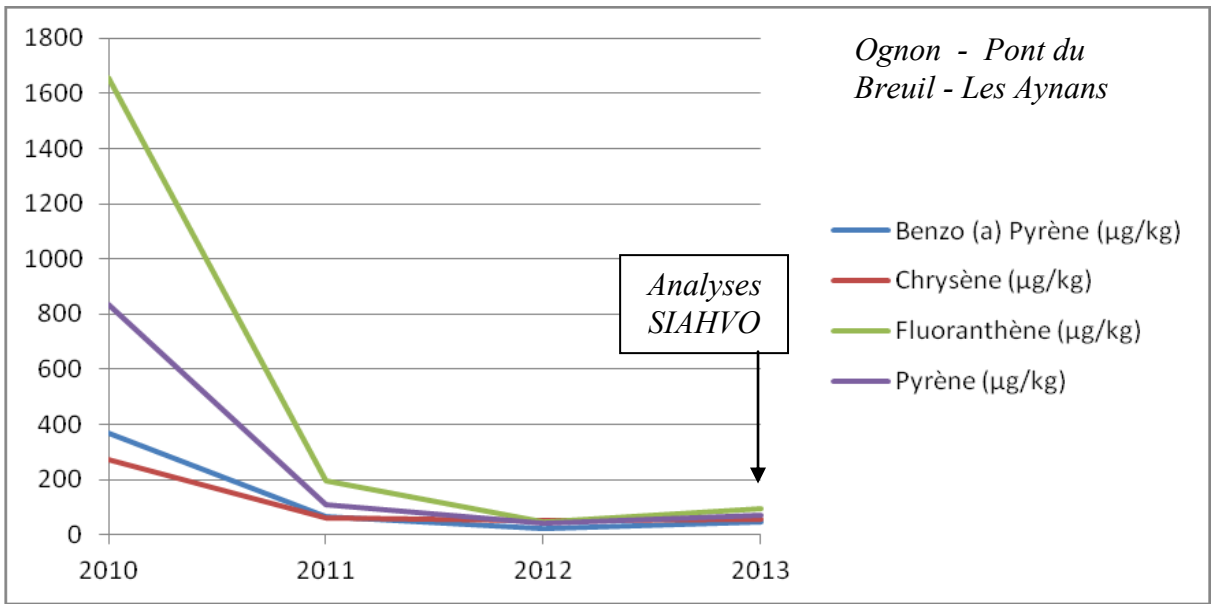


Fig 11 : Evolution des teneurs en HAP au centre du village des Aynans

Cette décroissance régulière, constatée également dans les émissions atmosphériques de HAP depuis plusieurs années, pourrait conforter l'idée d'une contamination des sédiments par lessivage des sols sur lesquels se dispersent les rejets de sources comme les appareils de chauffage (dont les émissions sont en lente diminution). Nous en discuterons plus loin dans l'analyse que nous ferons des HAP mesurés dans l'eau.

Les préconisations que nous exposerons par la suite devraient permettre une nette amélioration en faisant disparaître le point critique de la Reigne, pour le Rahin la discussion mérite d'être ouverte. Ces résultats sont donc une nouvelle intéressante en ce qui concerne les "réservoirs sédimentaires". Si on regarde plus précisément les deux Hap déclassants des dernières analyses de la DCE (dans l'eau), ils ne le sont pas dans les sédiments si on prend les NQE calculées, mais ces valeurs sont rarement utilisées, laissant planer un doute sur leur pertinence.

➢ *Une origine pyrolytique*

Analysons maintenant le cas des HAP systématiquement déclassants (Benzo(ghi)Pérylène et Indéno(123c)Pyrène) des 3 stations la DCE de notre secteur (dont la station de Servance, pratiquement en tête du bassin de l'Ognon). Si l'on reprend l'état des lieux réalisé sur l'ensemble des rivières française (Convention ONEMA-INERIS 2009 Action 15), la moitié de l'hexagone est systématiquement déclassée par ces 2 mêmes HAP, alors qu'ils ne sont pas dosés dans l'autre moitié, on peut donc s'attendre à une contamination généralisée (en France, ainsi que dans toute l'Europe et l'Amérique du nord comme le montrent de nombreuses études). Plusieurs laboratoires se sont penchés sur cette épineuse question, plusieurs rapports et thèses sont maintenant disponibles, on pourra se référer à la bibliographie résumée en fin de document.

On voit progressivement converger les études qui mettent en évidence, hormis les sources polluantes particulières (industrielles ou naturelles), un processus de contamination par les retombées atmosphériques des émissions produites lors de différents processus. Le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) a publié un document du 10 septembre 2013 qui classe les sources d'émissions de HAP selon l'ordre suivant:

- le résidentiel/tertiaire : 61% du fait essentiellement de la combustion de la biomasse dans les installations domestiques,
- le transport routier : 30%, en particulier les véhicules diesel,
- l'industrie manufacturière (4%),
- l'agriculture/sylviculture (3%),
- la distribution et la transformation d'énergie (1%),
- les autres modes de transport hors routier (1%).

Les émissions cumulées correspondent à 19 tonnes émises sur l'ensemble du territoire national, en baisse (régulière) de plus de 50 % par rapport à 1990. Cette diminution vient du fait du remplacement des systèmes de chauffage anciens par des appareils plus performants. En revanche, la part du transport routier est en progression lente du fait de l'extension du parc de véhicules Diesel. On remarque naturellement des variations conjoncturelles dues aux conditions climatiques qui révèlent des pics d'émissions lors des saisons froides. On peut s'étonner du fait que ces quelques tonnes devraient être négligeables par rapport à la surface du territoire français, mais il faut tenir compte de quelques particularités: les 2 HAP en question sont déclassants pour des concentrations infimes (< 2ng/l pour la somme des deux), et ils sont les plus lourds, les plus lents à se dégrader, et ne sont quasiment pas solubles dans l'eau (on risque donc de les retrouver sur de grandes distances).

Plusieurs thèses ont vérifié la corrélation entre ces émissions atmosphériques qui vont ensuite se retrouver dans les milieux aquatiques par le lessivage des sols lors des épisodes pluvieux, d'abord dans l'eau puis se stockent dans les sédiments où ils peuvent produire du relargage dans l'eau (voir bibliographie). Ils vont alors subir une lente dégradation (soit dans les sols

quand en période sèche, soit dans les différents compartiments des milieux aquatiques). Certains travaux pointent également une forte amplification des transferts vers les cours d'eau en période neigeuse, où ils sont transportés directement dans les eaux de ruissellement (rappelons qu'à cause du même risque, l'épandage des lisiers est interdit sur la neige).

En reprenant les données de la DCE, nous devrions donc être capables de mettre en évidence une corrélation entre concentration de nos HAP, pluviométrie (indirectement par le débit de la rivière à l'endroit des prélèvements) et surtout changements climatiques (avec un maximum en saison froide si les systèmes de chauffage résidentiels sont en cause).

Prenons le cas le plus représentatif, l'Ognon en amont de Servance (station des Champs Fourguenons, juste en aval de la commune du Haut du Them). Nous sommes quasiment en tête de bassin. Voici ce que montre l'évolution chronologique des teneurs en HAP en les comparant au régime hydrologique de cette même station:

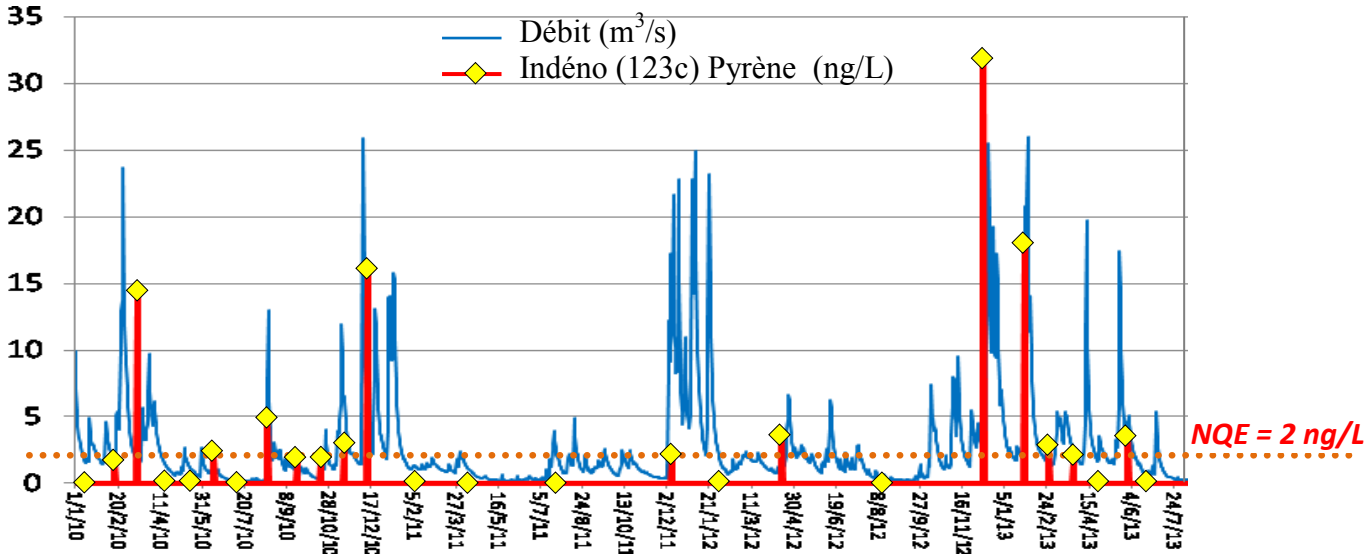


Fig.12a : Les 2 HAP déclassants en fonction du débit de l'Ognon (Indén. Pyr.)

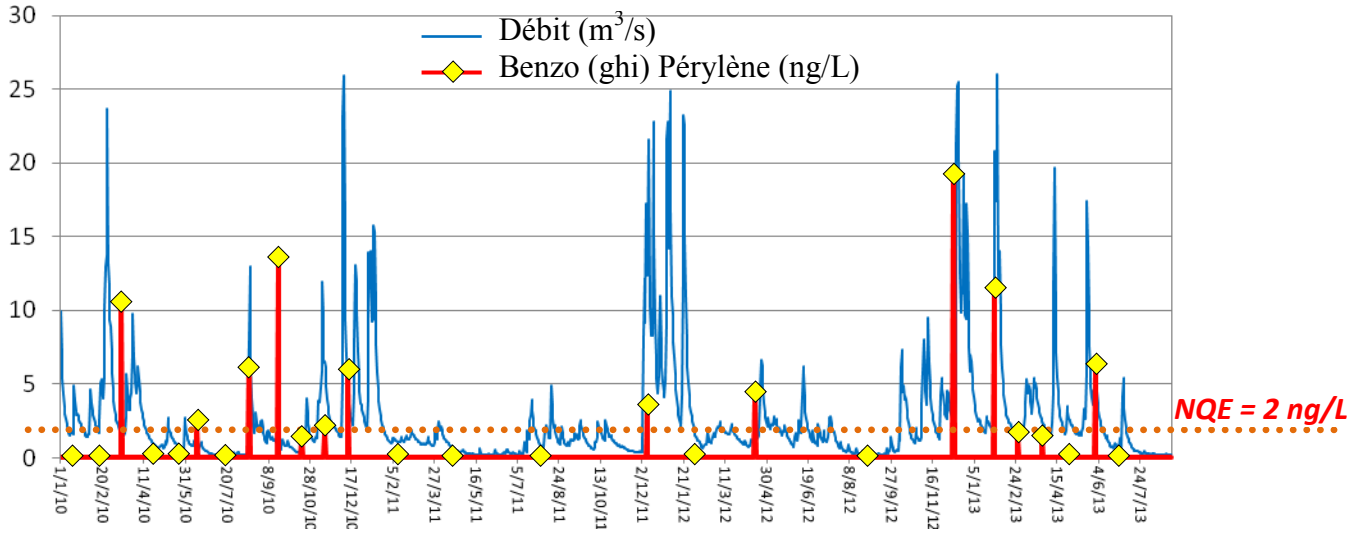


Fig.12b : Les 2 HAP déclassants en fonction du débit de l'Ognon (Benzo. Péry.)

La corrélation franche entre le régime hydrologique et les teneurs mesurées n'est pas sytématique, et les proportions respectives de ces HAP ne sont pas constantes. Une augmentation de ces polluants en périodes de fortes eaux n'est pas toujours vérifiée, par exemple en décembre 2011 les pluies importantes ont fait monter le débit 2 jours avant la date du prélèvement, un lessivage des sols aurait alors apporté sa dose de polluants, ce qui n'est pas

le cas. Cependant, mises à part deux analyses de 2010, les variations des concentrations de ces deux HAP sont identiques, laissant envisager une origine commune. Par contre, le chauffage résidentiel rejetant de moins en moins de polluants, cette diminution est compatible avec ce qu'on observe dans nos sédiments.

On peut aller plus loin dans la recherche des corrélations entre les phénomènes météorologiques, hydrologiques et nos pics de HAP. Nous avons repris l'ensemble des archives qui peuvent nous donner des indications (relevés de températures moyennes, pluviométrie, débits des rivières et recherche des épisodes neigeux en basse altitude). Voici ce qu'on peut obtenir pour la période du 1er décembre 2011 au 10 mai 2013:

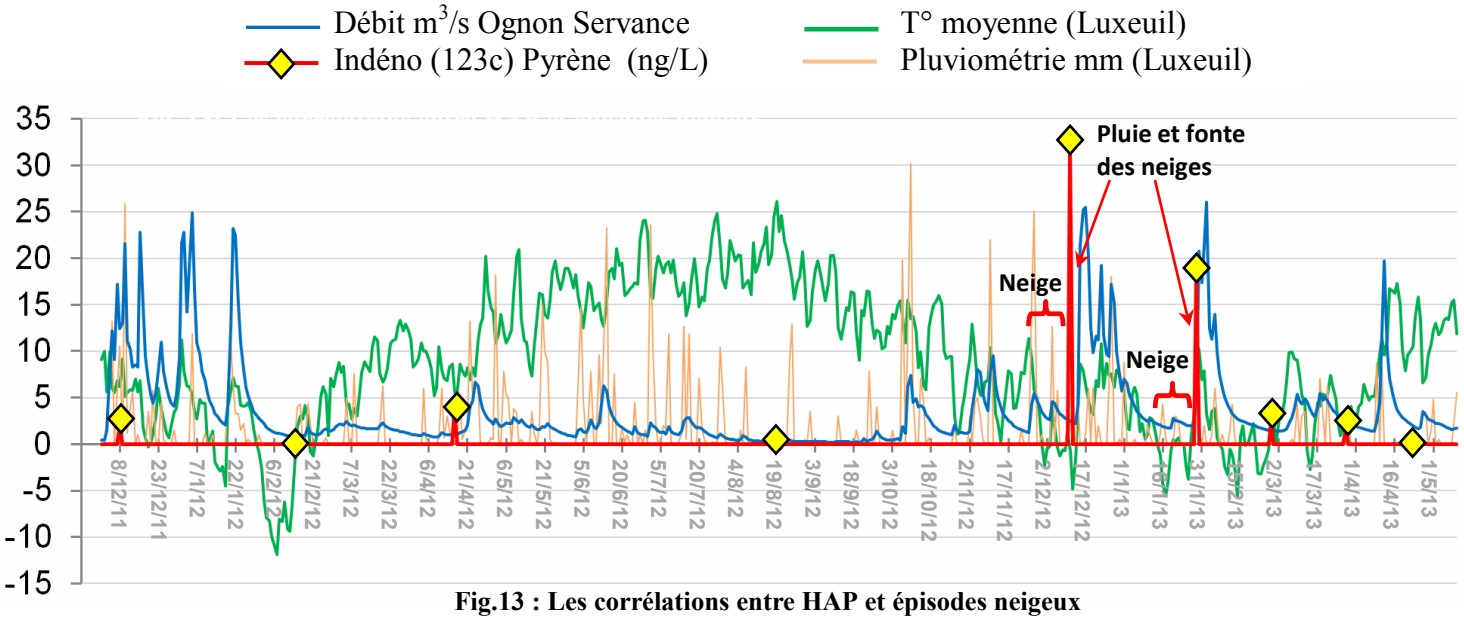


Fig.13 : Les corrélations entre HAP et épisodes neigeux

Certaines relations apparaissent dans tous ces phénomènes:

- Episodes neigeux jusqu'en plaine, les 7 et 10 décembre 2012, pluies le 11 décembre, jour du prélèvement DCE (fonte des neiges d'altitude à partir du 14 décembre).

- Episodes neigeux jusqu'en plaine, les 10,14,15,16,17 janvier 2013, pluies le 19 janvier avec début de la fonte des neiges, prélèvement DCE le 29 janvier.

- Pas de neige en basse altitude en décembre 2011, pour le prélèvement DCE du 8 décembre 2011. Pas de fonte de neige pour le prélèvement DCE du 13 février 2012

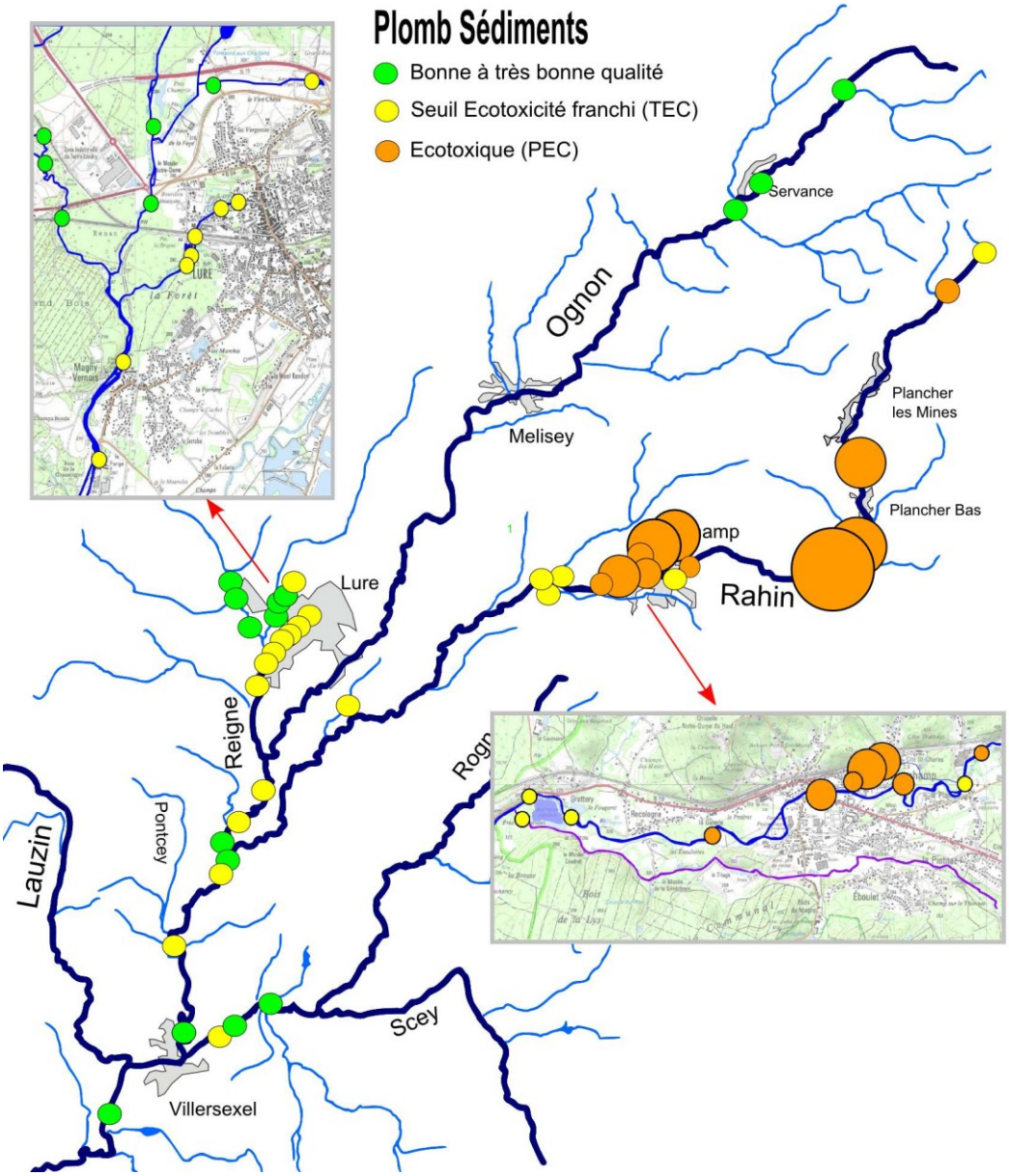
En conclusion, les pics d'Indéno (123c) Pyrène (et d'autres HAP) apparaissent essentiellement en période froide, et surtout après un épisode neigeux en basse altitude (les neiges des sommets des Vosges ne semblent pas être porteuses de ces polluants). La piste de retombées atmosphériques dues au chauffage individuel semble privilégiée (diffusion sur des surfaces relativement restreintes au voisinage des sources d'émission, l'essentiel des rejets de HAP venant des chauffages au bois, selon les différentes études). En périodes estivales les retombées semblent venir principalement des voitures Diesel. Ces conclusions confirment celles déjà exposées dans quelques thèses récentes (voir bibliographie).

Cependant, de nouvelles normes sur les HAP en milieux aquatiques viennent de sortir (Directive 2013/39/UE du parlement européen), seul le Benzo(a)pyrène serait recherché, avec un ciblage précis sur le biote (NQE biote de 5 µg/kg), car les facteurs de bioconcentration dans les organismes vivants sont soumis à de nombreux aléas et rendent délicats la détermination d'une NQE pour l'eau.

L'impact des anciennes activités

Le Plomb

Comme pour les cartes qui vont suivre, on va retrouver un fort impact du fond géochimique local, l'ensemble des contaminations par le plomb est situé dans la partie amont du Rahin.



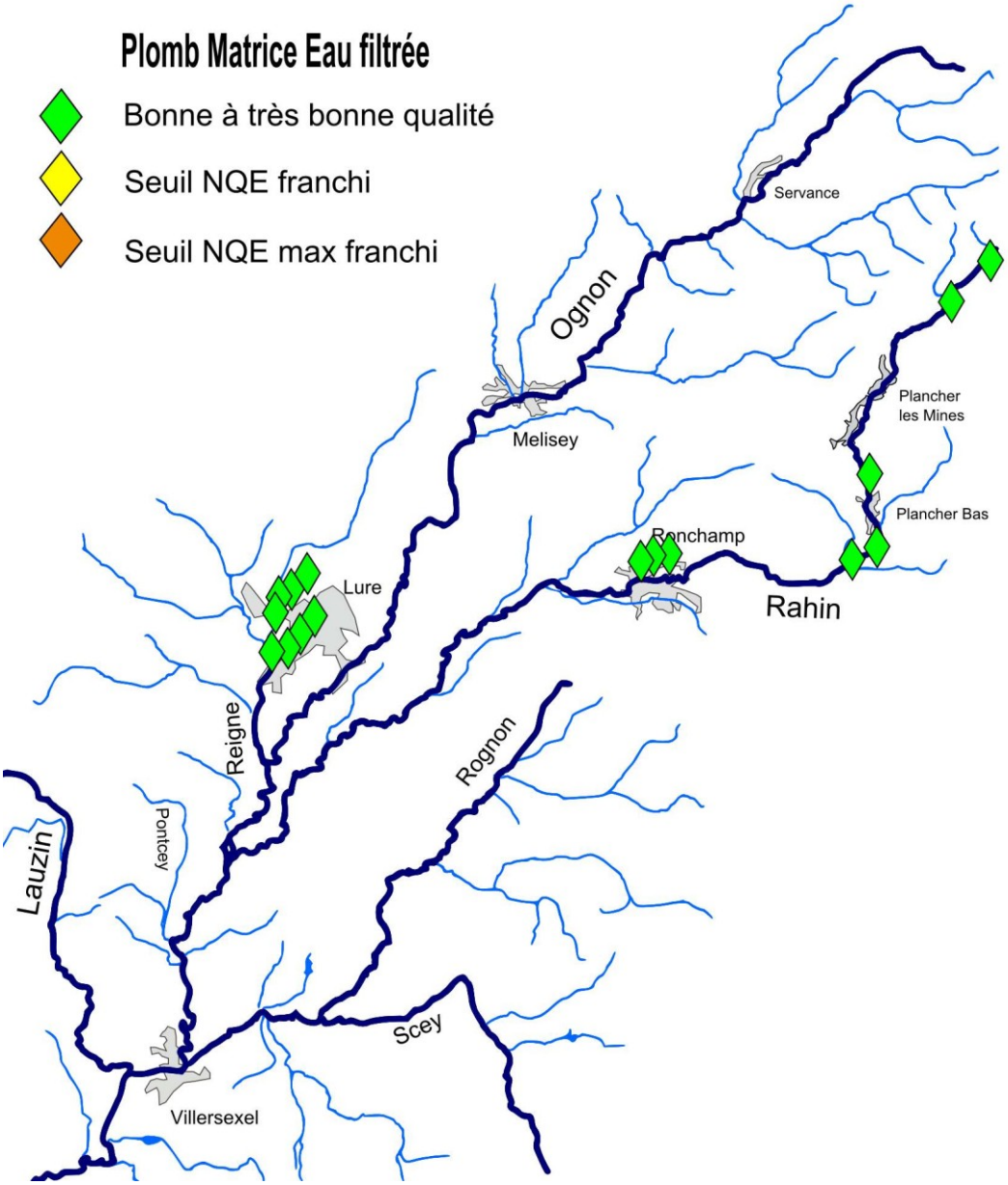
Carte 25: Distribution du plomb dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Là encore, deux zones de contamination par le plomb sont bien marquées:

- la Reigne dès sa résurgence au lac de la Font, avec les mêmes impacts des accumulations de sédiments jusque dans l'Ognon. On peut penser à la même origine que pour le mercure, l'ancienne usine à gaz de Lure, comme on l'a vu dans les sédiments d'un puits du secteur.

- le Rahin depuis sa source, est fortement impacté par le fond géochimique naturel (et toujours le "Canal de Ronchamp" par les anciennes activités industrielles).

Cependant, une recherche de plomb biodisponible n'a donné aucun résultat significatif sur l'ensemble des zones repérées, laissant penser que ce métal se trouve sous forme de complexes chimiques stables tel que le sulfure de plomb, insoluble.



Carte 26: Distribution du plomb sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013)

Il faut encore souligner la faible présence de plomb et de nickel dans les sédiments au pied de l'ancien stand de tir de la caserne de la ville de Lure (et l'absence de plomb biodisponible dans l'eau), confirmant que l'enlèvement du mur pare-balles en juillet 2008 a bien permis la disparition des pollutions mises en évidences l'année précédente dans les bryophytes, quelques km en aval.

Les résultats dans les sédiments du Rahin nous permettent de faire le rapprochement avec les anciennes activités de Plancher Les Mines, village qui doit son essor, dès le XVe siècle, à

l'exploitation de mines d'argent, de fer, de molybdène et de plomb. Plusieurs filons y ont été exploités, en particulier de galène (un sulfure de plomb avec toute une série d'autres métaux sous forme de traces, tels que argent, sélénium, cuivre, zinc, cadmium, arsenic, etc). On cite également la présence de mispickel, minerai d'arsenic associé à du fer, et celle de blende antimoniale (sulfure de zinc et antimoine). La richesse minérale de cette partie vosgienne du Rahin pourrait donc largement expliquer la présence de nombreux métaux lourds dans les fonds sédimentaires.

On peut tenter de faire une comparaison sur le linéaire du Rahin, entre la situation de 1978-81 (campagne du BRGM) et les résultats de ce projet, en prenant comme origine notre point de référence du refuge forestier de la vieille Hutte, en amont de Plancher les Mines (la zone de prélèvement Sigmines commence seulement au Rapois à Plancher-Bas).

Les anciennes études du BRGM montraient deux contaminations bien marquées à Plancher-Bas et Ronchamp (fig 11). Nos analyses (fig 12) indiquent un déplacement vers l'aval, sur la commune de Champagney. Le pic de Ronchamp est toujours visible mais probablement moindre (encore à vérifier car il pourrait résulter d'un effet du sous-échantillonnage de nos mesures).

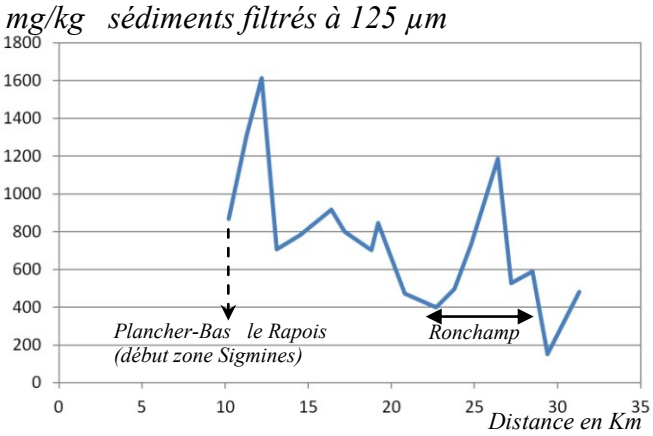


Fig. 14: Distribution du plomb, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81)

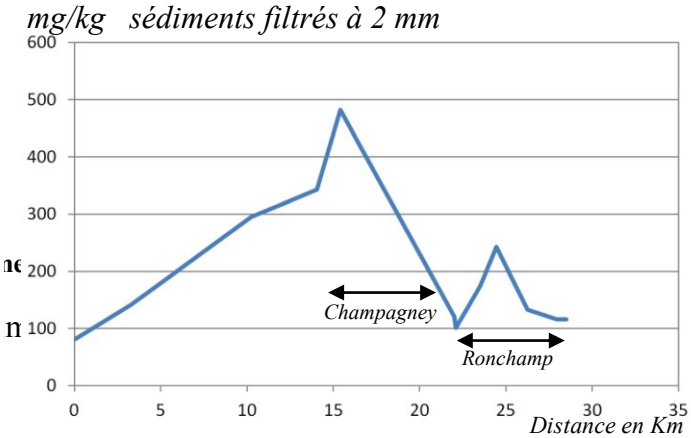


Fig. 15: Distribution du plomb, sédiments du Rahin (SIAHVO 2013)

En utilisant les données disponibles à partir de 2001 pour la Reigne, on remarque aussi que les teneurs en plomb sont en forte régression dans ce point critique à la hauteur du déversoir, pont du Parc de l'Abbaye. Cela pourrait confirmer ce qu'on observe déjà avec le mercure, une migration des contaminants vers les couches plus profondes du sol au niveau de l'ancienne usine à gaz, donc moins disponibles dans les eaux de ruissellement.

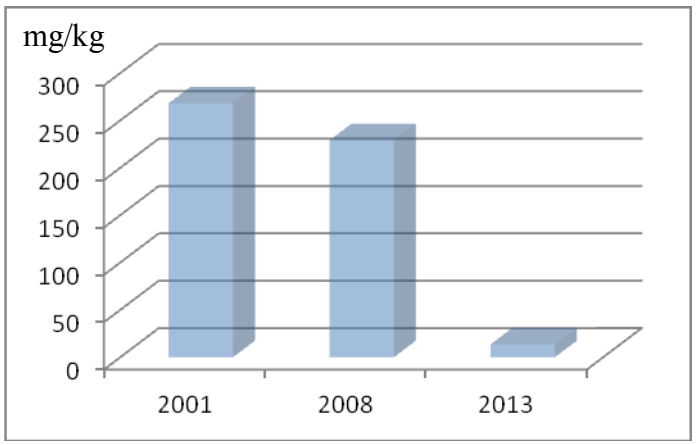
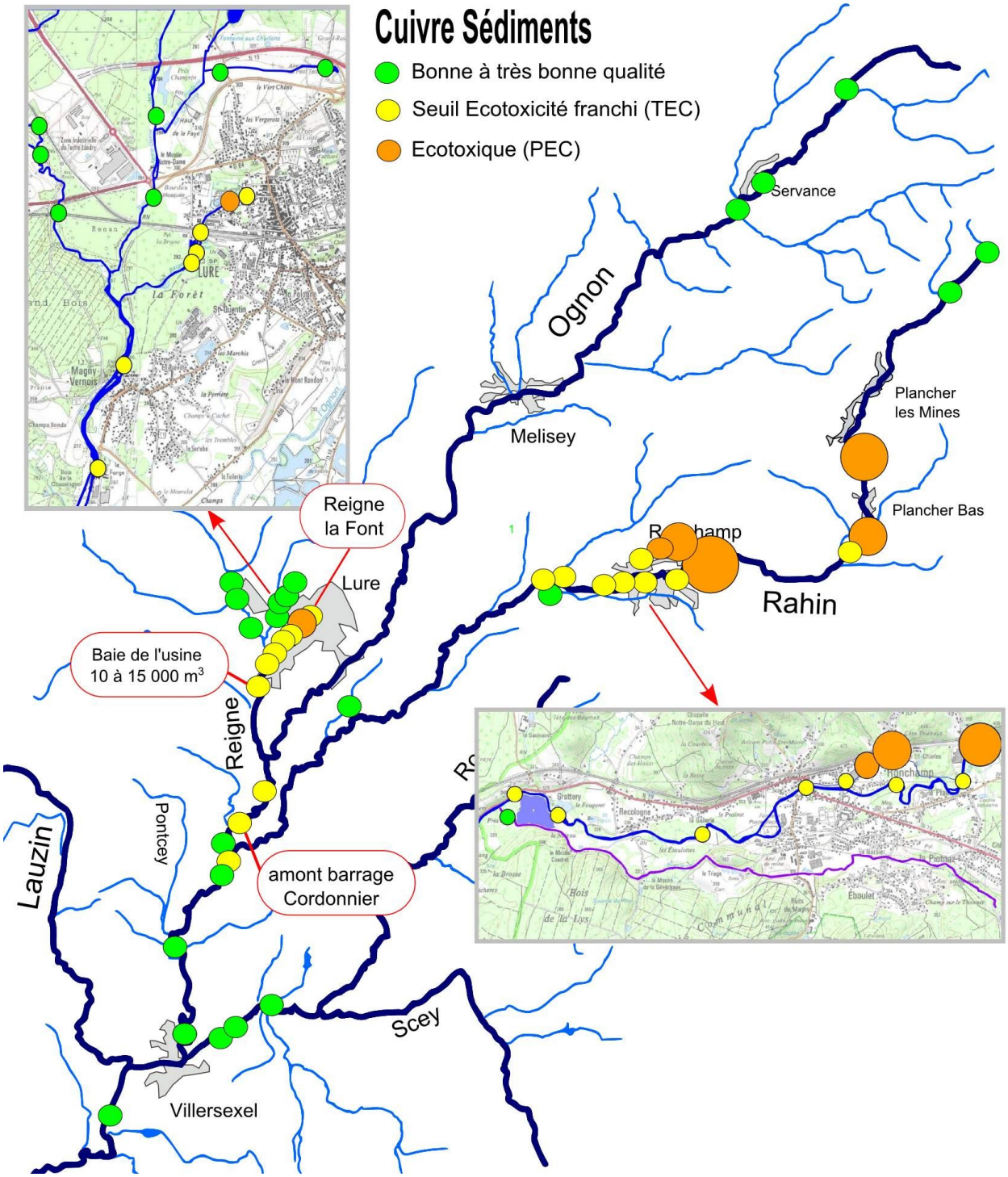


Fig. 16: Evolution du plomb dans les sédiments de la Reigne, pont du parc de l'Abbaye

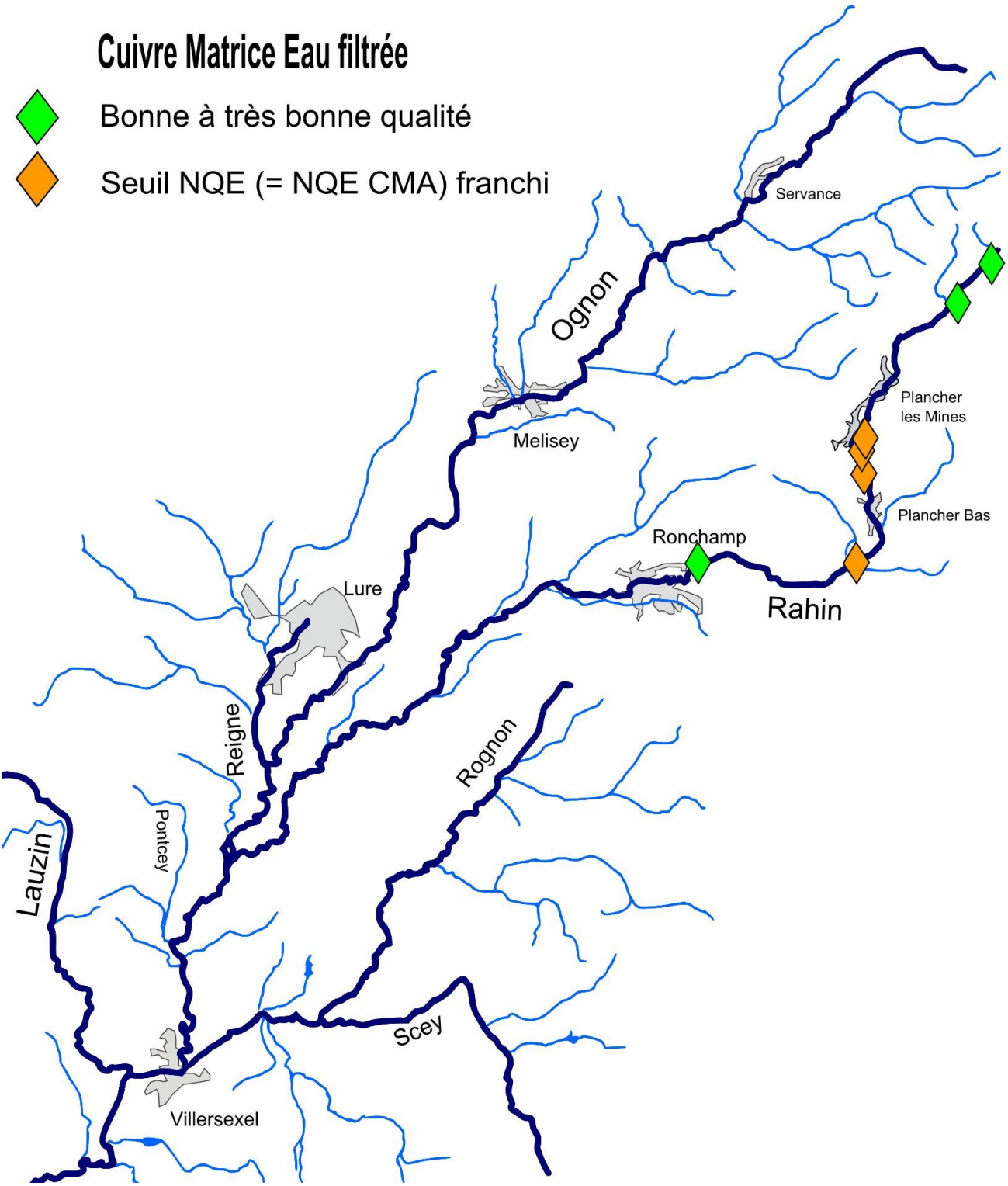
Le Cuivre

Dans les sédiments, la situation est assez comparable au plomb, le Rahin se détache avec le "Canal de Ronchamp" et la partie amont est affectée probablement par un fond géochimique provenant du secteur Plancher les Mines. La Reigne a toujours cette contamination qui vient du trop plein du réseau d'assainissement, drainant les polluants des anciennes entreprises luronnes, dont l'usine à gaz.



Carte 27: Distribution du cuivre dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Dans l'eau, cette fois le cuivre semble plus biodisponible dans la partie amont du Rahin. Notre classement est cependant critiquable car les Normes de Qualité Envitronnementale indiquent un seuil de 1,4 µg/l au dessus du Fond Géochimique local, et ce dernier n'est pas connu dans l'ensemble de la zone (on peut penser que le contexte géologique local devrait le faire augmenter fortement)



Carte 28: Distribution du cuivre sur matrice eau filtrée (SIAHVO 2013)

Avec une valeur maximale de 6,25 µg/l mesurée en aval de Plancher les Mines, il est pour l'instant difficile de faire la différence entre une origine naturelle ou anthropique. Et seulement une portion relativement restreinte du Rahin dépasse ce seuil (de ce maximum jusqu'à l'aval de Plancher-Bas). Pour situer l'impact écotoxicologique chronique du cuivre dans l'eau, nous rappellerons que les concentrations létales à 50% (CL50) sont au minimum à 15 µg/l pour les daphnies, soit plus du double de la valeur maximale mesurée localement.

Etant données les valeurs déclassantes en cuivre pointées par la DCE de 2010 à 2012, dans le Rahin au Val de Gouhenans, une recherche systématique du cuivre dans l'eau devrait être entreprise sur tout le linéaire de cette rivière, ainsi que le Beuveroux dont le Drainage Minier Acide pourrait également en produire.

Cette situation en amont du Rahin était déjà pointée par la campagne de prélèvements du BRGM en 1978-81. A titre de comparaison, voici les profils des teneurs en cuivre (anciennes et récentes) sur le linéaire de la rivière, en reprenant la méthode appliquée précédemment pour le plomb.

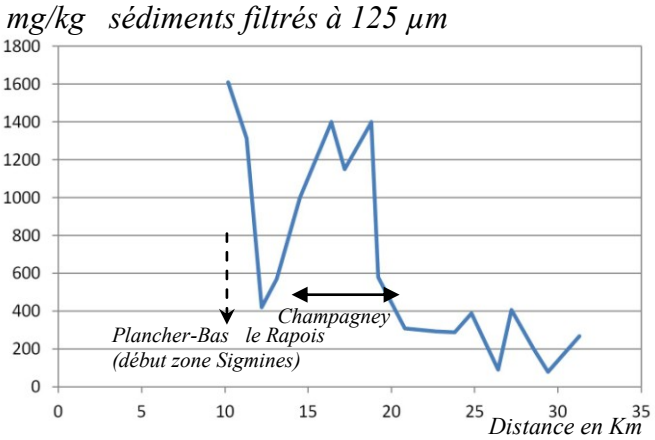


Fig. 17: Répartition du cuivre, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81)

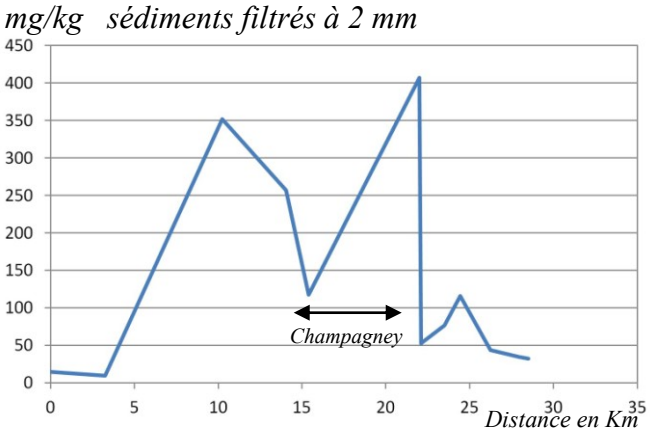


Fig. 18: Répartition du cuivre, sédiments du Rahin (SIAHVO 2013)

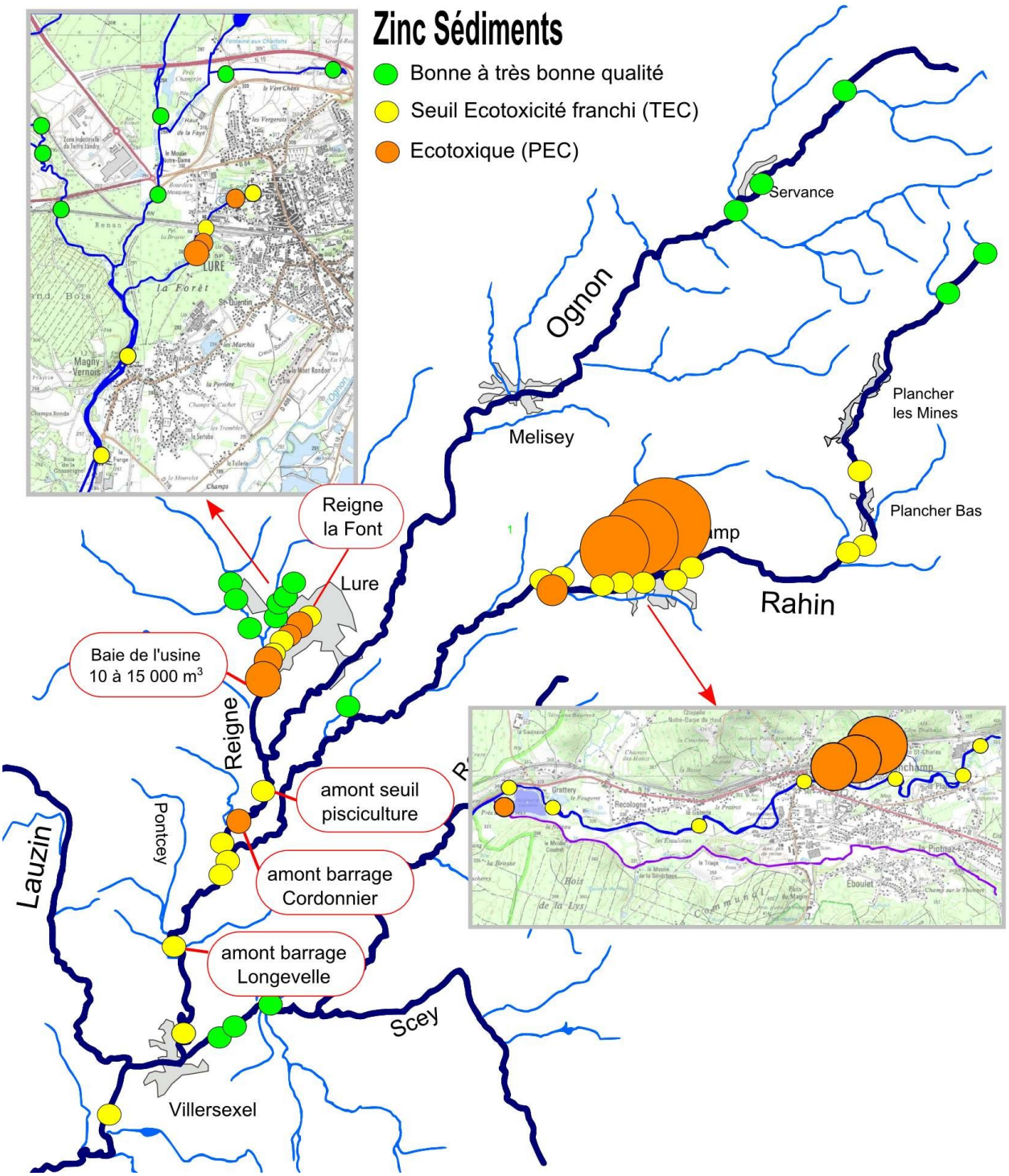
La concentration élevée à la limite de la zone de prélèvement du BRGM semblait indiquer une contamination provenant de la partie minière de Plancher les Mines et des fonderies associées, avec une accumulation bien marquée à la hauteur de Champagney (était-ce le résultat des migrations progressives des sédiments amont ? il n'y a pas d'autre élément qui explique ce pic à cet endroit).

Les données de 2013 montrent que les deux points en amont de Plancher les Mines ne sont pas (ou plus) impactés par ces anciennes activités minières, une de ces mines se trouvait précisément entre ces deux prélèvements et n'affecte pas (ou plus) la rivière. Et l'évolution des profils, bien que difficiles à analyser, semble montrer un étalement des contaminants vers l'aval.

Pour approfondir ce point, une étude pourrait être menée pour vérifier si la mise en circulation du cuivre dans l'eau ne résulte pas de changements des conditions physicochimiques locales (Soulignons, par exemple, que la commune de Plancher les Mines souffre d'une trop forte acidité de l'eau captée pour la consommation humaine).

Le Zinc

Trois secteurs sont touchés, la Reigne dès le lac de la Font, le "Canal de Ronchamp" et le Beuveroux dans sa partie aval. Contrairement aux situations précédentes, les contaminations d'origine naturelle sont cette fois relativement faibles.



Carte 29: Distribution du zinc dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Le secteur luron montre encore cette fois le problème de ce déversoir au niveau du pont du parc de l'Abbaye, endroit où se retrouvent de nombreux métaux drainés par le réseau pluvial et d'assainissement. Dans la ville de Lure, plusieurs origines sont possibles pour ce zinc, mais nous ne pouvons écarter les pollutions de l'ancienne usine à gaz, c'est d'ailleurs une constante de ce type d'installation (la comparaison avec le cas de Senlis évoqué pour le mercure est révélatrice, nous sommes dans des configurations très voisines). Ce problème, qui a un impact jusque dans les sédiments de la baie de l'usine à Magny-Vernois, trouvera certainement une solution avec les améliorations du réseau luron dont les travaux sont en cours de finalisation. Contrairement au mercure et plomb au niveau du déversoir, l'évolution du zinc ne donne pas franchement une image de décroissance depuis 2001, le suivi devrait être prolongé sur plusieurs années, mais nous sommes loin des teneurs rencontrées à Ronchamp.

Le "Canal de Ronchamp" garde donc toute la palette des déchets des industries de traitement de surface, déversés par l'ancienne entreprise locale dont nous avons déjà souligné l'impact avec la présence de nombreux métaux, constatée à plusieurs reprises. Le zinc mis en évidence par nos analyses est probablement stabilisé dans les sédiments (comme les précédents métaux recherchés), donc difficilement remobilisable sans modification importante des conditions physicochimiques du milieu. La base de données Sigmines ne mentionnait plus de grosses contaminations dans le Rahin en aval de Champagney, carte 7. L'impact du "Canal de Ronchamp" est bien considéré comme faible. Nous en parlerons de manière plus générale dans les préconisations concernant ce secteur.

Le Beuveroux mérite une attention particulière, le zinc est présent à forte dose dans les sédiments prélevés juste avant sa confluence avec le Rahin. La recherche de zinc biodisponible sur matrice eau filtrée confirme sa présence sur la partie basse de ce ruisseau. Il est totalement corrélé au flux de cadmium qui a déjà été mis en évidence, dès la zone du triage (voir paragraphe consacré au cadmium). Mais il est aussi parfaitement corrélé avec les analyses réalisées sur les fonds sédimentaires, lors de l'inventaire du BRGM en 1978-81, comme le montre la carte 31 de la page suivante. Ce métal doit donc être pris en compte de la même manière que le cadmium, en considérant que, probablement, les origines de ces 2 polluants sont identiques, avec la même étude à poursuivre en envisageant la probabilité de drainages miniers acides. Si cette hypothèse était vérifiée, les préconisations faites pour réduire l'impact du cadmium seraient naturellement les mêmes que pour le zinc, ce problème devant être traité dans un contexte plus général d'une pollution générée par d'anciens terrils.

Concernant l'évolution du zinc dans les sédiments, une comparaison avec les anciennes données du BRGM montre une dispersion générale sur toute la partie amont du Rahin, avec probablement une diminution progressive des contaminations.

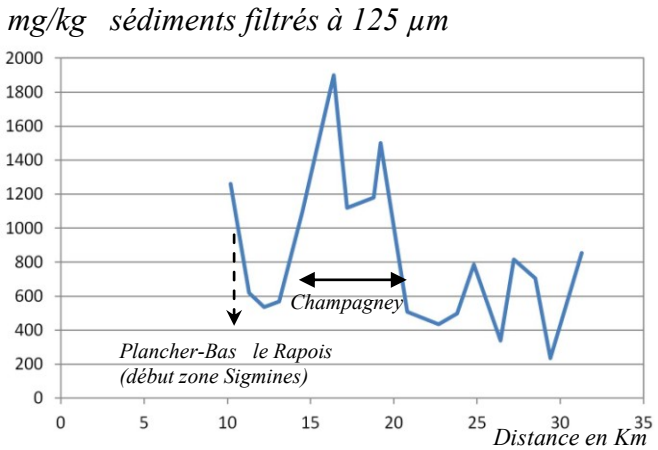


Fig. 19 : Répartition du zinc, sédiments du Rahin (Sigmines 1978-81)

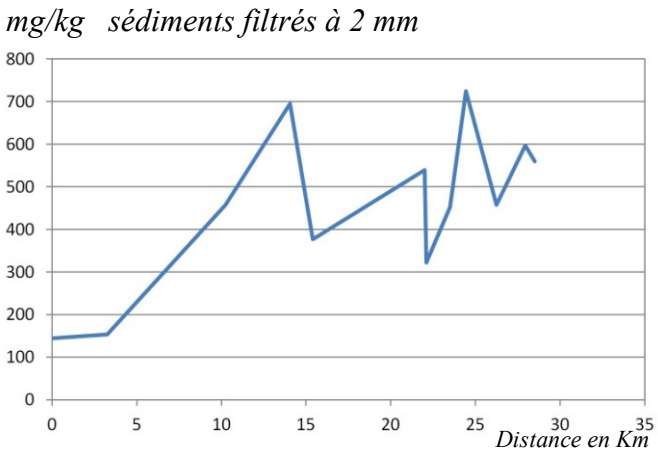
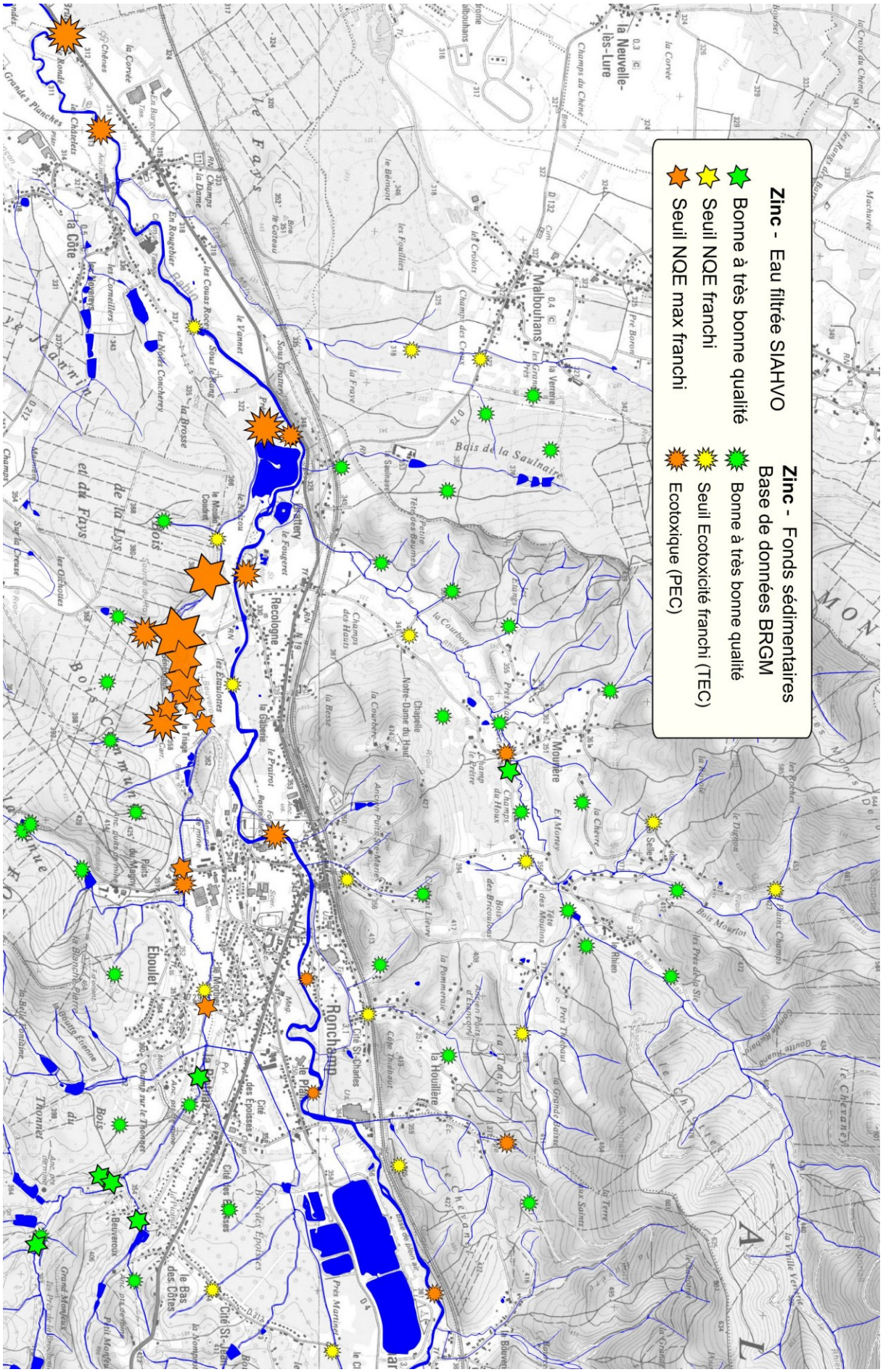


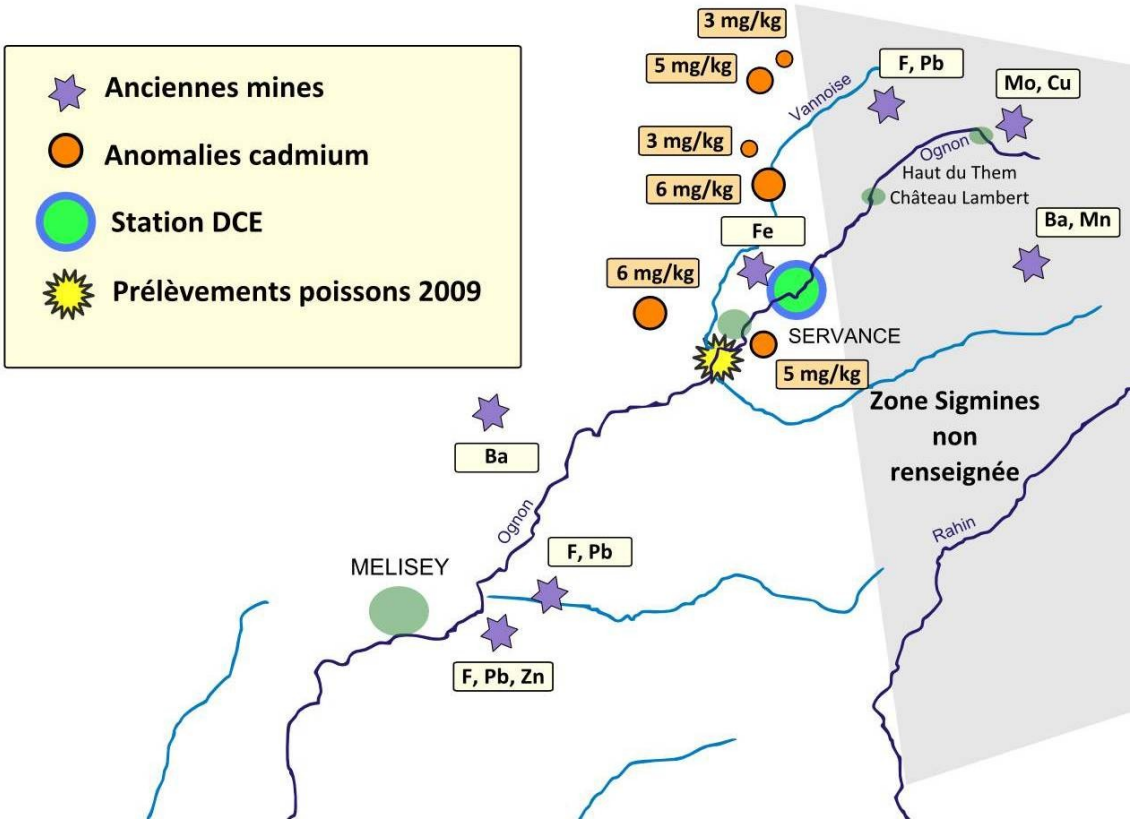
Fig. 20 : Répartition du zinc, sédiments du Rahin (SIAHVO 2013)



Carte 30: Distribution du Zinc dissous et corrélation avec les données Sigmines

Pour reprendre les analyses récentes réalisées dans le care de la DCE, les hypothèses d'un Drainage Minier Acide dans la zone de Ronchamp sont suffisantes pour expliquer la présence de zinc (déclassant) en aval du Rahin et dans l'Ognon aux Aynans. Il n'est pas impossible que le cuivre provienne du même phénomène, ce point devra être vérifié.

Le cas du zinc déclassant l'Ognon amont au niveau de Servance ressemble beaucoup à celui du Rahin, avec une même origine possible, celle d'un Drainage Minier Acide au niveau des anciennes exploitations minières des Vosges Saônoies. Voici plusieurs arguments qui plaident en cette faveur, avec en premier la cartographie de ces mines et les minerais principaux qui en ont été extraits.



Carte 31: Mines proches de Servance et anomalies cadmium du BRGM

Il est intéressant de remarquer la présence d'anomalies cadmium, relevées par le BRGM lors de ses campagnes d'analyses des fonds sédimentaires en 1978-81, comparables à celles rencontrées aux alentours de Ronchamp. Malheureusement la zone d'investigation s'arrête dans la partie nord-est (zone en grisé), avec les mêmes manques que pour la région de Plancher les Mines. La présence de ce métal suffirait à expliquer celle retrouvée dans certains poissons prélevés en 2009 (truite et chabot), en aval de Servance, juste après la confluence de la Vannoise.

Si maintenant on reprend, de la base Sigmines, les valeurs de zinc mesurées dans les sédiments de l'Ognon, elles progressent lorsqu'on arrive au voisinage de la zone en grisé, indice d'une contamination probablement plus importante dans la partie amont. Nous rappellerons que le zinc est largement présent dans le sous-sol vosgien (pour mémoire la

blende qui contaminait les minerais extraits à Plancher les Mines, celle présente dans la houille de l'Etançon à Ronchamp), et qu'il était souligné comme substance coproduite par une mine de fluorine située quelques kilomètres en aval de Servance.

Les données suivantes sont plus marquantes, elles sont tirées directement des analyses récentes de l'Agence de l'Eau. Calculées sur la prériode janvier 2010 à août 2013, les teneurs moyennes en métaux dans l'Ognon sont classées par ordre d'importance sur la figure suivante. Seuls une dizaine de métaux dépassent les seuils de quantification, avec un maximum pour le baryum, suivi du zinc (déclassant, mais de peu), du molybdène, du bore et du cuivre. La comparaison avec les minerais extraits de la zone de Château Lambert laisse assez peu de doute sur leur origine, et l'hypothèse de phénomènes d'acidification naturelle doit absolument être vérifiée dans ce secteur.

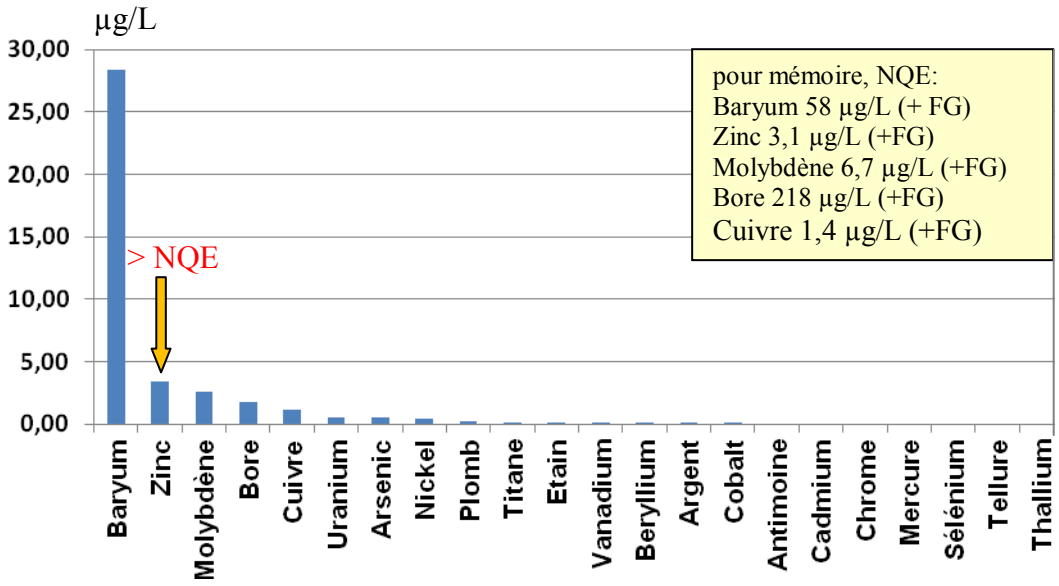
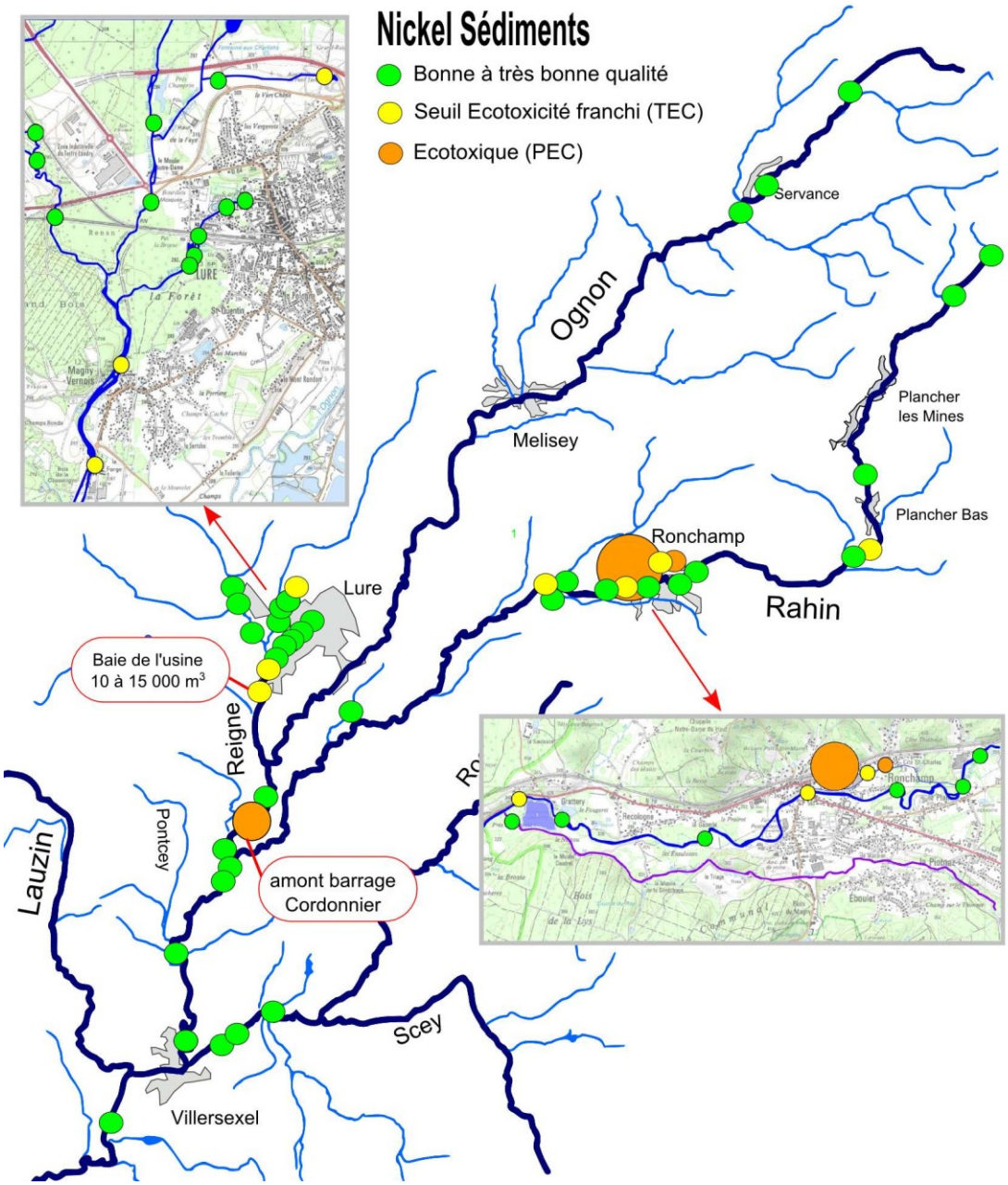


Fig 21: Teneurs moyennes en ETM dans l'eau, Ognon à Servance (2010-2013)

Le Nickel

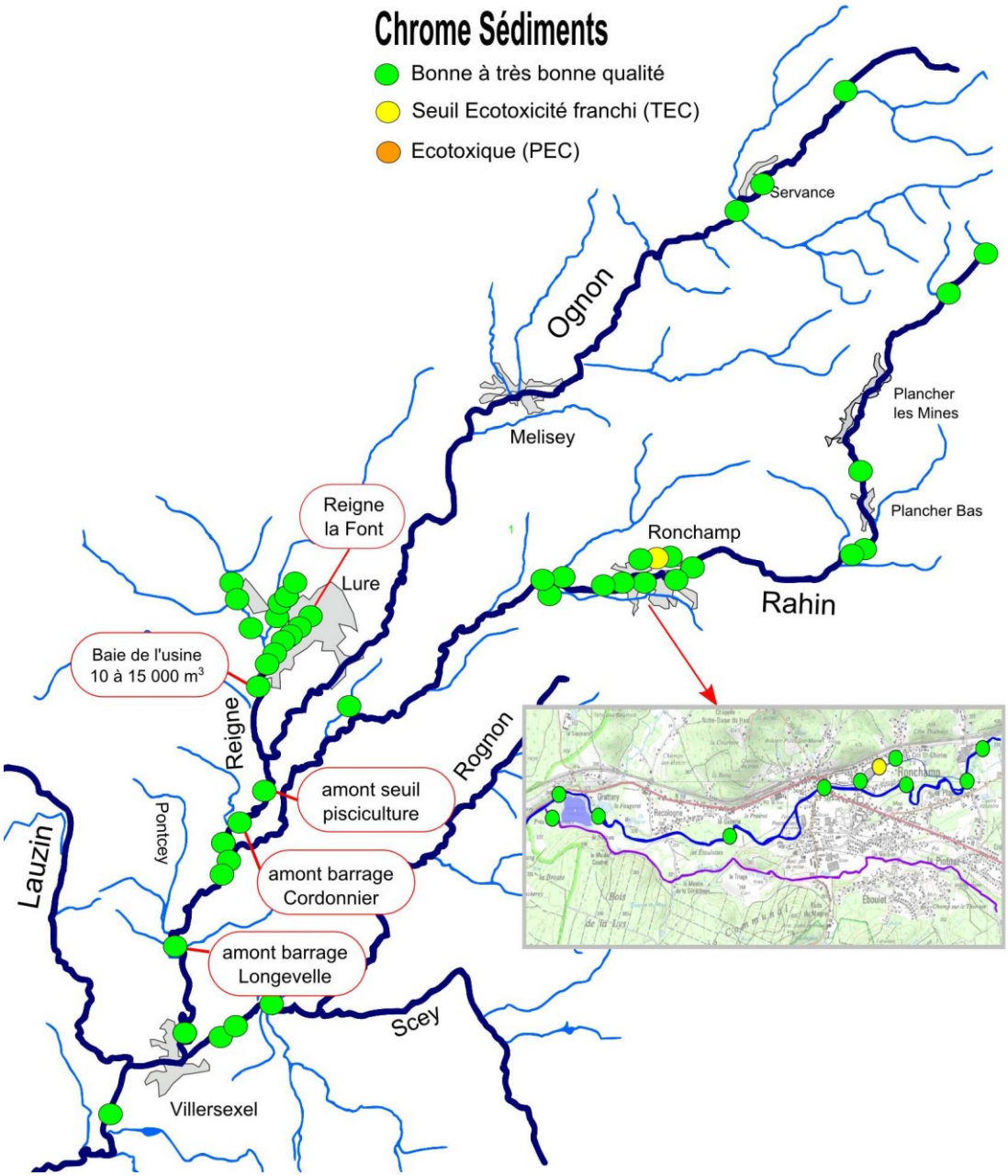
Mis à part le "Canal de Ronchamp" (teneurs > à 7 fois le seuil PEC qui devrait être surveillé globalement pour toute une série de polluants), seuls les sédiments du barrage Cordonnier en amont des Aynans sur l'Ognon indiquent un taux de contamination de 2 fois le seuil PEC. Un curage ou une meilleure circulation sédimentaire devrait résoudre ce problème. Il pourrait provenir des anciennes entreprises luronnes, le métal s'étant progressivement déplacé dans les sédiments plus en aval. Ce scénario pourrait être envisagé car il n'y a aucun rejet connu dans ce secteur. Au pied du stand de tir (maintenant déplacé) de la caserne de Lure, un léger pic de nickel conforte l'idée d'un impact fortement réduit, comme cela a été constaté pour le plomb. A titre de vérification, un dosage du nickel dans l'eau à la source de la Reigne n'a rien détecté.



Carte 32: Distribution du nickel dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Le Chrome

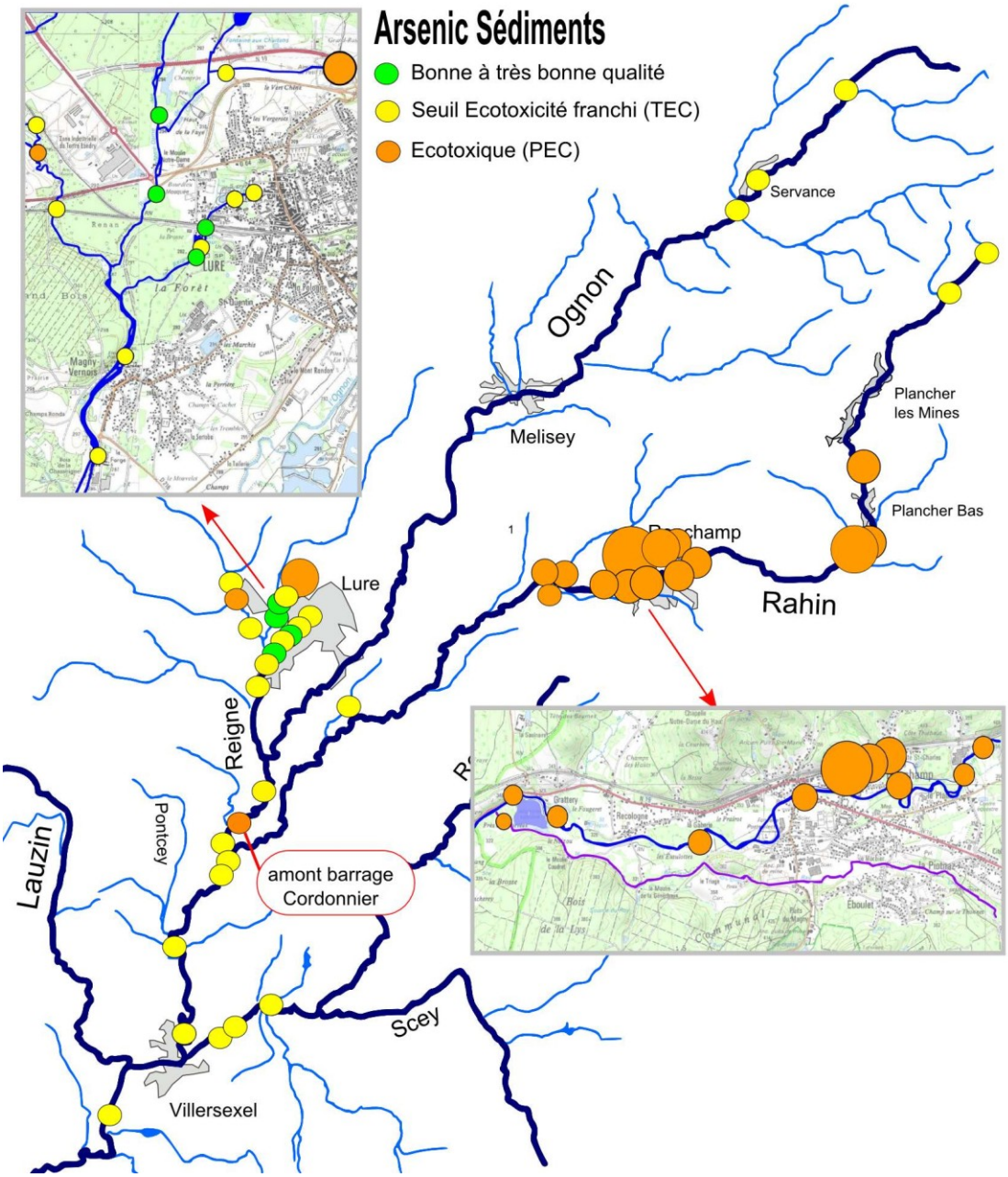
Mis à part ce léger pic dans le "Canal de Ronchamp", dont l'origine est à relier aux anciennes activités de traitement de surface du secteur, l'ensemble de la zone SIAHVO est exempte de ce genre de contamination.



Carte 33: Distribution du chrome dans les sédiments (SIAHVO 2013)

L'arsenic, une origine naturelle

Comme pour le plomb, l'arsenic est présent de manière naturelle dans les Vosges Saônoises. Le Rahin est contaminé sur l'ensemble de son parcours, l'Ognon également, mais avec des doses moindres, et les ruisseaux ne sont pas épargnés, si bien que moins de 9% des mesures indiquent un milieu conforme aux normes de qualité environnementales et près de 40% des analyses indiquent des niveaux supérieurs au seuil de toxicité avéré (seuil PEC). On pourra se référer à l'histoire minière de Plancher les Mines et de ses filons riches en arsenic, comme celui de mispickel et galène de l'ancienne gare, cité dans les archives. Ce phénomène est général et il est bien difficile aujourd'hui de proposer des solutions pour réduire ce fond géochimique. Devant l'ampleur de ces pollutions sédimentaires qui touchent probablement d'autres parties des Vosges, il serait peut-être utile de lancer une étude plus vaste, si elle n'existe pas déjà au plan national.



Carte 34: Distribution de l'arsenic dans les sédiments (SIAHVO 2013)

Il est intéressant de trouver quelques points de comparaison avec les données Sigmines, pour cela on peut faire une grossière approximation du facteur d'échelle qu'on peut trouver dans nos sédiments, filtrés à 2 mm, et ceux du BRGM filtrés à l'époque à 125 µm. En effet, les ETM s'adsorbent de préférence aux particules fines, et quelques études montrent le pourcentage de ces métaux qu'on peut mesurer dans les fractions de tailles très petites (limons et argiles) par rapport aux sables fins qui vont jusqu'au diamètre 2 mm. Ainsi, plusieurs références bibliographiques donnent des pourcentages de l'ordre de 55% pour le plomb, 65% pour le cuivre et 72% pour le zinc, concernant la fraction adsorbée dans les particules de taille inférieure à 125 µm par rapport à partie totale adsorbée dans les particules de taille 0 à 2 mm. On pourrait donc avoir facilement 2 à 3 fois moins de métal lorsqu'on filtre à 2 mm, par rapport à un filtre à 125 µm, le poids des particules de grosse taille faisant baisser obligatoirement la teneur en ETM en mg/kg de la masse totale des sédiments analysés. Ce n'est pas si absurde, puisque dans le graphique suivant, nous avons corrigé la teneur en arsenic d'un facteur 2,5, pour nos mesures de 2013, ce qui nous amène à des valeurs assez comparables à celles du BRGM.

Une tendance identique apparait bien dans les deux séries de mesure, il semble y avoir deux parties distinctes assez contaminées, la zone Plancher-Bas et celle de Ronchamp. Nos points plus en amont, absents dans les mesures du BRGM (partie en pointillé rouge), contredisent l'idée d'une contamination généralisée dès la source du Rahin. On aurait plutôt deux secteurs fortement impactés, et ils semblent à peu près les mêmes à 30 ans d'intervalle, confirmant une origine naturelle relativement stable.

Des conclusions définitives sont cependant hasardeuses à cause du sous-échantillonnage flagrant de nos données récentes.

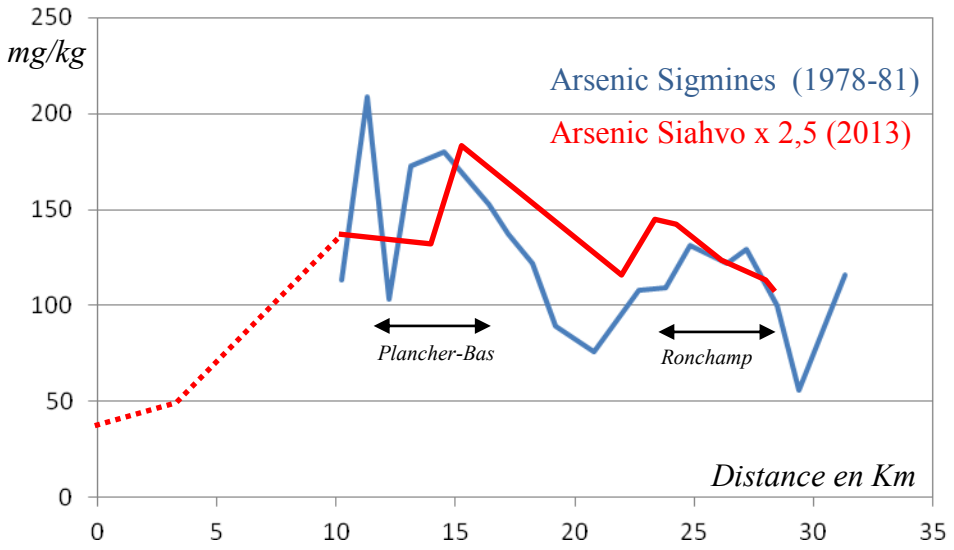
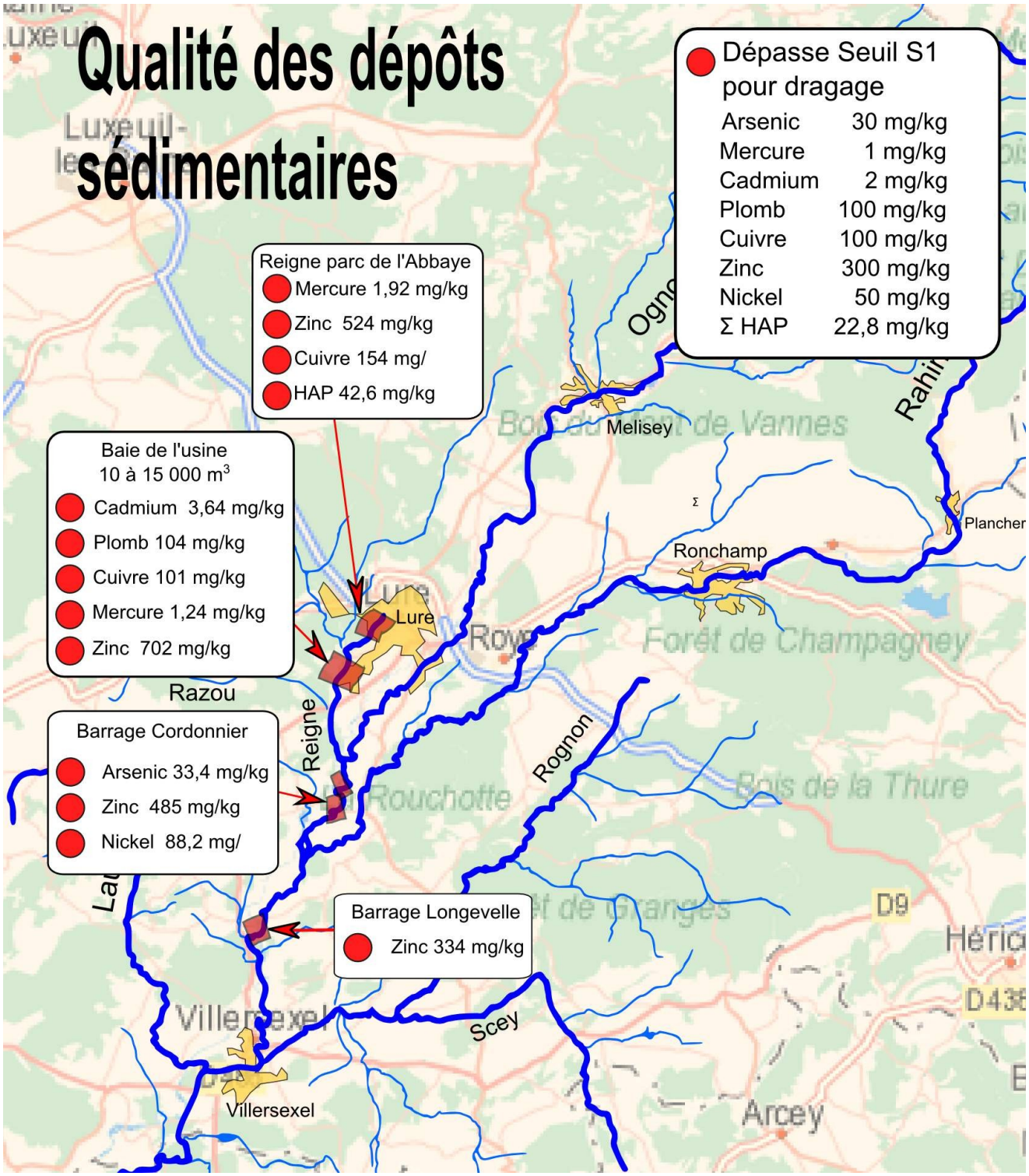


Fig. 22: Répartition de l'arsenic, sédiments du Rahin SIAHVO-Sigmines

Nous rappelons, en annexe, que l'arsenic va se retrouver dans les sols sous forme de complexes chimiques très différents, dont certains n'ont pas un degré de toxicité particulièrement élevé. Par contre, les formes inorganiques de l'arsenic (prépondérantes dans les eaux acides minières) sont beaucoup plus toxiques que les formes organiques. Ce risque doit être estimé au voisinage des anciens terrils de Ronchamp.

L'état des dépôts sédimentaires

Les matières organiques relâchées lors des dysfonctionnements de l'assainissement luron ont bien servi de pièges à métaux lourds, polluants qu'on va retrouver dans presque tous les dépôts sédimentaires rencontrés en aval.



Carte 35: Niveau de contamination des amas sédimentaires

Comme on pouvait s'y attendre, la "Baie de l'Usine" contient les sédiments les plus contaminés, avec 5 variétés qui dépassent le seuil S1, impliquant une étude d'impact en cas de dragage. Mercure, cadmium et zinc sont probablement les plus préoccupants. On constate encore une fois que l'adsorption des métaux lourds par les matières en suspension est un vrai problème lorsque ces dernières sont en excès dans un milieu aquatique. Non seulement une accumulation à long terme va se produire dans tous les endroits où la sédimentation est possible (devant les seuils en particulier), mais les bactéries qui s'y développent en font de véritables usines chimiques. C'est dans ces milieux que le mercure est transformé en un poison le plus préoccupant, le méthylmercure.

Un transit sédimentaire correct aurait permis d'éviter ce phénomène, car les taux de contamination, bien que supérieurs aux seuils S1, ne sont pas non plus catastrophiques. La solution d'un dragage ou d'un rétablissement du transit sédimentaire normal s'impose tout naturellement, à condition toutefois que l'assainissement de la ville de Lure ne continue pas ses dysfonctionnements réguliers en cas de surcharge d'eaux claires.

Il faudra nécessairement tenir compte de ces résultats dans l'étude actuellement menée par le SIAHVO sur l'impact des seuils et la continuité écologique.

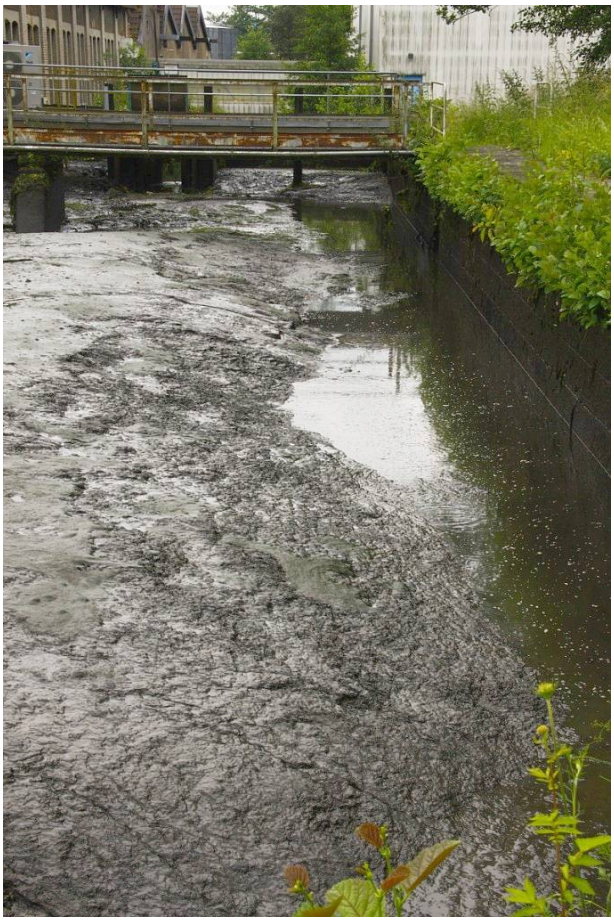


Photo 8: Les sédiments de la Baie de l'Usine à Magny-Vernois

5/ Actions préconisées

Comme le laissaient entrevoir les hypothèses qui justifiaient ce projet, il apparaît toujours deux problèmes majeurs dont nous allons discuter zone par zone plutôt que de prendre le cas de chaque polluant. Il s'agit bien de l'aval luron dont la Reigne est le vecteur des polluants, et de la partie Ronchamp dont les contaminations multiples seront traitées séparément. En effet, on peut aujourd'hui différencier le cas particulier des pollutions de l'ancienne zone industrielle au voisinage du puits Saint Charles, et celles dont l'origine se situe dans le Beuveroux (cette source est une surprise car elle semble vraiment très différente de la précédente, de par son histoire, et son principe d'action sur l'environnement).

La région de Lure et sa partie aval

L'analyse des résultats précédents l'a bien montré, le mercure (avec d'autres ETM et Hap) qui ne se rencontre quasiment qu'en sortie de la Reigne, est piégé par les matières en suspension qui proviennent essentiellement du système d'assainissement luron.

L'opération de retour à une situation normale ne peut se faire qu'en deux temps:

- Le premier doit permettre un fonctionnement correct de l'assainissement de la ville. Les travaux engagés à ce propos devraient rapidement porter leurs fruits (découplage de la source du Mortard, extension de la partie séparative du réseau, mise en place de modules de dépollution lamellaire permettant une réduction des rejets de matières organiques, même en cas de surcharge).

- Dans un deuxième temps, le curage des amas sédimentaires est à envisager sérieusement, celui de la "Baie de l'Usine" ne peut y échapper, on ne comprendrait pas que ces milliers de tonnes de sédiments contaminés soient remis en suspension dans la rivière. La Reigne, sur son parcours Parc de l'Abbaye, a déjà été curée en 2001, cette opération pourrait être reproduite sans difficulté particulière, à condition que le déversoir situé en aval de la salle de musique ne continue pas son néfaste envasement de la rivière.

Ensuite restent deux seuils plus en aval, sur l'Ognon. L'amont du barrage Cordonnier devrait pouvoir être "nettoyé" naturellement, en modifiant légèrement le transit des sédiments au niveau du seuil, de façon à laisser à la nature le soin de curer cette partie. Le SIAHVO qui est propriétaire de l'ouvrage, trouvera sans doute une solution pour qu'il ne soit plus un point de sédimentation, cette étude s'inscrivant tout naturellement dans le cadre de celle engagée sur l'ensemble des seuils de la Haute Vallée de l'Ognon. Le seuil du barrage de Longevelle doit être surveillé, les effets des modifications apportées par la remise en fonctionnalité de la microcentrale du moulin seront certainement analysés en terme de transit sédimentaire, attendons le résultat de ce suivi avant d'envisager une éventuelle action sur le barrage lui-même.

Soulignons que si ce problème sédimentaire trouve enfin une solution acceptable et pérenne, c'est le dysfonctionnement de plusieurs dizaines d'années du réseau hydrologique luron qui devrait disparaître.

La question de ces 15 000 m^3 de sédiments de la "Baie de l'Usine" va naturellement se poser. Plus que de l'enlèvement des boues, il faudra résoudre le délicat problème de leur devenir. Il semble inévitable de passer par un cabinet d'étude qui validera les différentes options possibles, mais voici un tableau qui montre qu'il existe des solutions annexes comme l'épandage de ces boues, puisque dans ce cas aucun des niveaux de contamination actuels n'est pénalisant.

Arrêté du 8 janvier 1998 Valeur limite (en mg/kg MS) acceptée dans les boues pour :		
Utilisation possible	Epandre	Reconstituer un sol
Métaux traces		
Cadmium	15	2
Chrome	1000	150
Cuivre	1000	100
Mercure	10	1
Nickel	200	50
Plomb	800	100
Sélénium	100	300
Zinc	3000	600
Composés organiques		
PCB	0,8	
Fluoranthéne	5	
Benzo(b)fluoranthéne	2,5	
8enzo(a)pyréne	2	

Tableau 8: La législation en vigueur pour l'épandage des boues

Le puits d'un particulier a fait l'objet d'analyses dans le cadre de cette étude, il était situé à moins de 100 m de l'ancienne usine à gaz, et les sédiments prélevés à 6 mètres de profondeur se sont révélés bien contaminés par du plomb et du zinc en particulier (701 mg/kg pour le plomb, près de 1g/kg pour le zinc). Il y aurait donc lieu de procéder à d'autres vérifications sur les puits du secteur (analyse d'eau et sédiments en particulier) pour s'assurer de leur conformité avec les règlements sanitaires et estimer la dynamique de la diffusion des polluants de l'usine à gaz dans la nappe phréatique.

La région de Ronchamp et ses contaminations multiples

Il convient de séparer cette région en 3 zones distinctes, les polluants n'ayant pas les mêmes origines :

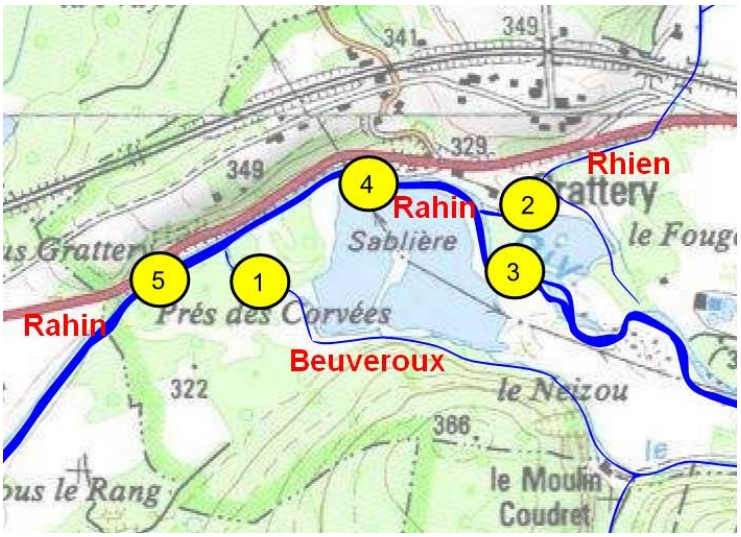
- L'amont du Rahin, de sa source à l'entrée de Ronchamp semble principalement affectée par des pollutions tirant leur origine dans les anciennes exploitations minières de Plancher les Mines et les fonderies (cuivre, plomb, zinc) qui s'y étaient développées. L'évolution temporelle des concentrations de ces métaux dans les sédiments du Rahin montrerait une dispersion/atténuation vers l'aval. A part le cas spécifique du cuivre, il y a peu de métal biodisponible dans l'eau, il ne semble donc pas judicieux de prévoir une décontamination systématique en localisant les masses sédimentaires constituant des réservoirs à polluant. Il serait par contre très intéressant de refaire les analyses, mais en prenant les mêmes emplacements et surtout les mêmes protocoles (filtration à 125 µm), et de les programmer sur plusieurs années pour en faire un suivi (cela pourrait être proposé au BRGM qui procède actuellement à l'actualisation des données sur les fonds géochimiques dans la partie vosgienne du Territoire de Belfort).

- Le "Canal de Ronchamp" est un cas tout à fait à part. Il est très fortement contaminé par les déchets industriels rejetés par la Maglum et ses activités de traitement de surface. On y trouve tout le spectre des polluants industriels, et nous n'avons pas tenu compte des solvants qui sont soulignés dans les différentes études du site (voir Basol en particulier). L'incendie du puits Saint Charles en 1993 avait mis en évidence la présence de zinc et cadmium dans les fumées rejetées dans l'atmosphère. Nous avons naturellement retrouvé ces polluants dans les sédiments du "Canal", mais pas de trace de métaux biodisponibles dans l'eau qui s'écoule

ensuite dans le Rahin. Dans ces conditions, faut-il envisager un curage profond du "Canal", au risque de relarguer des polluants qui semblent stabilisés ? La question devrait être tranchée par un cabinet d'étude ou un laboratoire spécialisé. En attendant, nous ne proposerons qu'un suivi régulier (2 fois/an) des polluants dans l'eau qui se jette dans le Rahin, il sera toujours temps de reprendre cette question dans le cas de contamination importante par une fraction dissoute de ces polluants.

➢ La zone du triage et probablement la zone de l'Etançon semblent le siège d'un Drainage Acide Minier, il serait donc tout à fait judicieux de faire réaliser une étude complémentaire par l'Unité Territoriale Après-Mine Est du BRGM, organisme qui a maintenant en charge la problématique de l'impact des anciennes activités minières. Une solution rapide pourrait être envisagée en détournant le flux acide qui se jette directement dans le Beuveroux et en le canalisant vers le marécage proche (lagunage naturel qui pourrait être aménagé en zone de phytoremédiation, avec éventuellement un dispositif passif de neutralisation du flux acide qui se nomme drain calcaire anoxique), sous réserve d'une étude d'impact. Aucune autre stratégie efficace (et surtout peu onéreuse) ne peut être proposée. Quelques points sont à surveiller, comme la présence éventuelle d'autres métaux lourds (en particulier l'arsenic risquant d'être libéré par l'acidité naturellement produite) dans le Beuveroux en aval des terrils, et l'impact du lessivage des sols lors d'éventuelles inondations de la plaine par fortes eaux.

Quant à la surveillance des flux secondaires de cadmium, il serait judicieux de réaliser un suivi mensuel très régulier sur une année, afin d'estimer les parts respectives des différentes concentrations de ce métal dans les rivières à la sortie de Ronchamp, en réalisant quelques prélèvements à la confluence avec le Rahin. Cette surveillance pourrait être proposée à l'Agence de l'eau comme contrôles opérationnels temporaires dans le cadre de la DCE, comme indiqué sur cette carte.



Carte 36: Propositions de suivis réguliers du cadmium (Beuveroux et Rahin)

La problématique générale des HAP

La contamination par les HAP touche de nombreux pays, elle concerne un domaine beaucoup plus vaste que la simple vallée de l'Ognon. Il est difficile de proposer des solutions de réduction des émissions polluantes si les systèmes de chauffage résidentiel au bois en sont la principale raison, comme l'indiquent les études récentes réalisées sur ce sujet. La solution viendra probablement du renouvellement des appareils (par exemple, remplacement par des systèmes labellisés "flamme bleue", c'est une des pistes généralement envisagées). Les

résultats actuels sont souvent difficiles à interprêter, et le cas particulier de nos 2 HAP déclassant systématiquement les rivières vient aussi des seuils extrêmements bas utilisés comme NQE. Cette pollution diffuse demanderait une étude complémentaire, d'abord une série de prélèvements avec un pas d'échantillonnage suffisamment fin pour vérifier l'effet du lessivage des sols par temps de pluie. Si les HAP sont dispersés dans l'atmosphère par les fumées des systèmes de chauffage, la problématique devient particulièrement complexe car elle dépend de nombreux aléas (climatiques, éoliens). Sur notre secteur, il conviendrait déjà d'estimer leurs concentrations dans l'eau, dans les endroits où les sédiments sont les plus impactés, à savoir la Reigne et le Rahin dès la commune de Ronchamp, afin d'estimer la part de relargage par fortes eaux. Il est impératif de reprendre cette étude au vu de la nouvelles directive européenne de 2013 qui va probablement modifier l'approche qu'on a pu avoir jusqu'ici en se basant principalement sur les NQE pour l'eau.

6/ Conclusions

On peut tirer de nombreuses conclusions de cette étude, en particulier on constate qu'au niveau des métaux lourds, il n'y a plus de contamination récente par des sources industrielles, la réglementation plus fine, jouant parfaitement son rôle. Et la prise de conscience des entreprises et des collectivités est réelle, en cela l'adhésion totale des communes du SIAHVO et des chambres consulaires à ce projet est à souligner. Il est bon de rappeler qu'aujourd'hui, grâce à une législation plus sévère (récupération des piles, renforcement des normes pour les rejets industriels...), les boues de la station d'épuration d'Achères (très connue pour ces boues fortement contaminées) et les eaux de la Seine contiennent respectivement vingt fois et seize fois moins de cadmium qu'il y a vingt ans. Rappelons également que le mercure n'est plus autorisé, et que plomb et cadmium sont soumis à des autorisations très limitatives, grâce à des directives européennes adaptées ensuite au droit français.

Nous sommes donc arrivés à ne mettre en évidence que des pollutions historiques, naturelles ou diffuses, les entreprises ne sont pas mises en cause dans cette étude.

Résumons d'abord les points positifs:

- Les anciennes pollutions au plomb de la partie nord de Lure (ruisseau Notre Dame) sont bien une histoire ancienne depuis l'enlèvement du mur pare-balles de l'ancien stand de Tir de l'armée, l'analyse des sédiments dans la zone ne laisse apparaître que quelques rares traces.

- Le Rahin est fortement impacté par les exploitations minières de Plancher les Mines et des entreprises de métallurgies associées, mais plomb et zinc que l'on détecte sur tout le linéaire amont ne semblent plus se retrouver en tant que polluants biodisponibles. Seul le cuivre est encore bien visible dans l'eau, dépassant sur quelques kilomètres les seuils de qualité environnementale. Et les comparaisons qu'on peut tirer assez grossièrement des différentes campagnes de mesures semblent indiquer un étalement des polluants vers l'aval, donc une diminution progressive puisque les sources polluantes ne paraissent plus les alimenter en permanence. L'arsenic est très probablement présent dans toute la zone de façon naturelle, mais n'est que très rarement visible dans les analyses sur bryophytes, là encore ce métal n'est pas sous forme biodisponible. Rappelons que cette rivière montre souvent un comportement torrentiel, avec des régimes hydrologiques peu favorables à la sédimentation fine (limons ou argiles), il y a donc assez peu de réserves massives de métaux lourds dans les sédiments de ce cours d'eau. Et les crues successives, développant parfois une énergie importante pour totalement modifier les berges et remettre en circulation des matériaux qui

sont arrachés aux rives, sont sans doute d'efficaces outils pour disperser ou recouvrir les polluants qui se trouvaient dans le lit de la rivière.

- Les signes parfois inquiétants de certaines contaminations de poissons (Nickel dans la Reigne ou mercure dans le Scey), n'ont pas révélé de pollutions à grande échelle.

Maintenant, quelques points plus délicats:

- Le mercure est bien la préoccupation essentielle de l'aval de Lure, principalement sur le secteur Reigne amont, mais des solutions existent pour éliminer totalement cette source de contamination, en particulier en résolvant ce difficile problème de l'assainissement de la ville, puisque de nombreuses pollutions (organiques ou métalliques) sont un sous-produit de ces dysfonctionnements réguliers du réseau luron.

- Les anciennes entreprises de la ville de Ronchamp ont relativement laissé leurs empreintes polluantes dans le secteur, avec en particulier, ce "Canal de Ronchamp" très fortement chargé en Eléments Traces Métalliques et HAP. Cependant, il ne semble pas y avoir de pollution massive par des métaux biodisponibles dans le Rahin (probablement piégés sous forme de complexes chimiques stables), posant la question d'une surveillance plus que d'une décontamination de l'ensemble de cette partie.

- C'est au cadmium et au zinc qui contaminent le Rahin sur une trentaine de kilomètres, jusqu'à sa confluence avec l'Ognon aux Aynans, qu'il faut apporter toute notre attention. Depuis des années, il sont mis en évidence à la sortie de Ronchamp, et les hypothèses (les plus faciles) leur prédisaient une origine dans la zone industrielle de la commune, la presse ayant relaté de nombreuses pollutions sur une vingtaine d'années. Mais les analyses récentes apportent un autre éclairage sur cette contamination, avec la présence de différents flux de cadmium et zinc biodisponibles, de grandeurs très inégales, le plus préoccupant venant du Beuveroux, et se situant à la hauteur de la zone de "triage" des houillères de Ronchamp. La zone de l'Etançon semble à l'origine d'un flux moins important, mais nos analyses ont été faites en période d'étiage, il est impératif de vérifier qu'il n'y a pas de forts changements de situations lors des régimes hydrologiques importants. Tous les arguments plaident en faveur de l'existence de Drainages Miniers Acides, ces deux secteurs devront faire l'objet d'une étude plus approfondie et d'un suivi pour comprendre tous les processus selon lesquels se propagent les polluants. Une solution simple a été proposée dans les préconisations, à la condition qu'elle ne soit pas plus impactante pour l'environnement. La zone de Servance pourrait être touchée par le même phénomène.

- Les HAP doivent certainement refaire l'objet d'une étude spécifique. Toutes les mesures réalisées actuellement sur le secteur apportent trop peu d'information sur leur dynamique. Certains résultats sur ces hydrocarbures sont encourageants, ils ont bien confirmé la baisse régulière des concentrations dans les sédiments, mais l'hypothèse principale d'une pollution atmosphérique diffuse ne laisse pas entrevoir de solution facile et rapide, sauf si son impact sur le biote est faible, ce qui pourrait facilement être vérifié sur nos poissons.

Ce travail est la troisième étape d'une longue investigation menée par le SIAHVO sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, il permet de proposer de nouvelles perspectives à court terme. Mais il ne doit pas faire oublier que la partie aval de ce secteur est également impacté par les pollutions organiques, il serait donc pertinent de les étudier plus en détail pour exprimer quelques propositions efficaces.

Annexes

Annexe 1 : Les normes de qualité environnementales de la DCE
Annexe 2 : Normes de l'ancienne grille SEQ v2 et données numériques antérieures
Annexe 3 : Etat de nos poissons, comparé à la réglementation Européenne en vigueur
Annexe 4 : Réglementation en vigueur sur les risques à consommer du poisson de rivière
Annexe 5 : Les principales occurrences en éléments traces dans le massif vosgien
Annexe 6 : la spéciation des métaux dans les milieux aquatiques
Annexe 7 : Les textes règlementaires applicables au dragage des sédiments de rivière
Annexe 8 : Résultats

Annexe 1 : **Les normes de qualité environnementales de la DCE**

La directive cadre sur l'eau (DCE) fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines. L'objectif général est d'atteindre **d'ici à 2015 le bon état des différents milieux** sur tout le territoire européen.
Parmi les grands principes de la DCE citons en particulier :

- une **gestion par bassin versant** ;
- la fixation d'objectifs par « **masse d'eau** » ;
- une planification et une programmation avec **une méthode de travail spécifique et des échéances** ;

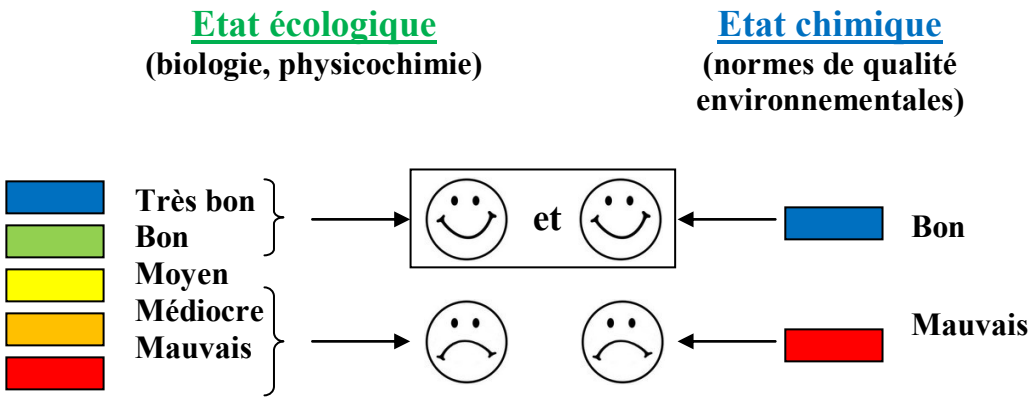
Précisons la méthode de travail qui repose sur quatre documents essentiels :

- **l'état des lieux** : il permet d'identifier les problématiques à traiter ;
- **le plan de gestion** : il correspond au SDAGE qui fixe les objectifs environnementaux ;
- **le programme de mesure** : il définit les actions qui vont permettre d'atteindre les objectifs ;
- **le programme de surveillance** : il assure le suivi de l'atteinte des objectifs fixés.

Une masse d'eau est considérée « en bon état » au sens de la DCE si elle répond conjointement aux deux critères **de « bon état écologique » et de « bon état chimique »**.

➢ **L'état écologique** d'une masse d'eau de surface résulte de l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à cette masse d'eau. Il est déterminé à l'aide d'éléments de qualité : biologiques (espèces végétales et animales), hydromorphologiques et physico-chimiques, appréciés par des indicateurs (par exemple les indices invertébrés ou poissons en cours d'eau).

➢ **L'état chimique** d'une masse d'eau de surface est déterminé au regard du respect des normes de qualité environnementales (NQE) par le biais de valeurs seuils. Deux classes sont définies : bon (respect) et pas bon (non-respect). 41 substances sont contrôlées : 8 substances dites dangereuses (annexe IX de la DCE) et 33 substances prioritaires (annexe X de la DCE).



Les **Normes de Qualité Environnementale** (NQE) sont définies dans le contexte réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau, ou DCE (2000/60/EC) qui établit une politique communautaire pour la gestion des eaux intérieures de surface, des eaux souterraines, des eaux de transition (eaux estuariennes) et des eaux côtières, afin de prévenir et de réduire leur pollution, de promouvoir leur utilisation durable, de protéger leur environnement, d'améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et d'atténuer les effets des inondations et des sécheresses.

Ces normes fixent la «concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote (l'ensemble des organismes vivants) qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement». La détermination de ces normes suit une méthodologie spécifique qui a été élaborée au niveau européen.

Les Normes de Qualité Environnementale sont utilisées dans le contexte de la DCE pour 2 types d'évaluation :

- **Evaluation de l'état chimique**, qui concerne 41 substances (les 33 **substances « prioritaires »** et les 8 « dangereuses prioritaires » de la DCE)

- **Evaluation de l'état chimique dans l'état écologique**, qui concerne les **substances** dites « **pertinentes** » de la DCE, dont la liste est établie **au niveau national** sur la base de la liste indicative fournie en Annexe VIII de la DCE. Les NQE de ces substances d'intérêt national sont déterminées au niveau national. En France, elles ont été élaborées en collaboration avec l'ONEMA, se référer aux textes en vigueur.

Les 41 substances prioritaires des Annexes XI et X de la DCE réparties en 4 familles (en rouge, les substances dangereuses prioritaires objectif réduction de 50 % du flux des rejets à l'échéance 2015 par rapport à l'année de référence 2004, **en noir** les Substances Prioritaires de la DCE objectif réduction de 30 % du flux des rejets à l'échéance 2015 par rapport à l'année de référence 2004)

Pesticides	**Endosulfan** ; **Hexachlorobenzène** ; **Hexachlorocyclohexane** ; **Pentachlorobenzène** Alachlore ; Atrazine ; Chlorfenvinphos ; Éthylchlorpyrifos ; Diuron ; Isoproturon ; Pentachlorophénol ; Simazine ; Trifluraline
Métaux lourds	**Cadmium** ; **Mercure** ; Nickel ; Plomb et les composés de ces métaux
Polluants industriels	**Anthracène** ; Benzène ; **C10-13-Chloroalcanes** ; Chloroforme ; 1,2-Dichloroéthane ; Dichlorométhane ; **Diphényléther bromé** ; Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) ; Naphtalène ; **Nonylphénol** ; Octylphénol ; **Tributylétain** ; **HAP** ; **Benzo(b,k)fluoranthène** ; **Benzo(a)pyrène** ; **Benzo(g,h,i)perylène** et **Indeno(1,2,3-cd)pyrène** ; **Fluoranthène** ; Trichlorobenzène ;**Hexachlorobutadiène**
Autres polluants	DDT Total ; para-para-DDT ; Pesticides cyclodiènes (aldrine, dieldrine, endrine, isodrine) ; Tétrachloréthylène ; Trichloroéthylène ;Tétrachlorure de carbone

Enfin, une liste de substances dites "pertinentes" (donc non prioritaires et à caractère beaucoup moins dangereux au sens de la DCE) est établie dans le but d'en réduire le flux des

rejets de 10 % d'ici 2015. Parmi elles, citons le zinc et le cuivre que nous retrouvons, à haute dose parfois, dans la zone SIAHVO.

Ecotoxicité des polluants.

Afin de caractériser l'impact des polluants sur l'écosystème, plusieurs critères sont particulièrement pertinents:

La bioamplification (ou biomagnification) décrit le processus par lequel les taux de certaines substances croissent à chaque stade du réseau trophique (chaîne alimentaire). Cette notion entre dans le cadre plus global de la bioconcentration, terme recouvrant les phénomènes amenant une matrice biologique (biocénose) à être plus contaminée que son environnement (biotope). Les facteurs de bioconcentration varient beaucoup selon les espèces et d'autre part du fait que chez de nombreuses espèces, la capacité de bioamplification est le plus souvent d'autant plus importante que l'élément bioconcentré est rare dans l'environnement. Un deuxième phénomène peut se produire, c'est la bioaccumulation qui désigne la capacité de certains organismes (végétaux, animaux, fongiques, microbiens) à absorber et concentrer ces polluants dans tout ou une partie de leur organisme, parfois même sans beaucoup d'élimination durant leur cycle de vie. Quand il est bioaccumulable, le risque qu'un polluant soit bioconcentré n'est donc pas du tout lié à l'importance quantitative de sa présence dans l'eau. Le « **facteur de bioconcentration** » (FBC ou BCF en anglais) désigne le rapport entre concentration du composé chimique (métal lourd par exemple) dans l'organisme vivant et celle dans le milieu (eau/air/sol). Il est utile de rappeler ici le cas du méthylmercure dont la concentration dans les rivières est de l'ordre de 0,01 à 6 ng L-1(INERIS), puis se retrouve dans les carnassiers qui se sont nourris d'autres poissons consommant des invertébrés, eux-mêmes se nourrissant de plancton contaminé. Les concentrations finales dans ces carnassiers se situant dans une fourchette allant de 0,2 à 7 mg/kg de poids sec. Avec une teneur correspondant à la valeur supérieure de cette fourchette, ces carnassiers dépassent très largement le seuil de contaminations publiés par le règlement (CE) n°1881/2006 fixé à 0,5 mg/kg de PS. Les facteurs de bioamplification sont ici de plusieurs milliers.

La biodisponibilité des micro-polluants

Un élément (métal lourd par exemple) présent dans un milieu aquatique va se comporter différemment selon son état chimique ou physico-chimique, alors que les textes officiels imposent, au mieux, des mesures de sa concentration totale. On entend par concentration totale, la quantité de contaminant par litre d'eau du milieu, quelle que soit sa situation physique (diffusant dans le liquide, adsorbé sur une particule solide, regroupé en colloïdes ou formant des micelles), quelle que soit son état chimique (piégé par des chélateurs, co-dissoute avec une substance associée, etc.).

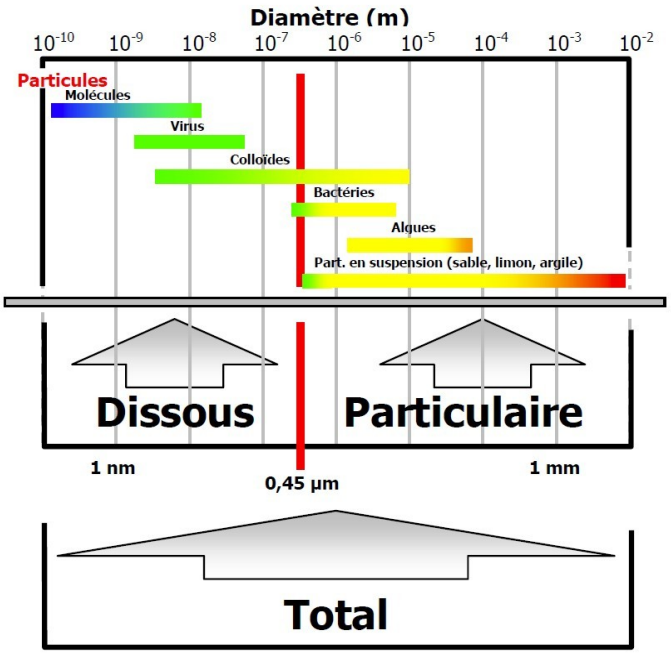
Pour établir la toxicité pour les écosystèmes aquatiques, la concentration totale dans l'eau est très exceptionnellement pertinente. En effet, les tissus externes qui protègent les êtres vivants, comme la bicouche lipidique au niveau cellulaire, réagissent différemment aux différentes formes physico-chimiques des contaminants.

Le concept de biodisponibilité permet de faire la distinction entre les substances dont l'état physico-chimique leur permet d'agir sur le vivant et celles qui ne le peuvent pas. Est biodisponible une substance sous une forme physico-chimique qui lui permet de franchir les barrières biologiques d'un organisme.

L'étude des différents complexes chimiques d'un élément (ce qu'on appelle la spéciation de cet élément) n'est pas encore une pratique courante dans les analyses de routine, il est parfois trompeur de considérer des teneurs globales élevées alors qu'elles peuvent résulter de

complexes chimiques, parfois stables et peu actifs dans les manifestions écotoxiques. il est donc pertinent de chercher la fraction bio-disponible d'un polluant, celle qui justement va être assimilée puis bioaccumulée dans la chaîne alimentaire. La recherche de cette fraction biodisponible va obligatoirement imposer le compartiment dans lequel faire les prélèvements les plus rentables en terme d'écotoxicité.
La question posée est toujours la même, comment décrire la contamination métallique dans un bassin fluvial, quels prélèvements réaliser ?

Dans l'eau, les métaux sont très majoritairement associés aux particules en suspension (adsorption). Ces Matières En Suspension (MES) sont généralement véhiculées dans la colonne d'eau par les courants avant de se déposer finalement à la surface des sédiments. Les microorganismes benthiques présents dès l'interface eau-sédiment vont alors très vite contribuer à rendre le sédiment anoxique lors des transformations biogéochimiques participant aux processus nommés diagenèse précoce. La spéciation des métaux dans la phase liquide et leur répartition dans les particules sédimentaires sont alors susceptibles de subir de profonds changements, avec par exemple l'apparition des phases sulfures dès les premiers centimètres de la colonne sédimentaire.
L'accumulation parfois massive des éléments métalliques dans les sédiments a conduit à les qualifier de puits pour les contaminants. De plus, le compartiment sédimentaire n'est pas isolé du reste de l'écosystème et l'on peut s'interroger sur le rôle des sédiments pollués qui pourraient désormais se comporter comme une source de contaminants pour le milieu aquatique. Ainsi, les efforts entrepris sur l'amélioration de la qualité de l'eau des rivières et des fleuves pourraient être contrariés par une diffusion des métaux du sédiment vers la colonne d'eau, le sédiment jouant à nouveau alors le rôle de source de contaminants. La caractérisation d'un milieu par le dosage des polluants dans les sédiments fins qui se déposent en période de basses eaux est encore largement d'actualité. On parle alors d'analyse sur matrice sédiment.



Spectre des tailles de particules en milieu aquatique et concept des différentes fractions (document INERIS)

Cependant, dans cette colonne d'eau, les métaux se trouvent aussi sous d'autres formes (forme dissoute ou forme colloïdal lorsqu'on a affaire à des ensembles particules de tailles si petites qu'ils ne sont pas soumis aux lois de la gravitation). C'est principalement sous cette forme que se rencontre la partie biodisponible, responsable de la contamination de la chaine benthique puis des poissons. On situe à 0,45 µm la limite séparant la matière organique particulaire (particules de grosses tailles adsorbées aux matières en suspension, bactéries et phytoplancton ou des colloïdes de polymères organiques) de la matière organique dissoute qui contient précisément la fraction biodisponible dans l'eau (ions, molécules, colloïdes).

La frontière entre la phase dite « dissoute » et la phase « particulaire » est cependant bien plus complexe que la limite arbitrairement fixée à 0,45 µm. La mesure du métal sous l'appellation « dissous » peut en particulier inclure une fraction particulaire de type colloïdale avec laquelle

les métaux ont beaucoup d'affinité. Dans l'optique d'évaluer l'incidence des métaux dans le milieu aquatique, il est aujourd.hui reconnu que l'étude du métal total n'est pas recommandée.
Malheureusement, la surveillance des métaux dans le milieu aquatique est généralement réalisée sur des échantillons d'eau ou de sédiment bruts. Cela peut alors conduire à des résultats qui ne sont pas forcément en accord avec les attentes des réseaux de surveillance en terme d'évaluation des risques, sachant que :
- les métaux ont une forte affinité pour les particules et en particulier pour les particules fines,
- les métaux sont généralement biodisponibles dans la fraction dissoute et sous certaines formes chimiques seulement.

Dans des échantillons bruts, la concentration en métal total peut ainsi être élevée alors que pour autant la quantité de métal biodisponible est faible. L'étude de la spéciation des métaux dans la phase dissoute apparaît plus adaptée dans le cadre d'une évaluation des risques pour l'environnement. Ce genre d'analyse a forcément un coût qu'on ne peut se permettre lors d'une étude de grande ampleur.

Toutefois, la phase particulaire joue un rôle très important dans le cycle biogéochimique des métaux des systèmes aquatiques. En effet, à travers les matières en suspension et le sédiment, la phase particulaire est susceptible de transporter, de stocker voire recycler de façon significative les métaux. En fonction des conditions environnementales, les métaux peuvent être facilement transférés de la phase particulaire vers la phase dissoute. C'est pourquoi l'étude des métaux en phase particulaire est également utile et nécessaire.
Dans le cas des matières en suspension, la principale difficulté consiste à récupérer suffisamment de matière pour réaliser les protocoles de spéciation, c'est pourquoi on a vu apparaître des "trappes à sédiments" qui facilitent la collecte des Matières En Suspension avant qu'elles ne se déposent.

Signalons également d'autres manières de récupérer la partie biodisponible des polluants en utilisant des bryophytes (locaux ou exogènes) qui sont de bonnes "éponges" à métaux lourds (jouant également le rôle de concentrateur et de mémoire temporaire des flux polluants). Cette approche semble maintenant supplantée par l'arrivée des échantillonneurs à couches minces (DGT), jouant le rôle de pièges spécifiques des fractions biodisponibles, qu'on devrait voir se généraliser dans les prochaines années.

En attendant, les analyses en ICP/MS permettant aujourd'hui des dosages avec une grande sensibilité, beaucoup de suivis de la qualité des cours d'eau se font en combinant l'analyse sur matrice sédiment et matrice eau, c'est dans cette optique que nous avons réalisé nos prélèvements.

Les valeurs numériques des NQE
Dans nos analyses, nous aurons besoin de connaître les NQE pour les polluants qu'on doit localiser dans la zone SIAHVO. Ce tableau donne également les prélèvements à réaliser (matrice eau ou sédiment) pour caractériser nos zones polluées. D'après les ordres de grandeurs de ces NQE, on remarque immédiatement que certaines analyses doivent être obligatoirement réalisées en ICP/MS (le cadmium dans l'eau par exemple), alors que pour le plomb un dosage au photomètre est suffisant (sensibilité d'un photomètre à 5 µg/L pour le plomb dans l'eau, alors que la NQE est à 7,2 µg/L, parfaitement contrôlable avec ce genre d'appareil). Une analyse systématique sur sédiments donnera une information complémentaire quant à la présence de zones sédimentaires contaminées. Le mercure ne sera recherché que sur matrice sédiment, en confirmation des analyses sur bryophytes et surtout sur la chair des poissons qui datent des études précédentes.

Normes de qualité environnementales et matrices optimales de prélèvement pour les substances prioritaires dangereuses recherchées dans notre étude

Substance	Log Kow	Matrice optimale de surveillance	Alternative échantillon, passif	NQE MED/ MET-MEC en µg/L	NQE/CMA
mercure et MeHg	-	sédiment biote	DGT a valider	0.05	0.07
Cadmium Dureté classe1 Dureté classe2 Dureté classe3 Dureté classe4 Dureté classe5		eau filtrée en eau douce, biote en milieu marin	DGT	 <0.08 0.08 0.09 0.15 0.25	 <0.45 0.45 0.6 0.9 1.5
plomb		eau filtrée	DGT	7.2	Sans objet
nickel	-	eau filtrée	DGT	20	Sans objet
arsenic				4.2	
chrome				3.4	
cuivre		eau filtrée		FG + 1.4	
zinc		eau filtrée		FG + 3.1 ou FG + 7.8 (dureté >24 mg/ CACO3)	
fluoranthène	5.3	sédiment biote	SBSE	0.1	1
naphtalène	3.7	eau-sédiment-biote	SBSE	2.4	Sans objet
Benzo(a)pyrène	6	sédiment biote	SBSE	0.05	0.1
benzo(b)fluoranthène	6.1	sédiment biote	SBSE	Σ = 0.03	Sans objet
Benzo(k)fluoranthene	6.8	sédiment biote	SBSE		Sans objet
Benzo(g,h,i)pérylène	7.1	sédiment biote	SBSE	Σ = 0.002	Sans objet
Indeno(1,2,3cd)pyrène	6.6	sédiment biote	SBSE		Sans objet

Pour le cadmium, le mercure, le plomb et le nickel, les concentrations utilisées ne seront pas, comme pour les autres polluants prioritaires, les concentrations totales dans l'eau mais celles dissoutes, mesurées après passage à travers un filtre de 0,45 µm de diamètre de pores ou par tout autre traitement préliminaire équivalent.

Le **LogKow**, aussi appelé LogP, est une mesure de la solubilité différentielle de composés chimiques dans deux solvants (coefficient de partage octanol/eau). Cette valeur permet d'appréhender le caractère hydrophile ou hydrophobe (lipophile) d'une molécule. Les produits hydrophobes sont souvent lipophiles (solubles dans les corps gras), mais insolubles dans l'eau. Le **LogKow** rend compte de la tendance d'une molécule à s'accumuler dans les membranes biologiques des organismes vivants. S'il est élevé, le risque de bioaccumulation est important.

La **Concentration létale à 50 %** (CL50) est une autre caractéristique utile pour situer l'impact écologique d'un polluant, il s'agit de la concentration nécessaire (en mg/l ou µg/l) pour tuer 50 % des espèces vivantes (poissons, invertébrés ou algues) mises en contact avec ce produit.

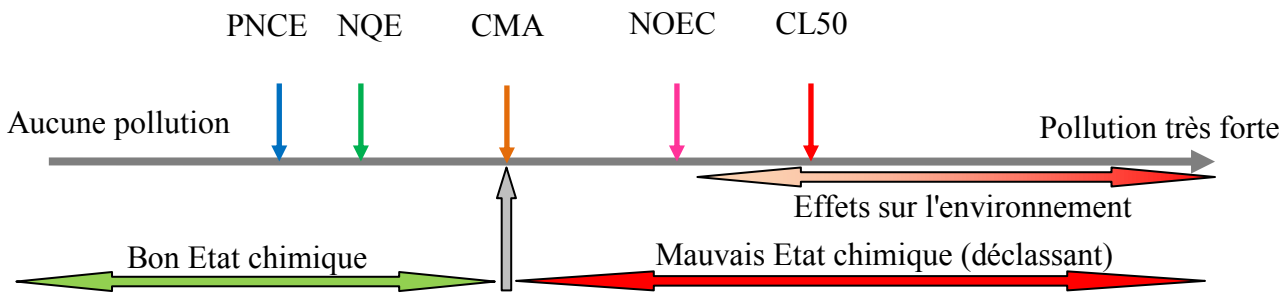
	Produits	Espèces		Espèces	Durée essais	Valeurs
PARAMETRES PHYSIQUES - INDICES GLOBAUX - COMPOSES MINÉRAUX MAJEURS						
Substance Dangereuse prioritaire	**mercure**	poissons crustacés	*oncorhynchus mykiss* *oncorhynchus mykiss* *gastrosteus aculcatus* *daphnia magna*	truite AEC truite AEC epinoche daphnies	CL50 (96 h) conc. toxique CL50 (7j) CL50 (48 h)	0,22-0,4 mg/l 0,002 mg/l 0,02 mg/l nitrate 0,005 mg/l
Substance Dangereuse prioritaire	**cadmium**	poissons crustacés algues	*oncorhynchus mykiss* *daphnia magna* *daphnia magna* *scenedesnus subcap.*	truite AEC daphnies daphnies	CL50 (96 h) CL50 (96 h) CL50 (48 h) CL50 (96 h)	0,0026-0,0031 mg/l 0,005 mg/l 0,03 mg/l 0,01 mg/l
Substance Dangereuse prioritaire	**plomb**	poissons algues	*oncorhynchus mykiss* *salvelinus fontilanis* *chorella vulgaris* *charella vulgaris*	truite AEC	CL50 (96 h) CSEO(NOEC)112j CE50 (96 h) CSEO(NOEC)72 h	1,47 mg/l 0,18 mg/l 2,2 mg/l 0,06 mg/l
Substance Dangereuse prioritaire	**nickel**	poissons crustacés algues	oncorhynchus mykiss oncorhynchus mykiss daphnia magna scenedesmus subcap.	truite AEC truite AEC daphnies	(NOEC) (85j) CMEO(LOEC)(85j) CL50 (48 h) CL50(96 h)	0,062 mg/l 0,134 mg/l 0,92 mg/l 0,36 mg/l
	arsenic	poirssons crustacés	*oncorhynchus kisutch* *pimephales promelas* *daphnia magna* *daphnia magna*	vairon dahpnies daphnies	CSEO(NOEC)180j CL50 (96 h) CL50 (48 h) CSEO(NOEC) 28j	0,1 mg/l 14,1 mg/l 1,5 mg/l 0,68 mg/l
	chrome	poissons crustacés algues	*oncorhynchus mykiss* *daphnia magna* *daphnamagna* *scenedesmus subcap.* *scenedesmus capric.*	truite AEC daphnies daphnies	CSEO(NOES)(32s) CL50 (24 h) CSEO(NOES) 21 j CL50 (96 h) CL50(2-3s)	0,020 mg/l 0,35 mg/l 0,018 mg/l 0,35 mg/l 0,24 mg/l
	cuivre	poissons crustacés algues	*oncorhynchus mykiss* *oncorhynchus mykiss* *cyprinius carpio* *daphnia magna*	truite AEC truite AEC carpe daphnies	CL50 (96 h) CSEO(NOEC)63j limite toxicité CL50(48 h) CE50 (96 h) CSEO(NOEC)42j	0,08 mg/l 0,031 mg/l 0,35 mg/l 0,015 mg/l 0,062 mg/l 0,69 mg/l

			chorella vulgaris elodea canadensis			
	zinc	poissons crustacés algues	*oncorhynchus mykiss* *daphnia magna* *daphnia magna* *navicula seminumum*	truite AEC daphnies daphnies	CL50 (96 h) CL50 (24) CSEO(NOEC) 7j CE50 5j	0,098 mg/l 0,334 mg/l 0,043mg/l 1,32mg/l
	chrome	poissons crustacés algues	*oncorhynchus mykiss* *daphnia magna* *daphnamagna* *scenedesmus subcap.* *scenedesmus capric.*	truite AEC daphnies daphnies	CSEO(NOES)(32s) CL50 (24 h) CSEO(NOES) 21 j CL50 (96 h) CL50(2-3s)	0,020 mg/l 0,35 mg/l 0,018 mg/l 0,35 mg/l 0,24 mg/l

Cette grandeur permet d'estimer l'effet d'un polluant à forte concentration sur la faune et la flore d'une rivière. Cependant, elle doit être manipulée avec une certaine prudence, les polluants en milieu réel n'ont pas nécessairement le même comportement que lors du test spécifique de la CL50, à cause de la présence de matières organiques et autres matières en suspension qui adsorbent fortement les polluants en diminuant leur impact sur le biote.

Deux autres grandeurs sont encore utilisées pour situer l'impact écologique d'un polluant:
- la « Concentration Prédite Sans Effet » ou **PNEC** pour chacun des compartiments
- la « Dernière concentration testée n'ayant pas entrainé de différence significative » ou **NOEC** (Non Observed Effect Concentration), elle correspond en fait au seuil de toxicité chronique.

On peut symboliser ces différents seuils de cette manière



Ces données sont résumées dans les fiches suivantes qui donnent les caractéristiques des **principaux polluants déjà mis en évidence lors des 2 études précédentes.**

Pour les sédiments, la contamination est appréciée en fonction d'un classement selon deux critères essentiels:
- la concentration seuil en dessous de laquelle aucun effet visible n'est constaté sur les microorganismes (TEC)
- la concentration seuil à partie de laquelle on peut s'attendre à un effet (PEC) voir annexe 2.

Mercure:
Le mercure s'accumule facilement dans les organismes. Cette propriété s'exprime par le facteur de bioconcentration (BCF), qui est le rapport des concentrations du composé dans l'organisme et dans l'eau.
L'élimination de la charge corporelle de mercure (métal mercure et mercure organique) est d'environ 1% par jour. L'accumulation du mercure, paradoxalement, n'est pas liée à une bonne solubilité dans les graisses, même si le LogKow serait de 6 pour le mercure et de 2,5 pour le diméthylmercure. En effet, c'est la réaction du mercure avec les cellules (parois, etc.) qui est importante, et de ce point de vue c'est l'Hg++ qui est central : son log Kow est <1. Le mercure (quelle que soit sa forme) ne s'accumule pas préférentiellement dans les graisses (il s'y accumule aussi), mais plutôt à l'ensemble des tissus mous. Le facteur de bioconcentration dans l'organisme (BCF) qui représente la différence de charge du métal entre l'organisme et son environnement (phase aqueuse) est en moyenne de 22 000 (moyenne géométrique), ce qui est élevé. Le cumul du mercure dans l'organisme se réalise surtout par sa liaison à la cystéine (donc en phase aqueuse). Le mercure (quelle que soit sa forme) se retrouve dès lors en quantité surtout dans les muscles, puis les reins et le foie. Sa liaison avec les groupes sulfure (cystéine) est stable et donne une demi-vie dans ces organes d'un an environ.
- BCF
mercure inorganique
Les valeurs de BCF pour les invertébrés vont de 140 à 12 600.
Pour les poissons, des valeurs de BCF (poids frais) de 1 800 à 5 700 ont été établies.
mercure organique
Les valeurs de BCF pour les invertébrés vont de 110 à 70 700.
Pour les poissons, des valeurs de BCF (poids frais) de 4 300 à 35 000 ont été citées
- PNEC
mercure inorganique PNEC eau 0,24 µg/l, PNEC sédiments 9,3 mg/l
mercure organique PNEC eau 0,01 µg/l, PNEC sédiments 1,1 mg/l, PNEC empoisonnement secondaire (poisson)= 25 µg/kg de poids frais
- NOEC
Mercure inorganique :
Pour les algues, les NOEC pour le HgCl2 (3 jours à 33 jours) sont comprises entre 0,9 µg/L et 100 µg/l
Pour les micro-crustacés, les NOEC pour le HgCl2 et le Hg(NO3)2 (3 jours à 44 jours) se situent entre 0,07 µg/l et 10 µg/l.
Enfin pour les poissons, les NOEC pour le HgCl2 et le Hg(NO3)2 (14 jours à 60 jours) sont comprises entre 0,09 µg/l et 10 µg/l.
Mercure organique :
Pas de valeur pour les algues.
Pour les micro-crustacés, la NOEC pour le CH3HgCl est de 0,09 µg/l (30 jours).
Pour les poissons, les NOEC pour le CH3HgCl et le CH3HgOH sont comprises entre 0,07 µg/l et 19 µg/l.
Dans les sédiments: TEC 0,18 mg/kg de poids sec, PEC 1,06 mg/kg de poids sec

Cadmium:
Le cadmium se bioaccumule plus facilement dans les végétaux. Des BCF compris entre 1 636 et 23143 ont été calculés pour les algues, entre 396 et 17 560 pour les invertébrés et entre 0,5 et 6 484 pour les poissons.
- PNEC
Eau douce de 0,21 µg/l à 0,75 µg/l
Dans les sédiments: TEC 0,99 mg/kg de poids sec, PEC 4,99 mg/kg de poids sec
- NOEC
>0,47 µg/l pour le saumon de l'atlantique

Arsenic:
L'arsenic est faiblement bioaccumulable. De nombreuses données d'écotoxicité chronique sont disponibles (dont 14 NOEC sur des espèces d'eau douce et marines).
- PNEC
Eau douce 4,4 µg/L valeur extrapolée, peu de données pertinentes
Dans les sédiments: TEC 9,79 mg/kg de poids sec, PEC 33 mg/kg de poids sec
- NOEC

NOEC/CE10 algues	0.01	mg/l
NOEC/CE10 invertébrés	0.09	mg/l
NOEC/CE10 poissons	0.08	mg/l

Plomb:
BCF poissons de l'ordre de 20, aucun phénomène de biomagnification observé.
- PNEC
PNEC eau douce : 5 µg/l
PNEC sédiment : 6,8 mg/kg de poids sec
Dans les sédiments: TEC 35,8 mg/kg de poids sec, PEC 128 mg/kg de poids sec
- NOEC

NOEC/CE10 algues et invertébrés	10 µg/l
NOEC/CE10 poissons	4,1µg/l

Cuivre:
Seules des valeurs de BCF ont été déterminées sur 10 espèces de poissons différents dans plusieurs rivières. On rapporte 18 valeurs de 20 à 950, avec une moyenne de 184.

- PNEC
Eau douce 1,6 µg/l
Dans les sédiments: TEC 31,6 mg/kg de poids sec, PEC 149 mg/kg de poids sec

Nickel:
L'ensemble des données recueillies dans le cadre de l'évaluation européenne des risques donnent des BCF entre 0,8 et 104 pour les poissons
- PNEC
Eau douce
Sédiments
Dans les sédiments: TEC 22,7 mg/kg de poids sec, PEC 48,6 mg/kg de poids sec

Zinc:
- PNEC
Eau douce 7,8 µg/l. Cette PNECadd correspond à la concentration maximum additionnelle et pour une eau d'une dureté > 24mg/L. La PNECtotal = PNECadd + Cb (Concentration de fond). (Pour une dureté < 24 mg/L la PNECadd = 3.1µg/L).
Sédiments 37 mg/kg de poids sec. Cette PNECadd correspond à la concentration maximum additionnelle, PNECtotale = PNECadd + Cb.
Dans les sédiments: TEC 121 mg/kg de poids sec, PEC 459 mg/kg de poids sec

Benzo(a)pyrene:
Le benzo(a)pyrène est fortement adsorbé sur les matières en suspension et le sédiment (Koc de 5,5 10^6). L'hydrolyse n'intervient pas car le benzo(a)pyrène ne possède pas de groupements fonctionnels hydrolysables. Les données de biodégradation sont peu nombreuses. La demi-vie de biodégradation totale a été estimée à plus de 300 semaines dans un système eau/sédiment. Le facteur de bioconcentration est fort (BCF entre 2 310 et 48 10^3) mais la capacité de biotransformation dans les organismes est élevée.
- PNEC Eau douce 10 mg/l
- NOEC
NOEC/CE10 poissons 0,01 mg/l
NOEC/CE10 algues 0,00078 mg/l
NOEC/CE10 invertébrés 0,0005 mg/l
Dans les sédiments: TEC 150 mg/kg de poids sec, PEC 1450 mg/kg de poids sec

Annexe 2 : L'ancienne grille SEQ v2 et données numériques antérieures

CLASSE DE QUALITE					
	Bleu très bonne qualité	**Vert** bonne qualité	**Jaune** pollution avérée	**Orange** pollution importante	**Rouge** pollution très forte
Micropolluant sur eau brute (Seq - V2)					
Cadmium (µg/l) Dureté faible Dureté moyenne Dureté forte	 **0,001** **0,004** **0,009**	 **0,01** **0,04** **0,09**	 **0,1** **0,37** **0,85**	 **0,37** **1,3** **3**	
Plomb (µg/l) Dureté faible Dureté moyenne Dureté forte	 **0,21** **0,52** **1**	 **2,1** **5,2** **10**	 **21** **52** **100**	 **100** **250** **500**	
Micropolluant sur bryophytes (Seq - V2)					
Arsenic (mg/kg ms)	**4,5**	**9**	**27**	**54**	
Cadmium (mg/kg ms)	**1,2**	**2,5**	**7**	**14**	
Chrome total (mg/kg ms)	**11**	**22**	**65**	**130**	
Cuivre (mg/kg ms)	**33**	**66**	**200**	**400**	
Mercure (mg/kg ms)	**0,15**	**0,30**	**0,85**	**1,7**	
Nickel (mg/kg ms)	**22**	**45**	**130**	**270**	
Plomb (mg/kg ms)	**27**	**55**	**160**	**330**	
Zinc (mg/kg ms)	**170**	**350**	**1000**	**2100**	

Micropolluant sur sédiments				***Micropolluant sur eau***
	Bleu très bonne qualité	**Seuil TEC**	**Seuil PEC**	***Normes eau potable***
Arsenic (mg/kg)	**1**	**9,8**	**33**	**10 µg/l**
Cadmium (mg/kg)	**0,1**	**1**	**5**	**5 µg/l**
Chrome total (mg/kg)	**4,3**	**43**	**110**	**50 µg/l**
Cuivre (mg/kg)	**3,1**	**31**	**140**	**2 mg/l**
Mercure (mg/kg)	**0,02**	**0,2**	**1**	**1 µg/l**
Nickel (mg/kg)	**2,2**	**22**	**48**	**20 µg/l**
Plomb (mg/kg)	**3,5**	**35**	**120**	**10 µg/l**
Zinc (mg/kg)	**12**	**120**	**460**	**5 mg/l**
Σ 16 HAP(mg/kg)		**1,61**	**22800**	**0,1 µg/l**

L'estimation des risques induits par des sédiments contaminés.

Les sédiments de rivière constituent un compartiment très important dans les écosystèmes aquatiques. Ils sont un lieu de ponte et développement de nombreux invertébrés et constituent un réservoir de diversité biologique. Ils peuvent également jouer un rôle très important dans la neutralisation des polluants qui sont alors fixés sous forme de contaminants, sous forme de complexes chimiques relativement stables (sulfures par exemple). Cependant, cet avantage est à double tranchant puisqu'ils constituent une source polluante potentielle, et cela sur le long terme, ces complexes chimiques pouvant se retransformer en polluants sous l'action des paramètres physico-chimiques de la rivière (variation du PH, de la température, de la dureté de l'eau par exemple) ou des microorganismes (la plus inquiétante de ces transformations étant la méthylation du mercure sous l'effet des bactéries méthanogènes). Rajoutons que les

sédiments sont par définition des dépôts instables, ils vont contribuer à la dispersion des contaminants lors des crues en diffusant ces produits toxiques sur de longues distances. On rentre dans ce cercle vicieux où les sédiments piègent les contaminants pour mieux les retransformer en polluants biodisponibles pendant de très longues périodes, car il ne faut pas perdre l'idée que ces milieux sont de véritables usines chimiques.

Rappelons que les amas de micropolluants métalliques de taille supérieure à 0,45 µm ont la fâcheuse tendance à s'adsorber aux matières en suspension qui deviennent de véritables vecteurs de propagations dans les eaux rapides et se déposent en sédiments fins dans les zones à très faible turbulence. C'est précisément dans ce substrat qu'il conviendra de faire la recherche de ces micropolluants. Les sédiments sont constitués de matières particulaires de différentes tailles, formes et compositions minéralogiques ou organiques. Leurs origines sont diverses : particules du sol transportées par les courants, les eaux de ruissellement ou même l'air, particules provenant de la décomposition de débris d'organismes (sédiments organogènes ou biogènes). Ces particules sédimentaires ont la propriété de lier et/ou de piéger des substances polluantes. Les organismes aquatiques peuvent alors être exposés à ces polluants par différentes voies : par contact de l'eau de surface ou interstitielle, par contact direct au sédiment ou par voie trophique (ingestion d'eau et/ou de particules). La couche superficielle des sédiments nous intéresse plus particulièrement car elle est une image de la pollution récente et les particules nouvellement déposées seront les premières à entrer en contact avec les organismes épibenthiques et benthiques de la rivière. Cependant, il ne faut pas négliger les couches plus profondes, souvent moins riches en oxygène, plus difficilement remobilisables mais qui peuvent contenir des substances « anciennes » potentiellement dangereuses pour l'environnement.

Se pose alors la question de l'estimation de la qualité des sédiments et peut-on les surveiller au même titre que les polluants biodisponibles qui sont véhiculés par l'eau. Le calcul d'un quotient entre la concentration environnementale mesurée pour une substance et le critère de qualité associé basé sur des données écotoxicologiques multiples, permet de caractériser un risque. Effectivement, si le quotient donne un résultat inférieur à 1, on peut écarter un risque de toxicité pour le sédiment concernant la substance, alors que si le résultat est supérieur à 1, il y a une possibilité de toxicité pour la vie aquatique. Cependant, dans l'environnement les contaminants sont, la plupart du temps, sous forme de mélanges. Donc, même si le calcul d'un quotient pour une substance puis d'un quotient moyen pour l'ensemble des substances peut donner une information intéressante quand les substances présentes ont un même mécanisme d'action (additivité), le danger toxique pourrait être sous-estimé si des substances présentent des interactions synergiques. Par le calcul du quotient et/ou d'un quotient moyen, le sédiment peut être classé dans deux catégories « toxique » ou non « toxique ».
On préfère cependant faire un classement plus nuancé en trois classes, définies par 2 valeurs de seuils:
- la valeur TEC (Threshold Effect Concentrations) ou seuil de concentration des polluants (CP) à partir duquel des perturbations dans les microorganismes ont été parfois observées
- la valeur PEC (Probable Effect Concentrations) ou seuil à partir duquel ces perturbations sont très fortement probables, voire certaines.

CP<TEC	TEC<CP<PEC	CP>PEC
« Bonne à très bonne qualité » *Risque d'écotoxicité peu probable*	« Qualité moyenne » *Seuil d'écotoxicité franchi*	« Mauvaise qualité » *Ecotoxicité probable*

Seuil de la classe jaune SEQ v2

Seuil de la classe orange SEQ v2

La grille française du Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau appliquée en France (SEQ eau version 2) reprend précisément ces 2 seuils TEC et PEC dont les valeurs ont fait l'objet d'un consensus international. Ses données sont rappelées dans le tableau de l'annexe 1.

On comprendra donc que la classification des sédiments donne avant tout une idée de son écotoxicité (sur le biote), et que c'est essentiellement l'eau qui, en véhiculant des polluants biodisponibles (pouvant à nouveau être générés, à long terme, par les sédiments qui les ont piégés), a directement (probablement à très court terme) un impact sur la qualité des poissons qui seront consommés.

Valeurs des seuils TEC et PEC tirés du consensus international de 2000 (Mac Donald):

Substance	TEC	PEC
Métaux (mg/kg, ps)		
As	9.79	33
Cd	0.99	4.98
Cr	43.4	111
Cu	31.6	149
Pb	35.8	128
Hq	0.18	1.06
Ni	22.7	48.6
Zn	121	459
HAPs (mg/kg, ps)		
anthracène	0.0572	0.845
fluorène	0.0774	0.536
naphtalène	0.176	0.561
phénanthrène	0.204	1.170
benzo(a)anthracène	0.108	1.050
benzo(a)pyrène	0.150	1.450
chrysène	0.166	1.290
dibenzo(a,h)anthracène	0.033	0.135
fluoranthène	0.423	2.230
pyrène	0.195	1.520
HAP totaux	*1.610*	*22.800*

Données antérieures à cette nouvelle étude SIAHVO,
utilisées pour réaliser un état des lieux

RIVIERE	*Année*	*Polluant*	*mg/kg*	*Matrice*	*Prélèvement*	*Analyses*
REIGNE	2005	Mercure	6,3	bryophytes	Moulin blanc	Véolia
REIGNE	2001	Zinc	2869	bryophytes	MAGNY VERNOIS	Diren (Etude CR)
REIGNE	2001	Mercure	6,4	sédiments	Pont parc Abbaye	Diren (curage 2001)
REIGNE	2008	Mercure	3,32	sédiments	Amont Step	EC
REIGNE	2008	Cuivre	252	sédiments	Amont Step	EC
REIGNE	2008	Plomb	229	sédiments	Amont Step	EC
REIGNE	2001	Plomb	268	sédiments	Pont parc Abbaye	Diren (curage 2001)
REIGNE	2008	Arsenic	59,3	sédiments	Aval Step	EC
REIGNE	2008	Zinc	1070	sédiments	Amont Step	EC
REIGNE	2001	Zinc	2870	bryophytes	MAGNY VERNOIS	RNB
REIGNE	2005	Zinc	5900	bryophytes	Aval Step	Véolia
REIGNE	2005	Cadmium	9,6	bryophytes	Aval Step	Véolia
REIGNE	2009	Zinc	1100	bryophytes	MAGNY VERNOIS	RNB
RAHIN VAL GOUHENANS	2010	Plomb	60,9	Sédiments	Pont D123	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2010	Arsenic	341,2	Sédiments	Pont D125	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Cadmium	4	Sédiments	Pont D122	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Plomb	194	Sédiments	Pont D123	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Zinc	1024	Sédiments	Pont D124	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Arsenic	65,7	Sédiments	Pont D125	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Cadmium	24	Bryophytes	Pont D122	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Plomb	59	Bryophytes	Pont D123	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Zinc	3500	Bryophytes	Pont D124	RNB DCE
RAHIN VAL GOUHENANS	2007	Arsenic	59	Bryophytes	Pont D125	RNB DCE
OGNON Les AYNANS	2008	Zinc	779	Bryophytes	Pont de fer	Etude EC
OGNON Les AYNANS	2008	Chrome	27,3	Bryophytes	Pont de fer	Etude EC
OGNON Les AYNANS	2008	Nickel	149	Bryophytes	Pont de fer	Etude EC
OGNON Les AYNANS	2004	Nickel	47,5	Sédiments	(en amont du Rahin)	RNB
RAHIN PONT CHARIVARI	2008	Cadmium	12,7	Bryophytes	Pont Charivari	Etude EC
RAHIN PONT CHARIVARI	2008	Zinc	1660	Bryophytes	Pont Charivari	Etude EC
RAHIN ROYE	2008	Arsenic	34,3	Bryophytes	Roye	Etude EC
RAHIN ROYE	2008	Zinc	1600	Bryophytes	Roye	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2008	Cadmium	8,6	Bryophytes	Aval PLANCHER BAS	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2008	Cuivre	318	Bryophytes	Aval PLANCHER BAS	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2008	Plomb	243	Bryophytes	Aval PLANCHER BAS	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2008	Nickel	174	Bryophytes	Aval PLANCHER BAS	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2008	Zinc	1080	Bryophytes	Aval PLANCHER BAS	Etude EC
RAHIN PLANCHER BAS	2001	Cadmium	8,6	Bryophytes	Aval Plancher-Bas	Diren (Etude CR)
RAHIN PLANCHER BAS	2001	Nickel	269	Bryophytes	Aval Plancher-Bas	Diren (Etude CR)
RAHIN PLANCHER BAS	2001	Plomb	179	Bryophytes	Aval Plancher-Bas	Diren (Etude CR)
RAHIN PLANCHER BAS	2001	Zinc	1220	Bryophytes	Aval Plancher-Bas	Diren (Etude CR)

RIVIERE	*Année*	*Polluant*	*mg/kg*	*Matrice*	*Prélèvement*	*Analyses*
RAHIN RONCHAMP	2001	Arsenic	44,7	Bryophytes	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
RAHIN RONCHAMP	2001	Cadmium	31,3	Bryophytes	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
RAHIN RONCHAMP	2001	Plomb	97,7	Bryophytes	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
RAHIN RONCHAMP	2001	Zinc	4299	Bryophytes	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
RAHIN RONCHAMP	2001	Nickel	95,4	Bryophytes	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
RAHIN RONCHAMP	2008	Cadmium	42,5	Bryophytes	Aval Ronchamp	Etude EC
RAHIN RONCHAMP	2008	Nickel	82	Bryophytes	Aval Ronchamp	Etude EC
RAHIN RONCHAMP	2008	Zinc	4830	Bryophytes	Aval Ronchamp	Etude EC
OGNON SERVANCE	2008	Arsenic	15,6	Bryophytes	Les Champs Fourguenons	Etude EC
OGNON SERVANCE	2008	Cadmium	5,5	Bryophytes	Les Champs Fourguenons	Etude EC
OGNON SERVANCE	2008	Cuivre	123	Bryophytes	Les Champs Fourguenons	Etude EC
OGNON SERVANCE	2008	Zinc	531	Bryophytes	Les Champs Fourguenons	Etude EC
RAHIN	2001	Benzo(a)pyrène	488	Sédiments	Plancher-Bas	Diren (Etude CR)
RAHIN	2001	Benzo(a)pyrène	496	Sédiments	Aval Ronchamp	Diren (Etude CR)
REIGNE	2001	Benzo(a)pyrène	581	Sédiments	MAGNY VERNOIS	Diren (Etude CR)
OGNON SERVANCE	2001	Benzo(a)pyrène	408	Sédiments	Les Champs Fourguenons	Diren (Etude CR)
OGNON Aval	2008	Cadmium	6,8	Bryophytes	Aval base PAN Villersexel	Etude EC
OGNON Aval	2008	Zinc	1620	Bryophytes	Aval base PAN Villersexel	Etude EC
OGNON Aval	2008	Zinc	1070	Bryophytes	Pont d'Autrey	Etude EC

Annexe 3 : Etat de nos poissons, comparé à la réglementation Européenne en vigueur

REGLEMENT (CE) n°1881/2006

	teneurs maximales				0,3mg/kg		0,05mg/kg		0,5 mg/kg ou 1 mg/kg		
										poids	taille
	Analyses Ad Scientifique 2009	**cr**	**cu**	**ni**	**pb**	**zn**	**cd**	**hg**	**mehg**	**gr**	**cm**
1	lotte St Sulpice Scey	0,220	1,500	0,400		7,200		0,480	0,403	638	45,0
2	br Semé		2,400	0,210		11,000	0,170	0,310	0,260	3112	78,0
3	br La Font Lure		1,700	6,100		16,000	0,020	0,300	0,252	1532	63,0
4	br Les Aynans		2,700	0,270		11,000	0,020	0,210	0,176	1508	65,0
5	tr aval Servance	0,002	0,064			0,284		0,002	0,160	682	40,0
6	tr St Sulpice	0,260	7,500			18,000		0,150	0,126	226	28,0
7	br Razou	0,240	2,200	0,240		11,000		0,140	0,118	1966	64,0
8	br Pont sur l'Ognon		1,400	0,280	0,280	18,000		0,140	0,118	844	53,0
9	lotte Les Aynans		4,800	0,270	0,300	22,000	0,090	0,130	0,109	114	295,0
10	lotte Autrey le Vay	0,240	2,200			8,200		0,130	0,109	270	37,0
11	tr La Côte		1,500	0,400		16,000	0,180	0,120	0,101	312	30,0
12	tr La Côte		2,100	0,210	0,400	58,000	0,260	0,120	0,101	268	28,5
13	tr Magny-Vernois		2,200			31,000		0,120	0,101	246	28,0
14	lotte La Côte		2,700		0,270	32,000	0,200	0,100	0,084	150	26,5
15	tr Magny-Vernois		2,100	1,200		23,000		0,080	0,067	262	29,0
16	tr Les Aynans		2,500		0,220	37,000	0,050	0,070	0,059	218	21,0
17	chabots St Sulpice	0,340	2,300	0,330		13,000	0,020	0,070	0,059	212	
18	chabot aval Servance	0,340	2,000	0,310		19,000	0,180	0,050	0,042	218	7,7-11
19	lotte La Côte		2,000	0,300		28,000	0,200	0,050	0,042		19,0
20	tr aval Servance	0,200	2,000			27,000	0,050	0,040	0,034	284	24,0
21	chabot Magny-Vernois		2,000			17,000	0,030	0,040	0,034	212	

Limites de consommation, selon les seuils de l'OMS

DHT = dose hebdomadaire Tolérable, ramenée au poids corporel

		Consommateur	limite par semaine	en mg/kg truite (16)	en mg/kg lotte (9)	en mg/kg truite (12)	
Plomb	DHT mg/kg	Poids en Kg	Total en mg	0,22	0,3	0,4	
0,63 µg/kg pc/j pour les effets néphrotoxiques (adultes EFSA 2010b)	0,00441	60	0,26	1,20	0,88	0,66	pour un adulte
1,5 µg/kg pc/jour pour les effets cardiovasculaires (adultes EFSA 2010b)	0,0105	60	0,63	2,86	2,10	1,58	pour un adulte
0,5 µg/kg pc/j pour les effets sur le neurodéveloppement (enfants EFSA 2010b)	0,0035	20	0,07	0,32	0,23	0,18	pour un enfant
ancienne norme	0,0035	10	0,035	0,16	0,12	0,09	pour un enfant
25 µg/kg/sem JECFA 1986				en kg	en kg	en kg	

90 gr/semaine

		Consommateur	limite par semaine	en mg/kg truite (20)	en mg/kg lotte (9)	en mg/kg truite (12)	
cadmium	DHT mg/kg	Poids en Kg	Total en mg	0,05	0,09	0,26	
2,5 µg/kg pc/sem AFSA 2009	0,0025	60	0,15	3	1,67	0,58	pour un adulte
	0,0025	20	0,05	1	0,56	0,19	pour un enfant
ancienne norme	0,0025	10	0,025	0.5	0,28	0,10	pour un enfant
7 µg/kg/semaine JECFA 1989				en kg	en kg	en kg	

100 gr/semaine

		Consommateur	limite par semaine	en mg/kg truite (12)	en mg/kg brochet (3)	en mg/kg lotte (1)	
Méthylmercure	DHT mg/kg	Poids en Kg	Total en mg	0,1	0,25	0,4	
1,6 µg/kg/semaine (JECFA 2004).	0,0016	60	0,096	0,96	0,38	0,24	pour un adulte
	0,0016	20	0,032	0,32	0,13	0,08	pour un enfant
	0,0016	10	0,016	0,16	0,06	0,04	pour un enfant
				en kg	en kg	en kg	

40 gr/semaine

		Consommateur	limite par jour	en mg/kg truite (11)	en mg/kg truite (15)	en mg/kg brochet (3)	
Nickel (DJT dose journalière tolérable)	DJT mg/kg	Poids en Kg	Total en mg	0,4	1,2	6,1	
22 µg/kg de masse corporelle (AFSSA 2005)	0,022	60	1,320	3,3	1,1	0,216	pour un adulte
	0,022	20	0,440	1,1	0,367	0,072	pour un enfant
	0,022	10	0,220	0,55	0,183	0,036	pour un enfant
				en kg	en kg	en kg	

36 gr/jour

Annexe 4 : **Réglementation en vigueur sur les risques alimentaires à consommer du poisson de rivière.**

Les teneurs en contaminants divers à ne pas dépasser dans les produits alimentaires se trouvent dans le RÈGLEMENT (CE) No 1881/2006 DE LA COMMISSION du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, accès direct :
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:FR:PDF
Ce document précise que la consommation de denrées dépassant les teneurs maximales indiquées ne présente pas obligatoirement de risque pour la santé. En revanche, les produits dont les teneurs en contaminants excèdent ces valeurs ne doivent pas être mis sur le marché, ni en tant que tels, ni après mélange avec d'autres denrées alimentaires, ni comme ingrédients d'autres denrées alimentaires.

L'évaluation des risques, le calcul des Valeurs de Référence Toxicologique (VTR ou valeur seuil à partir desquelles des effets sur la santé sont constatables), les Doses Hebdomadaires Admissibles (ou Tolérables) Provisoires (DHTP) ou les Doses Hebdomadaires Admissibles (ou Tolérables, DHA ou DHT) sont référencées dans le document: *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l' environnement et du travail (ANSES), Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) Tome 1, juin 201,* accès direct :
http://www.anses.fr/Documents/PASER2006sa0361Ra1.pdf

Plomb
Les teneurs maximales en plomb sont de ***0,3 mg/kg de poids frais pour la chair musculaire de poisson***, 0,5 mg/kg de poids frais pour les crustacés, 1 mg/kg de poids frais pour les céphalopodes et 1,5 mg/kg de poids frais pour les mollusques bivalves.
Chez l'adulte, le plomb a des effets sur les reins (augmentation de la prévalence de maladies chroniques rénales) et sur le système cardiovasculaire (élévation de la pression sanguine systolique). La VTR reconnue jusqu'ici était une DHTP de 25 µg/kg pc/sem, établie par le JECFA en 1986. En 2010, l'EFSA (EFSA 2010b) et le JECFA (JECFA 2011b) ont tous deux reconnu que cette DHTP n'était plus suffisamment protectrice mais n'ont pas été en mesure d'établir une nouvelle VTR, les données ne permettant pas d'identifier un niveau sans effet. L'EFSA a néanmoins identifié 3 doses de référence, 2 chez l'adulte et une chez l'enfant/la femme enceinte ou en âge de procréer. Elles sont respectivement de ***0,63 µg/kg pc/j pour les effets néphrotoxiques***, ***1,5 µg/kg pc/jour pour les effets cardiovasculaires*** et ***0,5 µg/kg pc/j pour les effets sur le neurodéveloppement*** (EFSA 2010b).

Cadmium
Les teneurs maximales en cadmium sont de ***0,05 mg/kg de poids frais pour la chair musculaire de poisson*** à l'exclusion de certains poissons prédateurs marins et l'anguille pour qui la teneur maximale est fixée à 0,1 mg/kg de poids frais, 0,6 mg/kg de poids frais pour les crustacés, 1 mg/kg de poids frais pour les mollusques bivalves et les céphalopodes.
Du fait de sa longue demi-vie biologique, estimée entre 10 et 30 ans chez l'homme, . L'EFSA a proposé en 2009 une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 2,5 µg/kg pc/sem, suivant une approche « Benchmark dose » modélisant la relation dose/effet entre Cd urinaire et bêta-2-microglobuline urinaire à partir des données de 30 000 individus issues de 35 études (EFSA 2008).

Mercure et Méthylmercure
Les teneurs maximales sont fixées à un niveau aussi bas que pouvant être atteint grâce au respect des bonnes pratiques dans le domaine de la fabrication, de l'agriculture et de la pêche

et pour protéger la santé des populations les plus sensibles (notamment les nourrissons et les enfants en bas âge).
La teneur maximale en mercure est de ***0,5 mg/kg de poids frais*** (***truite, lotte***) pour la chair musculaire de poisson et les crustacés, à l'exception de certaines espèces tels que l'anguille ou le ***brochet*** (et de nombreuses espèces marines) pour lesquels la teneur maximale est de ***1 mg/kg de poids frais***.

DHTP dans le cas du mercure organique: Par voie orale, le système nerveux central est le principal organe cible du mercure organique, en particulier lors du développement fœtal. Les effets toxiques sont une altération des fonctions sensorielles (vue, ouïe), de la coordination motrice, de la mémoire, de l'attention et de l'apprentissage. Le JECFA a fixé une DHTP pour le méthylmercure de ***1,6 µg/kg pc/sem***, d'après des études épidémiologiques sur la relation entre l'exposition des mères et le développement neurologique de l'enfant (JECFA 2004). Elle s'applique à l'exposition au méthylmercure via la consommation de poissons et autres produits de la mer.

DHTP dans le cas du mercure non organique: La toxicité du mercure inorganique entraîne des lésions rénales, une neurotoxicité et des troubles cardiovasculaires. En 2010, le JECFA a établi une nouvelle DHTP pour le mercure inorganique de 0,004 mg/kg pc/sem (soit 4 µg/kg pc/sem), sur la base d'effets rénaux chez le rat, qui s'applique à l'exposition au mercure total dans les aliments hors poissons et autres produits de la mer (JECFA 2011a).

Nickel
En 2005, l'OMS établit une DJT de 0,022 mg/kg p.c./j à partir d'une étude menée par le Springborn Laboratories, Inc. (SLI, 2000). Une DMSENO (dose maximale sans effet néfaste observable) de 2,2 mg/kg p.c./j de nickel pour l'ensemble des effets critiques étudiés est proposée pour les adultes et leur descendance. Un facteur de sécurité de 100 (pour les variations inter et intra espèces) est appliquée.
L'OMS souligne cependant que cette valeur toxicologique de référence n'est pas suffisamment protectrice pour les individus sensibilisés au nickel et pour qui l'exposition au nickel par voie orale peut induire un eczéma.

Les conséquences d'une consommation occasionnelle de poisson contaminé, analysons sereinement et surtout relativisons:

Les données disponibles sur nos poissons paraissent parfois alarmistes, certains poissons dépassant les normes européennes. Faut-il s'alerter d'un problème de santé publique ?
Dans la pratique, on calcule généralement les doses tolérables pour un consommateur selon sa tranche d'âge, une attention particulière étant portée pour les enfants et femmes enceintes ou allaitantes. Ces doses sont calculées pour une consommation régulière qui pourrait, sur de longues périodes, entrainer un risque de santé. On procède selon 2 critères:

1/ La dose sans effet
Elle est déterminée à partir d'études sur les animaux quelquefois à partir de données humaines obtenues lors de catastrophes écologiques. Deux paramètres sont mesurés :
La dose maximale sans effet (NOAEL, no observable adverse effect level)
La dose minimale ayant entraîné un effet néfaste (LOAEL, lowest observable adverse effect level)
On en déduit la dose journalière tolérable et la dose journalière admissible (Elle concerne les molécules ajoutées intentionnellement dans les aliments pour obtenir un effet précis sur la conservation, la texture, la couleur, le goût)

2/ La dose journalière tolérable (DJT) est la dose susceptible d'être absorbée en une journée par un individu sans entraîner d'effets toxiques, même si l'absorption a lieu quotidiennement pendant toute la vie. Elle est rapportée par kg de masse corporelle. Elle est utilisée pour les composés dont la présence dans l'alimentation n'est pas souhaitée, mais inévitable, notamment pour des raisons de contamination de l'environnement.
Cette dose est obtenue en divisant le NOAEL par un facteur arbitraire de sécurité de 100 :
- x 10 pour tenir compte de la différence de sensibilité entre espèces et de la synergie ou de l'antagonisme entre produits;
- x 10 pour tenir compte des variations individuelles (état physiologique, nutrition, sanitaire).
Pour les substances considérées comme les plus toxiques, le facteur de 100 peut être augmenté jusqu'à 1000, ce n'est pas le cas des métaux lourds de notre étude. Pour les substances contaminantes à des teneurs très faibles (µg/g) comme certains cations métalliques, on fait plutôt appel à la Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT, ou DHTP dose hebdomadaire provisoire). Ces évaluations sont conduites au niveau international sous l'égide de l'OMS et par l'AFSSA au niveau français.

Pour revenir à nos poissons, ces doses sont calculées pour une consommation régulière sur l'ensemble de l'année, mais il est peu probable que dans notre cas elles soient dépassées sur une longue période. La pêche dans ces rivières de 1ère catégorie piscicole ne dure que 6 mois, et une bonne partie des poissons consommés vient des déversements en truites de pisciculture qui répondent parfaitement aux normes alimentaires.

Le nickel est un bon exemple pour montrer qu'il faut relativiser l'effet de certains polluants. La dose journalière tolérable apportée par nos poissons (et dans tout aliment) est fixée à 22 µg/kg de masse corporelle, ce qui donne un apport journalier total de 1,32 mg pour une personne de 60 kg. Il faut cependant insister sur le fait que cet apport, constitue un maximum en tenant compte du nickel déjà apporté par l'alimentation habituelle, dont l'estimation haute, hors eau de boisson, est déjà proche de 150 mg/j. Pour relativiser les valeurs de références publiées par les organismes de santé, il suffit de savoir que le chocolat en contient 1,35mg/kg, et les fruits secs ont une teneur moyenne de 1,02 mg/kg. Avec la DJT fixée par l'ANSES, un enfant de 10 kg arriverait à cette valeur en consommant 36 gr du brochet de la Font, le plus contaminé. Cependant, il y arriverait aussi en mangeant 163 gr de chocolat. Idem pour un adulte de 60 kg, la dose journalière admissible est atteinte pour la consommation de 216 gr de notre brochet, ou mieux, pour 977 gr de chocolat. Personne n'évoquerait alors une possible contamination au nickel, tout juste un risque très élevé de crise de foie !
Pour être rigoureux, cette simulation devrait cependant tenir compte du complexe chimique sous lequel se trouve le nickel, car la simple présence de ce métal dans les résultats d'analyse n'est pas suffisante pour caractériser sérieusement un risque. Rappelons simplement que d'après de nombreuses études, le nickel ne présente pas de risque avéré en France dans le cas de l'alimentation.

Le cadmium est-il dangereux pour nos pêcheurs ? là encore, relativisons. La baie de Seine est une des plus polluée au cadmium en France, sur certaines plages fleurissent des panneaux d'interdiction de récolter les coquillages, le cadmium en est une des raisons. L'exposition des Havrais (3,5 à 5,0 µg/kg pc/sem) est aujourd'hui supérieure à la Dose Hebdomadaire Tolérable préconisée par l'AFSA 2009 (2,5 µg/kg pc/sem) et ce problème est à l'origine, en 2005, d'une grande enquête sur les risques à consommer le poisson de mer dans la région (l'étude Calipso). Cependant, elle prenait en compte la DHT du JECFA 1989 (7,0 µg/kg pc/sem) et concluait que pour les éléments traces, les aliments contributeurs sont bien la crevette, le crabe, l'anchois, la coquille Saint-Jacques et le bulot pour le cadmium, et ce principalement en raison d'un niveau de contamination plus important que dans certaines régions. Et concernant les problèmes éventuels liés à ces consommations, elle ne semblait pas

mettre en évidence un élévation du risque. Aurions-nous une autre conclusion avec les nouvelles normes de 2009, probablement pas étant donnée la grande marge de sécurité utilisée pour les construire.
Avec nos poissons du Rahin, il faudrait qu'un jeune havrais de 10 kg ingère entre 175 et 250 gr de truites par semaine pour avoir, la même quantité de cadmium, sans aucun autre apport extérieur. Mais est-ce bien significatif ?
Pour situer les risques à consommer du poisson et surtout des coquillages et crustacés marins, voici quelques chiffres à comparer à la dose moyenne des truites du Rahin (0,2 mg/kg ps), ce tableau suffira à écarter les doutes sur les risques alimentaires:

Teneurs moyennes en cadmium des produits de la mer

Coquillages/crustacés	
Moules	mg/kg ps
de Manche et Baie de Seine	1 à 8
d'Atlantique	0,1 à 1
de Gironde	10 à 26
St Jacques	1,1 à 7,8
Bigorneau	0,1 à 0,6
Bulot	1,7 à 8,9
Crabe	0,4 à 6
Huîtres	1,1 à 1,4

Poissons	mg/kg ps
Bar	0,1
Saumonette	1,2
Plie, carrelet baie de Seine	0,05 à 0,2
Maquereau	0,05

Les huitres sauvages de la Gironde, avec des taux de cadmium de 50 à 100 mg/kg de poids sec (le plus élevé de tout le littoral français) sont maintenant interdites à la récolte, c'est 250 à 500 fois la dose de nos truites.

Le cas du mercure, et surtout du méthylmercure, est le seul vraiment préoccupant du fait de sa bioaccumulation dans les tissus. C'est un polluant pouvant, même à très faible dose, et notamment en cas d'exposition prénatale (in utero) ou via l'allaitement freiner et limiter le développement du cerveau du fœtus et du jeune enfant. On commence à étudier ses effets toxiques à des expositions régulières sous le seuil de toxicité, si bien que les normes de contamination dans l'alimentation sont en constante révision. La FAO/OMS a fixé en 2004 une DHT de 1,4 µg/kg de masse corporelle alors qu'aux États-Unis la nouvelle dose de référence établie est déjà de 0,7 µg/kg.

Soyons quand même vigilants, les doses tolérables sont en perpétuelle révision, toujours à la baisse, comme pour les contaminations des sédiments par les éléments traces. Voici d'ailleurs l'un des derniers Avis de l'Anses, la Saisine n°2006-SA-0361 10 / 36

Synthèse des conclusions de l'évaluation du risque lié à l'exposition aux contaminants inorganiques:

Substances	Résultats principaux	Actions correctives et/ou besoins de recherche
Antimoine, Baryum, Nickel	Risque pouvant être écarté pour la population générale	
Cobalt	Risque pouvant être écarté pour la population générale	Nécessité de mener des études sur la cancérogénicité et la génotoxicité (car incertitude)
Mercure inorganique	Impossible de conclure quant	Nécessité de poursuivre les

	au risque lié à l'exposition alimentaire	efforts pour réduire les expositions alimentaires
Cadmium, Aluminium, Méthylmercure, Arsenic inorganique, Plomb	Risque ne pouvant être écarté pour certains groupes de consommateurs (Cadmium : adultes. Aluminium, Plomb et Arsenic inorganique : adultes et enfants les plus exposés, Méthylmercure : forts consommateurs de thon)	Nécessité d'abaisser les limites analytiques pour le mercure et le plomb Nécessité de mettre en œuvre des méthodes analytiques de routine pour la spéciation dans les aliments pour l'arsenic et le mercure Nécessité d'identifier l'origine de l'augmentation des contaminations pour le cadmium
Etain. Gallium, Germanium. Strontium, Argent, Tellure, Vanadium	Impossible de conclure quant au risque lié à l'exposition alimentaire	Nécessité de mener des études toxicologiques à long terme, par voie orale Nécessité de mettre en œuvre des méthodes analytiques de routine pour la spéciation dans les aliments pour l'étain

En conclusion, seul le mercure mérite qu'on prenne quelques précautions quand à la consommation des carnassiers et dans l'état actuel des connaissances, mais la meilleure manière d'écarter tout risque est évidemment de réduire l'impact de ces pollutions.

Annexe 5 : Les principales occurrences en éléments traces dans le massif vosgien

tiré de http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54031-FR.pdf

Les occurrences en éléments traces dans les roches, dans le massif des Vosges, sont nombreuses, voire très importantes dans certains secteurs. Néanmoins, peu de références pertinentes concernant les métaux dans les eaux ont été trouvées et les quelques documents consultés ne traitent que du lien entre géologie et éléments traces dans les sols.
Les formations volcano-sédimentaires métamorphiques rencontrées dans les Vosges du Sud sont riches en métaux en amas stratiformes ou en filons, si bien qu'elles recèlent les plus grandes concentrations du socle vosgien. Les minéralisations les plus courantes sont filoniennes et contiennent du **plomb, zinc, fer manganèse, cuivre, arsenic, baryum** et **argent** (BRGM, 1997a ; Théobald ef *al.,* 1974).
Pour les secteurs granitiques, le constat est le même. Ils sont recoupés par de très nombreux filons, mais cela ne concerne qu'un nombre plus limité d'éléments traces comme le **fer,** le **baryum** et le **fluor** (Coulon *et al.,* 1986). Notons toutefois la présence de **chrome** marqueur de granités sub-alcalins (BRGM, 2000).

Rapport entre la lithologie et les éléments traces dans les eaux

En résumé sur les principales occurrences en éléments traces dans le secteur des Vosges, le tableau de synthèse suivant illustre, pour un contexte géologique donné, les éléments traces présents dans les roches ainsi que ceux susceptibles de donner aux eaux de surface et/ou souterraines des concentrations significatives.

Relation entre lithologie et éléments traces dans le secteur des Vosges

Encaissant		*Eléments traces potentiellement présents sous forme minéralisée*	*Eléments traces pouvant être retrouvés en concentrations significatives dans tes eaux de surface et dans les eaux souterraines*
Granités des Ballons		*Ba F Fe*	*Ba F Fe*
Granités sub-alcalins des Ballons		*Ba Cr F Fe*	*Ba F Fe*
Viséen	*Volcano-sédimentaire*	*Ag As Ba Cu Fe Mn Pb Zn*	*As Ba Fe* Mn
Toumaisien		*BaFeMn*	*BaFeMn*
Permien	*Grès*	*Ba Fe Mn*	*Ba Fe* Mn

Conclusion

La présence d'éléments traces dans les eaux d'origine naturelle n'est pas réellement définie à ce jour. Les informations disponibles traitent surtout des anomalies dans les sols en fonction du contexte géologique comme le montre le rapport du BRGM (1997a).

Le contexte géologique le plus riche en traces est le secteur des formations Volcano-sédimentaires primaires qui contiennent de très nombreux gisements de sulfures. La mise en solution de métaux dans les eaux est probable et certains éléments comme l'arsenic, le fer, le baryum, le manganèse, le fluor et le zinc sont sans doute présents en concentrations plus ou moins significatives

Annexe 6 : la spéciation des métaux dans les milieux aquatiques
D'après l'étude réalisée sur la Seine et l'Ineris

Le Cadmium

Le cadmium étant un élément non conservatif (c'est à dire se trouvant modifié par les processus physicochimiques auquel il est soumis), il faut tenir compte des échanges entre les particules et la phase dissoute pour comprendre les risques de toxicité qu'il fait courir. La mesure de sa seule concentration ne suffit pas. Il faut aussi pouvoir évaluer sous quelles formes physicochimiques (spéciation) il est présent. C'est ce qui va contrôler sa réactivité, sa biodisponibilité et sa toxicité. Ces connaissances sont incontournables pour une meilleure gestion des rejets et la détermination des niveaux de risques.

Dans la colonne d'eau, ce sont les processus d'adsorption et de désorption sur différents types de fractions particulaires qui contrôlent sa partition dissous-particulaire. Dans les zones sédimentaires, le cadmium est « immobilisé » sous forme de sulfures particulaires, mais la présence de ligands dissous ayant de fortes capacités complexantes pourrait favoriser une solubilisation non négligeable dans ces milieux appauvris en oxygène. La pérennité du stockage du cadmium en milieu réducteur n'est pas assurée : toute remise en suspension dans la colonne d'eau de ces formes particulaires réduites peut conduire à un enrichissement du stock de cadmium dissous, donc toxique.

Dans les eaux douces et pour des pH Inférieurs à 8, Cd^{2+} est la forme dominante. Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. Dans les milieux sédimentaires. le cadmium précipite sous forme de sulfure (CdS). Mais différents travaux ont montré que l'on peut rencontrer dans des zones très anoxiques (bassins fermés, eaux Interstitielles...) des concentrations en cadmium supérieures à celles qui correspondent à leur produit de solubilité avec les sulfures. Ces résultats pourraient être expliqués par la formation de complexes stables avec des composés organiques ou avec différentes espèces du soufre (polysulfures, thiosulfates, sulfites, soufre colloïdal). Notons quand même que le cadmium est assez peu complexé par les acides organiques rencontrés dans l'eau des rivières.

La solubilité du cadmium dépend naturellement du pH, mais dans nos conditions, on peut admettre que Cd est insoluble, le sulfure de cadmium est très peu soluble, mais le sulfate de cadmium (utilisé comme stabilisant des plastiques) est très soluble dans l'eau,

Le cadmium élémentaire, le chlorure de cadmium, l'oxyde de cadmium et le sulfure de cadmium ont été classés par l'UE en catégorie 3 (agent ne pouvant être classé du point de vue de sa cancérogénicité pour l'homme) pour le caractère génotoxique. Le sulfate de cadmium a été classe en catégorie 2 (cancérogène possible). Sur la base de ces résultats, l'UE classe le cadmium et ses dérivés dans la catégorie 2 (2004).

Le Plomb

Le plomb élémentaire ne se dissout pas dans l'eau sous les conditions normales (20°C, et pression 1 bar). Il peut toutefois se dissoudre dans l'eau en $PbCO_3$ ou $Pb(CO_3)_2^{2-}$. Un exemple connu de composé de plomb soluble dans l'eau est le sucre de plomb (acétate de plomb). Il se lie fréquemment au soufre en forme sulfure (S2-), ou au phosphore en forme phosphaté (PO43-). Sous ces formes, le plomb est extrêmement insoluble, et est alors immobilisé dans l'environnement. Les composés de plomb sont généralement solubles dans une eau douce et légèrement acide.
Le plomb et ses composés sont généralement des polluants toxiques. Les sels de plomb ainsi que les composés de plomb organiques sont plus nuisibles au niveau écotoxicologique. Les sels de plomb sont attribués à la classe 2 des eaux à risque, et sont de ce fait considérés

comme nocifs. Cela s'applique également aux composés tels que l'acétate de plomb, l'oxyde de plomb, le nitrate de plomb, et le carbonate de plomb. Source http://www.lenntech.fr/element-et-eau/plomb-et-eau.htm

Un cas particulier des stands de tir, une mine de plomb à ciel ouvert. On connaît depuis longtemps la pollution du plomb au niveau du sol, mais on découvre depuis peu ses effets sur les eaux. Contrairement à l'hypothèse selon laquelle le plomb demeure très stable dans le sol, de nouvelles études montrent qu'il tend à migrer vers les couches profondes. Selon le contexte, il peut présenter un grave danger pour les eaux superficielles ou souterraines. Par ailleurs, on ne s'intéresse que depuis quelques années à l'antimoine, métal utilisé pour durcir les balles. Même s'il ne représente que 2% de la teneur en plomb dans les murs pare-balles, ce métal est beaucoup plus toxique et très soluble; il peut donc rapidement ruisseler dans les eaux superficielles ou atteindre les eaux souterraines.

Le Nickel

Le nickel et ses composés font partie de la liste des substances prioritaires provenant de la Directive cadre sur l'eau 2000/60/CE. Voici ses caractéristiques ainsi que celle de certains composés dont il faut éviter la présence dans l'environnement .

Substance chimique	Solubilité	Risque connu
Nickel	Insoluble	Toxique
Nickel tétracarbonyle	Très peu soluble	Très toxique, Dangereux pour l'environnement
Oxyde de Nickel	Insoluble	Toxique
Carbonate de nickel	Très peu soluble	Nocif, Dangereux pour l'environnement
Sulfure de nickel	Insoluble	Toxique, Dangereux pour l'environnement
Sulfate de nickel	Facilement soluble	Nocif

Plus en détail, *le nickel tétracarbonyle* est employé dans la fabrication de poudre de nickel de haute pureté. Il est également utilisé comme catalyseur en synthèse organique.
L'acétate de nickel est utilisé comme mordant (fixateur des colorants) pour les textiles, comme intermédiaire dans la fabrication d'autres composés de nickel et comme catalyseur.
Le chlorure de nickel est employé pour le nickelage, pour fabriquer des encres sympathiques et comme réactif de laboratoire. Il sert également à piéger l'ammoniac dans les masques à gaz.
Le nitrate de nickel entre dans la composition de bains de nickelage et est utilisé comme colorant pour les porcelaines. Il est également employé dans les batteries cadmium-nickel.
L'oxyde de nickel est utilisé dans la fabrication de sels de nickel, dans la fabrication de ferrites utilisées dans l'industrie électronique, dans la production de catalyseurs et pour le nickelage. Il est également employé comme colorant pour le verre et utilisé dans les peintures sur porcelaine.
Le sulfate de nickel est utilisé dans les bains de nickelage, comme intermédiaire dans la fabrication de carbonate de nickel et de sulfate d'ammonium et de nickel. C'est le principal intermédiaire pour la fabrication de sels de nickel. Il sert à produire des catalyseurs et est employé comme mordant13 pour les textiles. Il est également employé pour le noircissement du zinc et du bronze.
Le sulfure de nickel est utilisé dans la production de catalyseurs et dans l'hydrogénation des composés de soufre en pétrochimie.
Cette liste montre qu'il faudra rechercher principalement la piste d'anciennes entreprises de traitement de surface.

Relativement mobile dans les sols, il est considéré comme cancérogène notamment sous forme d'oxydes et de sulfures. Il est essentiellement utilisé dans la production d'alliages

(aciers inoxydables), de piles et la fabrication de pigments. Les rejets industriels dans l'eau sont limités à 0,5 mg/L si le flux est supérieur à 5 g/jour. Une valeur limite moins contraignante est consentie pour les industries de fabrication et de transformation du nickel : 2 mg/L si le flux est supérieur à 4 gr/jour. En cas de raccordement à une station d'épuration urbaine, les effluents raccordés doivent faire l'objet d'une autorisation de déversement, en application de l'article L. 1331-10 du code de la santé publique.

Sous forme métallique, il est classé toxique, pourtant il faut rappeler que la population française n'est pas soumise à un risque avéré ayant pour cause la consommation d'aliments riches en nickel.

Le Zinc

D'après l'Ineris, le zinc et ses composés ont de très nombreuses applications industrielles: revêtement de métaux (galvanisation...), préparation d'alliages, imprimerie et teinture. Les sels de zinc sont eux utilisés dans la fabrication de pigments pour peinture, émaux, matières plastiques, caoutchouc, la préparation de produits pharmaceutiques et d'insecticides. Hormis de l'usure des pneumatiques sur les chaussées, et de l'usure des chenaux (zinguerie) des bâtiments, sa présence dans le milieu provient essentiellement des activités anthropiques. En galvanoplastie, fonderie, soudure, c'est principalement le chlorure de zinc qu'on utilise.
Le distéarate de zinc est employé comme stabilisant (en particulier pour les PVC) dans l'industrie des polymères, comme lubrifiant, produit de démoulage pour la fabrication des pièces moulées.
L'oxyde de zinc ZnO (parfois aussi ZnSO) correspond principalement au blanc de zinc très largement utilisé en peinture. ZnS est une molécule phosphorescente lorsqu'elle est additionnée de certains métaux. ZnCrO (chromate de zinc) est un bon enduit pour les métaux ferreux, comme substitut au minium. Le phosphate de zinc est essentiellement utilisé comme pigment anticorrosion. Sa dissolution dans l'eau nécessite un Ph faible, il est peu soluble sous forme Zn, Zn3(PO4)2, ZnO, assez soluble sous forme ZnSO4, plus soluble sous forme ZnCl2.

Le zinc est un élément essentiel, c'est à dire nécessaire en quantité généralement faible, à la vie d'un grand nombre d'organismes. A faible dose, le zinc n'est donc pas un danger pour l'homme et de nombreux animaux dont le métabolisme le régule facilement, En milieu professionnel, certaines opérations très spécifiques se déroulant à hautes températures, comme le découpage ou la soudure d'acier galvanisé, peuvent conduire à la formation de fumées contenant des particules ultrafines d'oxyde de zinc (< 0,1 µm de diamètre). L'exposition à ces fumées peut causer ce que l'on appelle la "fièvre des fondeurs".

Dans l'eau, le zinc est présent sous diverses formes : ion hydraté, zinc complexé par les ligands organiques, adsorbé sur la matière solide, oxydes de zinc. Sa spéciation très complexe dépend de nombreux facteurs (pH, matière organique dissoute, potentiel d'oxydo-réduction) et sa toxicité est variable selon la forme chimique. La toxicité sur la flore et la faune aquatiques est plus forte dans les eaux peu calcaires (action protectrice des ions calcium, d'où la moindre toxicité du zinc pour les organismes marins). Dans le cas d'une exposition chronique, il est considéré comme toxique pour les invertébrés benthiques et très toxique pour les poissons. Par exemple, on donne une concentration létale à 50% de l'ordre de 98 µg/l pour les truites arc en ciel et 334 µg/l pour les daphnies, cependant ces valeurs sont à prendre avec une certaine relativité car elles montrent une grande variabilité en fonction de dureté de l'eau.

Une étude européenne de 1977 indiquait déjà les doses à ne pas dépasser pour pratiquer des activités piscicoles (ces doses sont également fortement dépendantes de la dureté de l'eau), mais on peut déjà constater des perturbations du milieu pour quelques dizaines de

microgrammes de zinc par litre d'eau). Les effets sont particulièrement néfastes sur la truite arc-en-ciel, le vairon, et certains invertébrés (il est rapidement létal pour les larves d'éphéméridés).

Le Cuivre

D'après l'Ineris, l'ion Cu+ est instable dans l'eau sauf en présence d'un ligand stabilisateur comme les sulfures, les cyanures ou les fluorures. L'ion Cu2+ forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques. Dans les milieux aqueux, le comportement du cuivre est influencé par de nombreux processus : complexation avec des ligands organiques (surtout sur les groupes -NH2 et -SH, et dans une moindre mesure sur le groupe -OH) ou minéraux, adsorption sur des oxydes métalliques, des argiles ou des matières organiques particulaires, bioaccumulation, présence de cations de compétition (Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}…), présence de sels (OH^-, S^{2-}, PO_4^{3-}, CO_3^{2-}…), échange entre les sédiments et l'eau.

La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'adsorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90 % du cuivre. Après introduction du cuivre dans le milieu aquatique, l'équilibre chimique est généralement atteint en 24 heures.

L'ion libre $Cu2^+$ serait la forme du cuivre la plus toxique pour les organismes et il en est de même pour le zinc. Il a été montré qu'une concentration 1-2 µg/l en laboratoire pouvait déjà avoir un effet néfaste sur certains organismes aquatiques (daphnies). Cependant il existe une telle variabilité au sein des espèces que les paramètres sensibilité de l 'organisme considéré et biodisponibilité du métal doivent être pris en compte dans I 'interprétation et l 'application de ces informations.

Le Mercure

D'après l'Ineris, le mercure élémentaire est quasiment insoluble dans l'eau., mais il s'adsorbe très facilement aux matières en suspension. On va donc le retrouver facilement dans les argiles et les limons fins. Par contre, les composés organiques sont solubles. La solubilité des composés du mercure inorganique est très variable : des composés comme le chlorure mercurique sont solubles, alors que le sulfure mercurique est complètement insoluble. La solubilité des composés organiques est également variable mais tous sont plus ou moins solubles. Les diverses formes du mercure sont susceptibles d'évoluer dans l'environnement. L'une des principales particularités du mercure est de subir, dans les sols, sédiments et poissons, des réactions de méthylation / déméthylation, génératrices de produits bio assimilables et très toxiques.

- Méthylation du mercure dans les sols et sédiments:

Le monométhyl et le diméthylmercure (CH3Hg+ et (CH3)2Hg) sont formés dans les sols et les sédiments à partir des sels de mercure inorganique par des bactéries aérobies ou anaérobies (ou parfois par voie chimique). Le mercure métallique peut aussi être méthylé après avoir été oxydé en Hg2+.

La déméthylation (par voie biologique ou chimique) est aussi possible dans les sols. De nombreux paramètres influencent la méthylation et la déméthylation, par exemple la concentration en ions sulfures (S2-) et le potentiel d'oxydoréduction. En conditions réductrices, le précipité insoluble HgS est formé et il résiste à la méthylation. Si les conditions deviennent aérobies, HgS est oxydé en HgSO4 qui peut subir une méthylation. La matière organique présente dans les sols favorise quant à elle la méthylation.

- Méthylation du mercure inorganique dans les sédiments et les poissons:
La méthylation du mercure inorganique peut se faire de façon abiotique (en particulier dans les sédiments) ou biotique, grâce à l'action de bactéries ou d'organismes aquatiques. On trouve de 0,01 à 10 % de mercure sous forme méthylée dans l'eau et les sédiments, environ 15 % dans les algues, de 20 à 50 % dans les invertébrés et de 80 à 99 % dans les poissons. L'acidification du milieu augmente le taux de méthylation, en particulier dans les poissons.

L'arsenic

D'après le BRGM, il existe plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic qui correspondent à des arséniates, des sulfures et sulfosels, des arsénites, des arséniures ou encore des oxydes. Il existe aussi des composés arséniés méthylés dans les sols. Leur origine peut être soit une méthylation directe par les micro-organismes soit un apport anthropique principalement d'origine agricole.

L'arsenic est un élément chalcophile, il se combine facilement au soufre pour former des sulfo-arséniures de Fe, Ni, Co ou Cu ; les espèces les plus fréquentes des minéralisations primaires sont l'arsénopyrite (FeAsS), le réalgar (AsS) et l'orpiment (As2S3).
L'arsenic ayant la particularité d'être associé à beaucoup de métaux, il a été utilisé comme indicateur pour la prospection minière.

L'arsenic se retrouve dans les sols sous différentes formes et peut par divers mécanismes de transfert se déplacer d'un compartiment à un autre (ex : sol vers nappe). Il peut aussi se retrouver piégé. L'adsorption représente un mécanisme majeur dans le piégeage de l'arsenic. Les oxyhydroxydes métalliques s'avèrent pour la plupart de bons pièges. L'adsorption de l'arsenic sur ces phases minérales est décrite par des phénomènes de complexation de surface. Dans ce type de réaction, l'arsenic va se fixer à la surface du minéral sur les groupements acido-basiques de type «S –OH ». A l'image des espèces anioniques, l'adsorption de l'arsenic (V) sera le plus souvent faible pour des pH élevés (pH > 8). Certains éléments chimiques tels que les phosphates vont représenter des ions compétiteurs importants vis-à-vis de l'adsorption de l'arsenic.
La mobilité de l'arsenic va aussi être étroitement liée aux conditions rédox du milieu. Pour des valeurs de pH proches de celles que l'on rencontre généralement dans le milieu naturel, l'arsenic (V) va avoir tendance à être piégé en plus grande quantité sur les phases de type oxyhydroxyde de fer que l'arsenic (III). Ainsi, en milieu réducteur, les teneurs en arsenic dissous seront souvent plus élevées qu'en milieu oxydant du fait de la plus grande mobilité de l'arsenic (III). De plus, le milieu réducteur va entraîner la dissolution des oxyhydroxydes de fer au sein desquels est piégé l'arsenic, ce qui, là encore, se traduit par une libération d'arsenic dans la phase aqueuse. L'analyse de la spéciation de l'arsenic est alors essentielle si l'on veut prévoir le transfert de cet élément dans les systèmes environnementaux.
L'arsenic peut par l'action des micro-organismes se retrouver sous des formes méthylées dans les sols. La méthylation est un mécanisme de résistance développé par les micro-organismes car les composés arséniés méthylés sont beaucoup moins toxiques que les formes d'arsenic inorganiques. Différents micro-organismes bactériens et fongiques sont capables de méthyler l'arsenic inorganique présent dans le sol. La voie de méthylation des bactéries et des champignons sont différentes. La biométhylation par les bactéries aura comme produit final le diméthylarsine (DMA) qui est un composé stable en absence d'oxygène. Par contre, les champignons sont capables de transformer les composés arséniés inorganiques et organiques en arsines méthylées qui sont volatiles (TMA).

Annexe 7 : **Les dispositions règlementaires applicables au dragage des sédiments de rivière.**

Les opérations de dragage sont soumises aux procédures d'autorisation ou de déclaration au titre de la police de l'eau (articles L.214-1 à L.214-63 du Code de l'Environnement) : « *les installations, ouvrages, travaux visés par l'article L.214-1...sont soumis à autorisation ou déclaration suivant tes dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et tes écosystèmes aquatiques»* (article L.214-2).

«Au titre de ta police de l'eau, l'opération de curage ou dragage est alors traitée dans le cadre de l'arrêté d'autorisation ou de l'arrêté de prescriptions générales s'il s'agit d'une déclaration, ou des arrêtés complémentaires à l'autorisation ou ta déclaration ».
« Il appartient alors au maître d'ouvrage de proposer une gestion des sédiments adaptée, tenant compte de leur niveau de contamination, de nature à assurer la protection de ta santé et de l'environnement. Le dossier à constituer dans ce cas, en application de ta procédure « loi sur l'eau », doit porter sur l'ensemble des opérations» (MFE, 2008): dragage, phase de décantation éventuelle, gestion à terre ou remise en suspension, surveillance ultérieure pour les sédiments le justifiant (rejets dans les eaux de surface, impact sur les eaux souterraines).

Dragage des sédiments d'origine continentale

Les rubriques 3.1.1.010, 3.1.2.011, 3.1.4.012, 3.1.5.013 et 3.2.1.014 de l'article R.214-1 du Code de l'Environnement énumèrent les conditions pour lesquelles une procédure d'autorisation ou de déclaration est nécessaire.
Pour l'entretien de cours d'eau ou de canaux, les procédures sont résumées dans le tableau suivant. Les valeurs des seuils S1 de concentrations en contaminants sont précisées dans l'arrêté du 9 août 2006 (Tableau 4).

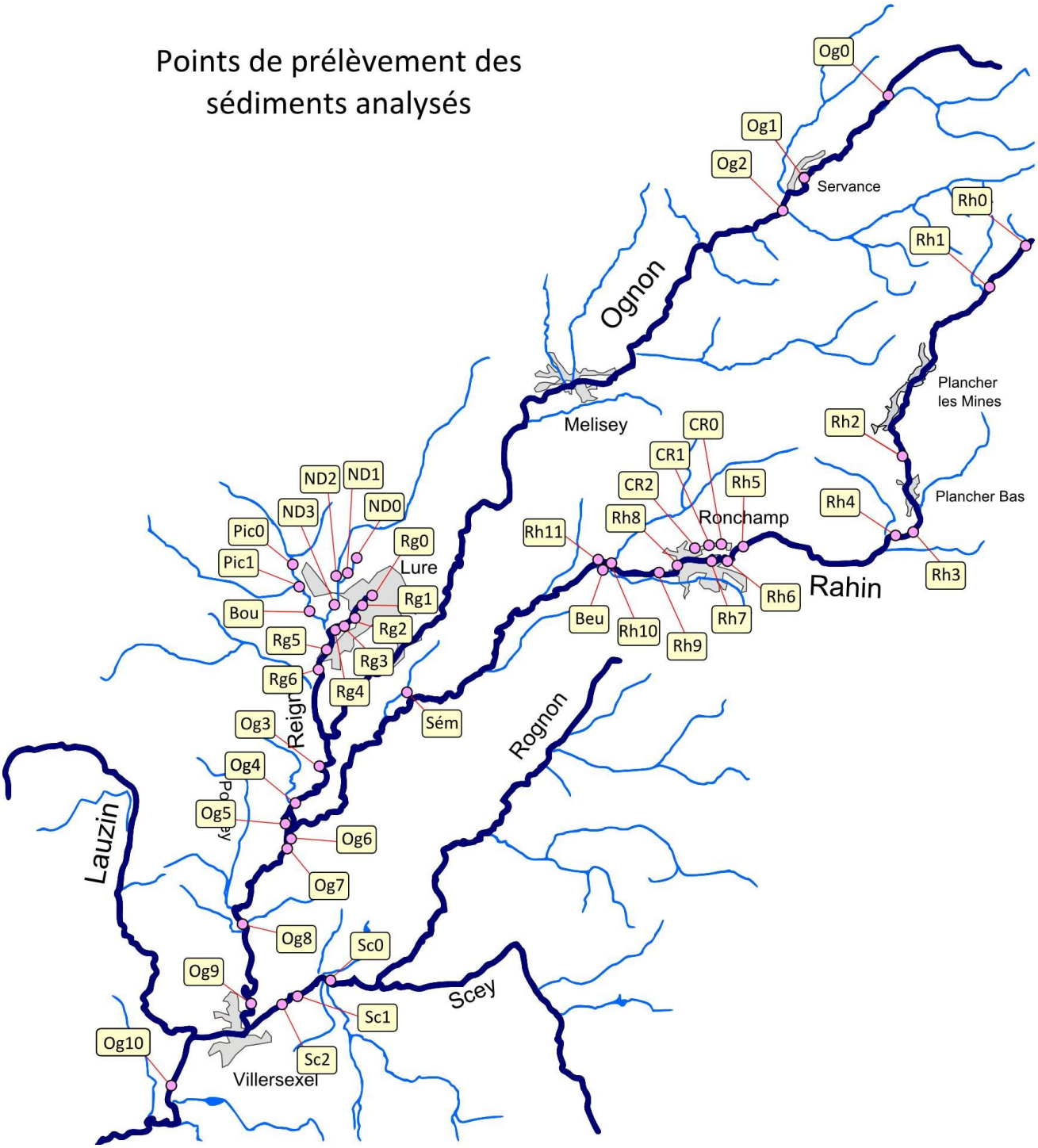
Conditions pour lesquels tes travaux de dragage de canaux et de cours d'eau sont soumis au régime de déclaration ou d'autorisation

Volume de sédiments m3 /an	Seuils de qualité	Procédure
>2000	indifférent	Autorisation
<2000	>S1	Autorisation
<2000	<S1	Déclaration

Tableau 4 . Niveaux relatifs aux éléments et composés traces (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm), comparés aux seuils de toxicité des sédiments en rivière

	TEC Apparition toxicité	S1 (dragage)	PEC Toxicité probable
Arsenic (mg/kg)	9,79	30	33
Cadmium (mg/kg)	0,99	2	4,98
Chrome total (mg/kg)	43,4	150	111
Cuivre (mg/kg)	31,6	100	149
Mercure (mg/kg)	0,18	1	1,06
Nickel (mg/kg)	22,7	50	48,6
Plomb (mg/kg)	35,8	100	128
Zinc (mg/kg)	121	300	459
Somme 16 HAP (mg/kg)	0,00161	22,8	22,8

Annexe 8 : Résultats des analyses, campagne SIAHVO 2013



Sédiments mg/kg	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	Mercure
Beu1	38,5	2,37	8,55	8,36	12,3	66,9	600	<0.10
Bou1	10,4	<0,40	12,8	7,18	10,1	16,9	54,2	<0.10
CR0	76,5	8,88	29,5	209	50,7	294	1360	0,38
CR1	85,4	7,12	83,5	392	40,6	312	1490	0,59
CR2	123	6,64	24,8	58,3	347	153	1830	0,18
ND0	66,7	0,4	30	23,6	23	40,9	87	<0.10
ND1	16,3	<0.40	13,6	7,82	7,05	14,8	35,2	<0.10
ND2	8,99	<0.40	5,54	<5.00	3,46	9,88	24,6	<0.10
ND3	5,36	<0.40	9,83	<5.00	5,5	18,7	47,8	<0.10
Og0	13,6	<0.40	21,6	25,5	9,18	21,1	42,7	<0.10
Og1	10,6	<0.40	21	20,6	8,42	15,1	32,7	<0.10
Og2	10,1	<0.40	15,5	12,8	6,64	14,4	29,9	<0.10
Og3	19,5	1,34	30	36,4	16,4	39,9	254	0,22
Og4	33,4	1,34	30,3	38,4	88,2	40,2	485	0,37
Og5	11,3	0,41	18,1	17,5	10,2	23,2	145	0,17
Og6	11,4	0,72	14,9	50,8	15	22,6	167	0,17
Og7	22,1	1,49	20,8	19,9	15,1	56,7	361	<0.10
Og8	19,4	1,81	21	22,3	16,5	35,7	334	<0.10
Og9	15,5	1,36	22,7	20,2	14,4	32,3	232	<0.10
Og10	14,4	0,75	19,2	15,3	13,4	22,1	166	<0.10
pic0	11,4	<0.40	19,7	9,44	16	28,2	63,7	<0.10
pic1	35,2	<0.40	24,4	20,3	14,4	31,3	98,9	0,15
Rg0	15,5	0,45	26,3	56,9	14,2	91	206	1,06
Rg1	16,7	0,63	26	154	13,5	90	524	1,92
Rg2	7,16	<0.40	18,4	124	7,23	43,8	151	0,4
Rg3	14,7	1,47	21,1	98,8	11,5	87,7	373	1,24
Rg4	7,31	1,4	19	80,7	9,72	78,6	232	1,01
Rg5bis	17,4	3,01	30,2	52,5	23	60,3	544	0,72
Rg6	17,8	3,64	37,4	101	23,5	104	702	1,24
Rah0	14,4	<0.37	23	14,7	10,7	80,9	58	<0.09
Rah1	18,9	<0.40	18,3	9,78	10,7	141	61,5	<0.10
Rah2	53,8	0,58	27,1	352	19,4	295	183	<0.10
Rah3	52,3	1,16	29,6	257	28,7	343	278	0,22
Rah4	71,9	0,44	19,4	118	20,3	482	151	<0.10
Rah5	45,6	0,42	18,3	407	19,2	121	216	<0.10
Rah6	44,1	0,43	17,7	53,2	17,6	101	129	<0.10
Rah7	56,6	0,5	20	76,9	20,5	174	181	<0.10
Rah8bis	55,9	0,82	35	116	27,3	243	290	0,13
Rah9	49,2	0,58	15,6	43,6	17,4	133	183	<0.10
Rah10	44,5	0,72	18,2	34,7	21,4	116	239	<0.10
Rah11	41,8	0,79	25,8	32,5	23,1	116	224	<0.10
SC0	13,4	<0.40	12,8	12,7	13,3	15,4	43,9	<0.10
SC1	21	<0.38	11,5	10,3	11,6	16,7	35	<0.10
SC2	17	<0.40	20	19,5	21,7	44,8	116	<0.10
Sémé	14,1	<0.40	8,64	5,96	5,71	44,1	81,3	<0.10
Puits rue Marsot Lure	30,1	0,41	36	121	32,3	701	962	0,7
Sol1 - Place du marché	20,5	<0.40	26,3	16,4	13,4	26,4	37	<0.10
Sol2 - Rue Tannerie	9,58	<0.40	42,1	18,3	21,8	20,2	44,1	<0.10
BPA0 Ronchamp	273	8.75	12.2	77.2	26.4	701	1330	0.55

Seuils d'écotoxicité

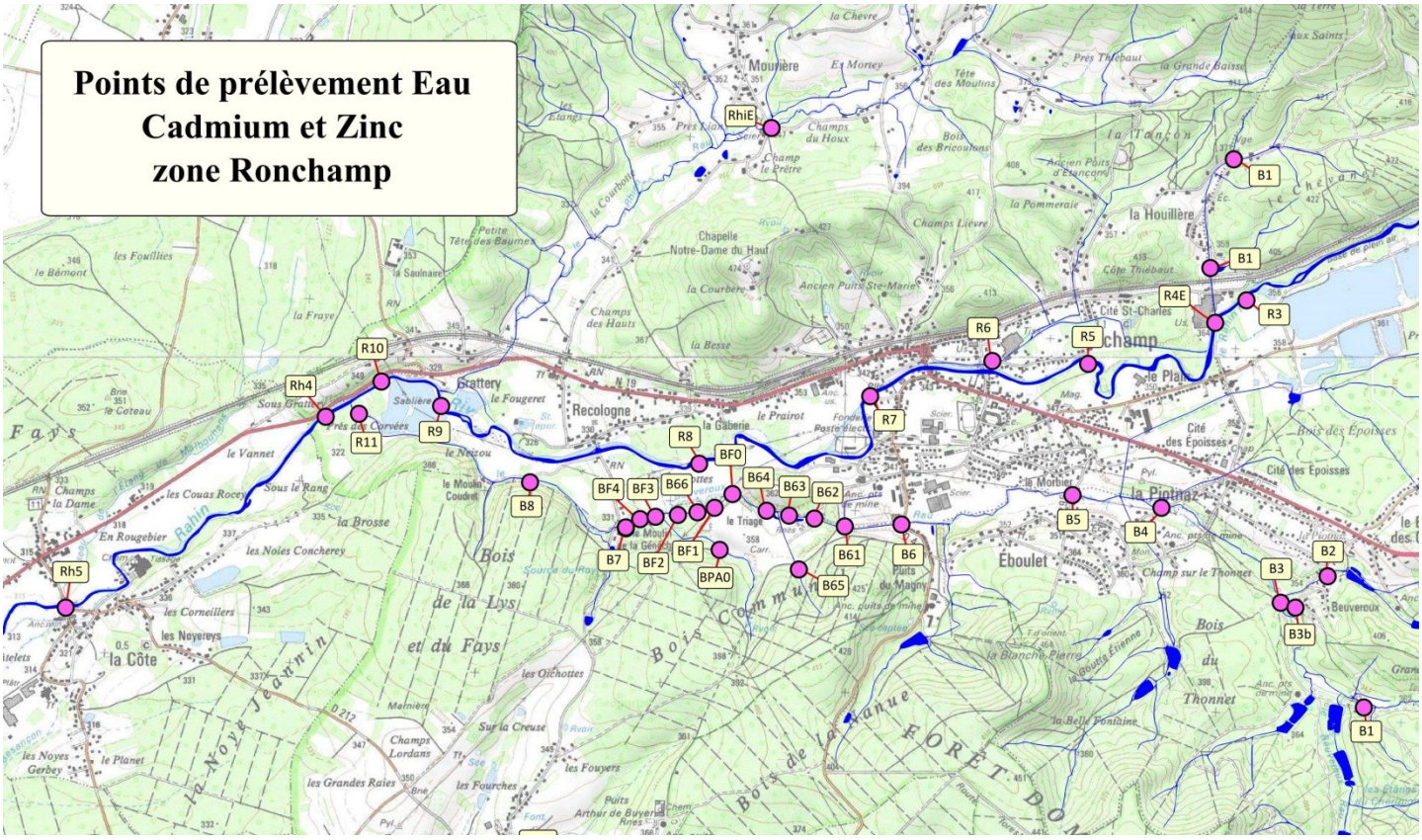
Seuils mg/kg	TEC	PEC
Arsenic	9,8	33
Cadmium	1	5
Chrome	43	110
Cuivre	31	140
Nickel	22	48
Plomb	35	120
Zinc	120	460
Mercure	0,18	1,06
Dibenzo(ah)anthracène	0,033	0,135
Fluorène	0,077	0,536
Phénanthrène	0,204	1,17
Pyrène	0,195	1,52
Benzo(a)anthracène	0,108	1,05
Chrysène	0,166	1,29
Somme des HAP	1,31	22,8

Seuils mg/kg	SEQ jaune	SEQ Orange
Acénaphtylène	0,05	7,5
Acénaphtène	0,05	7,5
Benzo(b)fluoranthène	0,05	7,5

Seuils mg/kg	Nouvelles NQE
Naphtalène	0,048
Benzo(ghi)Pérylène	0,14
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,56
Anthracène	0,034
Fluoranthène	0,083
Benzo(k)fluoranthène	0,014
Benzo(a)pyrène	7,6

(donnée indicative dans sédiment, non réglementaire calculée à partir de la valeur seuil dans l'eau en fonction du coefficient de partage avec le carbone organique du sol ou le carbone organique total) - Source Aquaref

Sédiments mg/kg	Naphtalène	Acénaphtylène	Acénaphtène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène	Benzo(a)anthracène	Chrysène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(k)fluoranthène	Benzo(a)pyrène	Dibenzo(ah)anthracène	Benzo(ghi)Pérylène	Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	Somme des HAP
Beu1	0,012	<0.012	<0.012	<0.012	0,05		0,024	0,034	<0.012	0,023	0,013	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0.16<x<0.28
Bou1	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,098	0,039	0,222	0,208	0,129	0,109	0,144	0,058	0,092	0,016	0,036	0,032	1.18<x<1.23
CR0	0,09	0,03	0,022	0,085	0,352	0,087	0,338	0,234	0,427	0,219	0,651	0,108	0,234	0,089	0,149	0,238	3,35
CR1	1,11	0,302	0,295	0,371	2,52	0,587	4,37	3,46	3,88	2,44	8,19	1,59	3,34	1,27	2,87	5,13	41,7
CR2	0,099	0,167	0,048	0,085	0,646	0,233	1,23	0,852	0,79	1,08	1,55	0,537	0,778	0,191	0,628	0,822	9,74
ND0	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,034	0,028	0,076	0,061	0,037	0,041	0,053	0,013	0,032	<0.012	<0.012	0,019	0.39<x<0.47
ND1	0,055	0,1	<0.012	0,019	0,233	0,124	0,596	0,53	0,494	0,402	0,62	0,204	0,428	0,035	0,222	0,256	4.32<x<4.33
ND2	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.19
ND3	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,02	0,014	0,071	0,058	0,015	<0.012	0,027	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0.2<x<0.32
Og0	<0.012	0,026	<0.012	< 0,012	0,059	0,046	0,23	0,218	0,094	0,102	0,153	0,063	0,096	0,039	0,057	0,088	1.27<x<1.31
Og1	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.19
Og2	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,044	0,018	0,079	0,057	0,022	0,022	0,037	0,018	0,024	<0.012	0,012	0,018	0.35<x<0.41
Og3	<0.012	<0.012	<0.012	0,014	0,067	0,039	0,157	0,156	0,106	0,098	0,185	0,054	0,093	0,024	0,075	0,087	1.15<x<1.19
Og4	<0.012	0,045	<0.012	0,021	0,087	0,056	0,244	0,244	0,235	0,164	0,287	0,056	0,122	0,021	0,069	0,133	1.78<x<1.81
Og5	0,014	0,03	<0.012	<0.012	0,047	0,044	0,145	0,107	0,105	0,091	0,128	0,053	0,097	0,018	0,059	0,083	1.02<x<1.04
Og6	0,026	0,031	<0.012	0,012	0,121	0,056	0,226	0,174	0,08	0,093	0,127	0,045	0,076	0,015	0,052	0,065	1.2<x<1.21
Og7	<0.012	0,019	<0.012	<0.012	0,047	0,023	0,094	0,071	0,054	0,059	0,079	0,029	0,046	<0.012	0,028	0,037	0.59<x<0.63
Og8	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,019	<0.012	0,052	0,041	0,047	0,034	0,053	0,012	0,031	<0.012	<0.012	0,014	0.3<x<0.39
Og9	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,023	<0.012	0,053	0,04	0,025	0,018	0,032	<0.012	0,023	<0.012	0,014	0,021	0.25<x<0.33
Og10	<0.012	0,012	<0.012	<0.012	0,024	0,016	0,058	0,037	0,042	0,026	0,045	0,023	0,037	<0.012	0,021	0,025	0.37<x<0.41
pic0	0,014	<0.012	<0.012	0,015	0,041	0,02	0,068	0,048	0,042	0,031	0,076	0,018	0,039	<0.012	0,031	0,037	0.48<x<0.52
pic1	0,031	<0.012	<0.012	0,024	0,075	<0.012	0,04	0,034	0,026	0,037	0,048	<0.012	0,019	<0.012	0,015	0,022	0.37<x<0.43
Rg0	0,022	0,092	0,014	0,037	0,383	0,429	1,27	1,01	0,824	0,808	1,096	0,391	0,656	0,097	0,439	0,576	8,14
Rg1	0,067	0,638	0,149	0,354	3,35	1,56	6,95	5,28	4,72	4,69	5,36	1,51	3,85	0,564	1,49	2,03	42,6
Rg2	0,026	0,104	0,022	0,038	0,452	0,204	1,02	0,841	0,621	0,506	0,735	0,279	0,512	0,076	0,354	0,447	6,24
Rg3	0,049	0,185	0,025	0,085	0,569	0,331	1,497	1,21	0,815	0,777	1,16	0,405	0,719	0,133	0,584	0,657	9,2
Rg4	0,037	0,191	0,075	0,084	0,804	0,257	1,99	1,57	1,01	1,12	1,54	0,576	1	0,248	0,779	1,09	12,4
Rg5bis	0,021	0,044	0,022	0,045	0,243	0,092	0,588	0,443	0,282	0,274	0,613	0,194	0,354	0,104	0,335	0,371	4,03
Rg6	0,033	0,087	0,021	0,047	0,302	0,163	0,652	0,632	0,429	0,458	0,72	0,205	0,33	0,062	0,268	0,344	4,75
Rah0	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,012	<0.012	0,014	<0.012	<0.012	<0.012	0,017	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0.04<x<0.2
Rah1	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.021	<0.26
Rah2	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,023	0,022	0,063	0,04	0,056	0,045	0,032	<0.012	<0.012	<0.012	0,021	<0.012	0.3<x<0.4
Rah3	0,015	0,066	0,015	0,019	0,199	0,118	0,491	0,336	0,31	0,425	0,534	0,089	0,258	0,05	0,161	0,16	3,25
Rah4	<0.012	0,02	<0.012	<0.012	0,053	0,03	0,13	0,141	0,031	0,039	0,096	0,027	0,065	0,013	0,046	0,059	0.75<x<0.79
Rah5	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,027	0,038	0,116	0,067	0,054	0,063	0,058	0,022	0,031	<0.012	0,012	0,02	0.51<x<0.57
Rah6	<0.012	0,02	<0.012	<0.012	0,077	0,076	0,106	0,094	0,035	0,034	0,046	0,018	0,03	<0.012	0,015	0,019	0.57<x<0.62
Rah7	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,043	0,018	0,121	0,076	0,048	0,041	0,062	0,023	0,037	<0.012	0,02	0,027	0.52<x<0.58
Rah8bis	0,017	0,039	<0.012	0,022	0,21	0,095	0,589	0,385	0,237	0,243	0,37	0,163	0,282	0,097	0,242	0,286	3.28<x<3.29
Rah9	0,035	<0.012	0,035	0,026	0,272	0,142	0,431	0,359	0,179	0,192	0,196	0,083	0,166	0,02	0,097	0,122	2.35<x<2.37
Rah10	0,014	<0.012	<0.012	<0.012	0,026	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,019	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0.06<x<0.21
Rah11	0,037	0,013	0,012	0,021	0,155	0,042	0,214	0,184	0,068	0,071	0,08	0,034	0,059	<0.012	0,026	0,036	1.05<x<1.06
SC0	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0,051	0,033	0,037	0,033	0,019	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	0.17<x<0.3
SC1	0,013	<0.012	<0.012	<0.012	0,036	0,019	0,067	0,049	0,033	0,027	0,068	0,02	0,04	<0.012	0,028	0,036	0.44<x<0.48
SC2	<0.012	0,032	<0.012	0,015	0,077	0,045	0,262	0,206	0,152	0,16	0,206	0,083	0,163	0,018	0,054	0,083	1.56<x<1.58
Sémé	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.19
Puits Lure	0,04	0,069	0,027	0,056	0,198	0,074	0,497	0,345	0,38	0,347	0,542	0,215	0,41	0,102	0,251	0,365	3,92
Sol1 - Place du marché	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,064	0,067	0,054	0,105	<0.05	0,087	<0.05	0,05	0,05	0.48<x<0.93
Sol2 - Rue Tannerie	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.800



Résultats Cadmium sur matrice eau filtrée à 45 µm, valeurs en µg/l
(NQE = 0,15 µg/l CMA = 0,9 µg/l classe dureté 4)

R3 - Amont Maglum	<0.20	R4Am - Fossé sous Maglum 4 amont	0,21
R4 -Sortie Ruisseau sous Maglum	0,24	B61 - Aval fossé 1	<0.20
R5 - Aval zone Maglum	<0.20	B62 - Aval fossé 2	<0.20
R6 - Sortie écoulement zone Maglum	<0.20	B63 - Amont confluence ruisseau puits Arthur	<0.20
R7 - Amont Sofogir	<0.20	B64 - Ruisseau puits Arthur	<0.20
R8 - Aval Sofogir	<0.20	B65 - Aval confluence ruisseau-puits Arthur	<0.20
R9 - Amont déchets fonderie	<0.20	B66 - Aval terril	0,32
R10 - Aval déchets fonderie	<0.20	R40 - Amont ruisseau sous Maglum	1,27
R11 - Beuvroux	1,53	BF0 BEUVROUX FINAL 0	<0.20
B1 - BEUVROUX 1	<0.20	BF1 BEUVROUX FINAL 1	<0.20
B2 - BEUVROUX 2	<0.20	BF2 BEUVROUX FINAL 2	1,3
B3 - BEUVROUX 3	<0.20	BF3 BEUVROUX FINAL 3	1,94
B3bis - BEUVROUX 3 BIS	<0.20	BF4 BEUVROUX FINAL 4	1,97
B4 - BEUVROUX 4	<0.20	BPA0 BEUVROUX PUITS ARTHUR 0	0,69
B5 - BEUVROUX 5	<0.20	Rhien	<0.20
B6 - BEUVROUX 6	<0.20	R1 - Rahin Aval Planchers-Bas	<0.20
B7 - BEUVROUX 7	2,71	R2 - Rahin Stèle Général Brosset	<0.20
B8 - BEUVROUX 8	2,33	Rh5 - RAHIN La Côte	0,27
Rh4 - RAHIN 4	0,2	Rh6 - RAHIN Roye	0,2
R4 - Fossé sous Moglun 4	<0.20	MD0 - Magny Danigon	<0.20

Résultats Zinc sur matrice eau filtrée à 45 µm, valeurs en mg/l (NQE = 3,1 µg/l)

B1 - BEUVROUX 1	<0.02	B3bis - BEUVROUX 3 BIS	<0.02
B2 - BEUVROUX 2	<0.02	BF0 BEUVROUX FINAL 0	0,04
B3 - BEUVROUX 3	<0.02	BF1 BEUVROUX FINAL 1	0,04
B4 - BEUVROUX 4	<0.02	BF2 BEUVROUX FINAL 2	0,62
B5 - BEUVROUX 5	0,02	BF3 BEUVROUX FINAL 3	0,75
B6 - BEUVROUX 6	0,09	BF4 BEUVROUX FINAL 4	0,74
B7 - BEUVROUX 7	1,13	BPA0 BEUVROUX PUITS ARTHUR 0	0,17
B8 - BEUVROUX 8	0,95	Rhien RHIEN	<0.02

Résultats Plomb sur matrice eau filtrée à 45 µm, valeurs en mg/l (NQE = 7,2 µg/l)

1 Lac de la Font	<0.005
2 Reigne Aval salle Polymnie	<0.005
3 Reigne Amont STEP	<0.005
4 Reigne Aval STEP	<0.005
7 ruisseau Aval Stand de tir	<0.005
8 ruisseau Aval du Petit Creusot	<0.005
9 ruisseau ND Amont ferme Notre-Dame	<0.005
10 ruisseau ND Rond point Swedpan	<0.005
S0 Amont Rahin référence	<0.005
S2 Rahin Abri Merique	<0.005
23 Rahin Plancher-Bas Rapois	<0.005
R1 Rahin Aval Planchers-Bas	<0.005
R2 - Rahin Stèle Général Brosset	<0.005
R6 - Sortie Canal Ronchamp	<0.005
F2 Canal Ronchamp amont	<0.005
F3 Canal Ronchamp milieu	<0.005

Résultats Nickel sur matrice eau filtrée à 45 µm, valeurs en mg/l (NQE = 20 µg/l)

1 - Lac de La Font	<0.005

Résultats Cuivre sur matrice eau filtrée à 45 µm, valeurs en µg/l (NQE = 1,4 µg/l)

S0 Point référence Rahin	<0.50
S2 Rahin amont Abri Mérique	0,55
Pl1 Plancher les Mines aval 1	2,4
Pl2 Plancher les Mines aval 2	4
Pl3 Plancher les Mines "le Mont"	6,25
R2 Rahin Stèle Général Brosset	3,82
R3 Rahin amont Ronchamp	1,11

Analyses de sol, zone des terrils, en mg/kg

Sol, mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
TR0 - TERRIL ROUGE 0	225	5,84	33,5	47,8	15,5	1830	1080	3,32
TR1 - TERRIL ROUGE 1	116	5,18	26,5	104	40,3	365	1070	0,21
TR2 - TERRIL ROUGE 2	174	4,46	24,1	56,7	31,6	345	782	0,22
TR4 - TERRIL ROUGE 4	68,5	2,94	12,9	24	16	126	581	0,14

Bibliographie

La plupart de ces documents sont accessibles sur Internet.

Evaluation des risques sanitaires liés à la présence de cadmium dans la rivière Lot, entre Boisse-Penchelot et Aiguillon. Rapport final septembre 2002.
Observatoire régional de la santé de Midi-Pyrénées.

Guide pour l'évaluation des EIE de projets miniers
Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW,juillet 2010)

Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain.
De l'expérimentation en laboratoire à la modélisation in situ
Thèse de l'INPL 2003, auteur Pauline COLLON

Impact des rejets de cuivre et zinc en milieu aquatique, Circulation, Spéciation, Biodisponibilité, Bioaccumulation, Transfert et Toxicité
Thèse de l'Université de Metz 2004, auteur Ingrid VINOT

Les métaux dans le bassin de la Seine
Programme piren-seine, Agence de l'Eau Seine Normandie, juin 2009

Recommandations pour l'adaptation de la surveillance chimique de la DCE au contexte des dom, mars 2011

Rôle de la matière organique particulaire dans la contamination des organismes aquatiques : piège ou vecteur des micropolluants ?
Master de 'Université Pierre et Marie Curie, Bastien Pellet 2005

Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE), INERIS 2010

Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems.
ARCHIVES OF Environmental Contamination and Toxicology, D. D. MacDonald et all, 13 janvier 2000

Les références de l'INERIS
- Cadmium, propriétés, toxicologie et écotoxicologie, crée le 14/10/03, maj 11/10/11
- Cuivre et ses dérivés, maj 11/03/05
- Zinc et ses dérivés, maj 14/03/2005
- Plomb, propriétés, toxicologie et écotoxicologie, maj 01/02/11
- Mercure, propriétés, toxicologie et écotoxicologie, maj 11/03/11

Les substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau (DCE)
Fiche de synthèse IFREMER, juillet 2005

Evaluation de la biodisponibilité des métaux dans les sédiments Université des Sciences et Technologies de Lille I Y. ZHOU, rapport Master 2 Recherche Sciences de la Matière 2009
Toxicité potentielle des sédiments marins et estuarien contamines: évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires.
Olivier GEFFARD Thèse de l'Université de Bordeaux 1, 21 décembre 2001

Archives sédimentaires, empreinte chimique historique du développement du bassin.
Programme PIREN-Seine : Archives sédimentaires

RAPPORT D'ÉTUDE 30/06/2009 N°DRC-08-95306-16457A
Impacts sur les milieux aquatiques des sédiments de dragage gérés à terre :
Problématique, contexte réglementaire, modélisation du transfert de contaminants organiques.
Convention ONEMA-INERIS 2008

Quantification de la pression polymétallique sur le Gave de Pau : origine et variabilité (approche flux) Agence de l'Eau Adour Garonne.
Rapport final au 31 Mars 2008

Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin de la Seine : identification de signatures naturelles en anthropiques.
ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES
Thèse Laure Tessier, 23 juin 2003

Guide méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et des sols pollués
BRGM/RP-52066-FR janvier 2003

Caractérisation d'une pollution de sols granulaires par des hydrocarbures issus de la pyrolyse de la houille
ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES
Thèse Jean-Pierre FACCENDINI 19 décembre 1995

Eléments traces métalliques Guide méthodologique. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines
RAPPORT D'ÉTUDE 28/08/2006 INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a

Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons
Karine NOPPE Mémoire de DEA, 30 septembre 1996
Université Pierre et Marie Curie - Paris VI

Evaluation des risques sanitaires lies à la présence de cadmium dans la rivière lot, entre Boisse-Penchot et aiguillon. Septembre 2002
Observatoire Régional de la Santé de MIDI-PYRENEES

Convention ONEMA-INERIS 2009
Action 15 - Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) : Etablissement d'une stratégie de réduction des concentrations dans les cours d'eau

Transferts des contaminants organiques dans les bassins versants du Pays du Roumois et du Plateau du Neubourg. Université de Rouen
Thèse Julie Raux 18 Avril 2012

ASPA (Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace)
Surveillance des HAP dans l'air ambiant en Alsace
Bilan de l'évaluation préliminaire sur la période de 2008 à 2012

CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, mis à jour 10 septembre 2013

Biodisponibilité des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les écosystèmes aquatiques : influence de la matière organique naturelle et anthropique
Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Centre de Paris
Thèse Catherine GOURLAY 24 novembre 2004

Contribution à l'étude de la contamination par les polluants organiques persistants et les métaux lourds des animaux de la chaîne alimentaire du bassin versant de la Loire : cas particulier des poissons.
Université Claude-Bernard - Lyon 1
Thèse Adrien BECK 24 octobre 2011

Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux
Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Thèse Céline Becouze-Lareure 23 novembre 2010

Accumulation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les sédiments de la rivière Doubs. Rapport Final.
Université de Franche-Comté
Rapport STE 08-283/2013-PE2012-21 Laurence Bourcereau octobre 2013

Evaluation à différentes échelles de la performance de systèmes de traitement passif pour des effluents fortement contaminés par le drainage minier acide.
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
Thèse Robin Potvin octobre 2009

Analyse d'un système de traitement passif pour le site de la mine Eustis
Université de Sherbrooke, Québec,
Mémoire de Master en Environnement, Monique Melanson janvier 2006