

Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris &
Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts

DEA Hydrologie, hydrogéologie, géostatistique et géochimie
Année 1995-1996

**MESURE DU BRUIT DE FOND
GEOCHIMIQUE NATVREL ET MISE
EN
EVIDENCE DE L'INFLUENCE
ANTHROPIQUE
EN ZONE RURALE:
APPLICATION AU BASSIN DE LA
SEINE.**

Erwan BIGER

Directeur de recherche : M. Michel Meybeck

Laboratoire de Géologie Appliquée
Université Pierre et Marie Curie - Paris VI

Septembre 1996

HEB DOUR BUEZ EBET

Dicton Breton: Sans eaux aucune vie

Au terme de ces six mois passés à l'élaboration de ce mémoire de DEA, je tiens à exprimer mes remerciements au Professeur G. de Marsily pour m'avoir accueilli au sein de son Laboratoire de Géologie Appliquée et pour les encouragements qu'il m'a témoignés tout au long de cette étude

Je voudrais également remercier Monsieur M. Meybeck. de m'avoir confié ce sujet d'étude fort intéressant, d'avoir encadré mon travail et de m'avoir prodigué de nombreux conseils qui m'ont permis de le mener à bien.

Je tiens particulièrement, à exprimer ma sincère gratitude à Zahid Jdlafkih pour m'avoir guidé dans mes recherches. Je le remercie pour son aide permanente, ses conseils analytiques et pour l'équipe que nous avons formée lors des aventures de terrain.

J'aimerais également remercier Julian Wills et Madame Pourtales, du Laboratoire de Géofluides Bassins Eaux de Montpellier, pour leur gentillesse et la rigueur analytique qu'ils ont tenté de me transmettre au cours de ma formation à l'analyse ICP-MS.

Enfin, je ne saurais oublier l'aide, le soutien et la sympathie que m'ont témoignés les techniciens et techniciennes du laboratoire ainsi que tous les étudiants qui l'ont fréquenté durant cette période de stage.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION.

- 1. 1. Présentation de la région d'étude.
 - I.1.2. Vision générale du Bassin de la Seine.
 - I.1.2. Aperçu géologique du Bassin de la Seine.
- I.2. Localisation des sites d'études et travaux antérieurs.
 - I.2.1. Première approche méthodologique.
 - I.2.2. Choix des bassins mono lithologiques.
 - I.2.3. Travaux antérieurs.
- I.3. Intérêts de l'étude et objectifs.
 - I.3.1. Objectifs.
 - I.3.2. Les sources de pollution.
 - I.3.3. Les métaux lourds.

II. METHODES ET MATERIELS.

- II. 1. Echantillonnage d'eau et de sédiments.
- II.2. Analyses sur la phase dissoute (ions majeurs et nutriments).
 - II.2.1. Méthode de dosage des nutriments par spectrophotométrie.
 - II.2.2. Méthode de dosage des anions par chromatographie ionique.
- II.3. Analyses sur la phase particulaire (métaux traces).
 - II.3.1. Méthode de dosage des métaux lourds par ICP-MS.
 - II.3.1.1. Appareillage.
 - II.3.1.2. Préparation des échantillons pour YICP4vIS.
 - II.3.2. Méthode de dosage des ions majeurs par spectrométrie d'absorption atomique.

III. RÉSULTATS ET TRAITEMENTS DES DONNÉES.

III. I Caractéristiques chimiques des eaux des ruisseaux en tête de bassin.

III.1 .1 Effet des activités agricoles sur la qualité des ruisseaux.

III. I .2. Impact des rejets domestiques.

III.1 .3. Influence des activités humaines.

III.2. Les métaux traces dans les sédiments.

III.2.1. Rappels des sources de pollution et normalisation au Titane. III ~ ~
Comportement des métaux.

III.2.2.1. Matrice de corrélation.

III.2.2.2. Comportement en fonction de la lithologie.

III 2.2.3. Comportement en fonction la nature d'occupation du sol.

III.2.3. Evaluation de la pollution atmosphérique.

III.2.4. Etude qualitative des bassins appariés.

III.2.4.1. Histogrammes de fréquence par nature de bassin.

III.2.4.2. Comportement des bassins appariés.

III.2.4.3. Couples Agricoles -Forestiers appariés.

III.2.4.4. Couples Ruraux -Forestiers appariés.

III.2 4 5 Couples Ruraux -Agricoles appariés.

III.2.4 6 Observations et remarques.

III.3. Bilan des contaminations en métaux traces dans les sédiments.

IV. CONCLUSION.

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs siècles et surtout depuis la période d'industrialisation, la Seine a vu se dégrader la qualité de ses eaux et de ses paysages. Au cours de ces dernières années, décideurs, gestionnaires et usagers de Veau ont pris conscience de la nécessité de passer d'une gestion sectorielle des cours d'eau et de leurs usages à une gestion globale et équilibrée. C'est un des objectifs fixés par la loi sur Veau du 3 janvier 1992. Pour faire de cette priorité un point de départ aux orientations à prendre pour l'avenir, les scientifiques se sont attachés à acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement des systèmes fluviaux.

Mis en place en 1989 par le Centre National de la Recherche Scientifique, le programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine (PIREN-SEINE), où ce mémoire s'inscrit, a fortement contribué à envisager les limites d'utilisation et d'exploitation de ce bassin à ne pas dépasser.

Depuis maintenant 7 ans, analyser, mesurer et modéliser le fonctionnement du « Système Seine » sur l'ensemble de son bassin sont les objectifs essentiels fixés par ce programme afin de pouvoir mieux gérer ce système fluvial anthropisé.

1.1. Présentation de la région d'étude

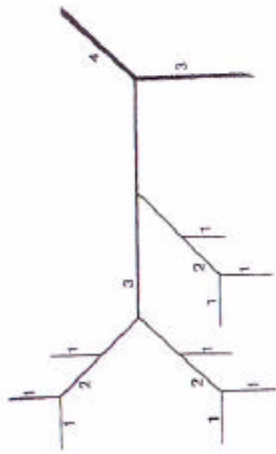
1.1.1. Vision générale du Bassin de la Seine.

Le bassin versant de la Seine qui s'étend de la Basse Normandie à la Lorraine et jusqu'à la Bourgogne draine 100000 km² environ soit 15 du territoire national (cf. carte 1). Cette superficie englobe huit régions, 25 départements, 8692 communes et regroupe 30% de la population nationale avec ses 17 millions d'habitants (dont 63% en région parisienne).

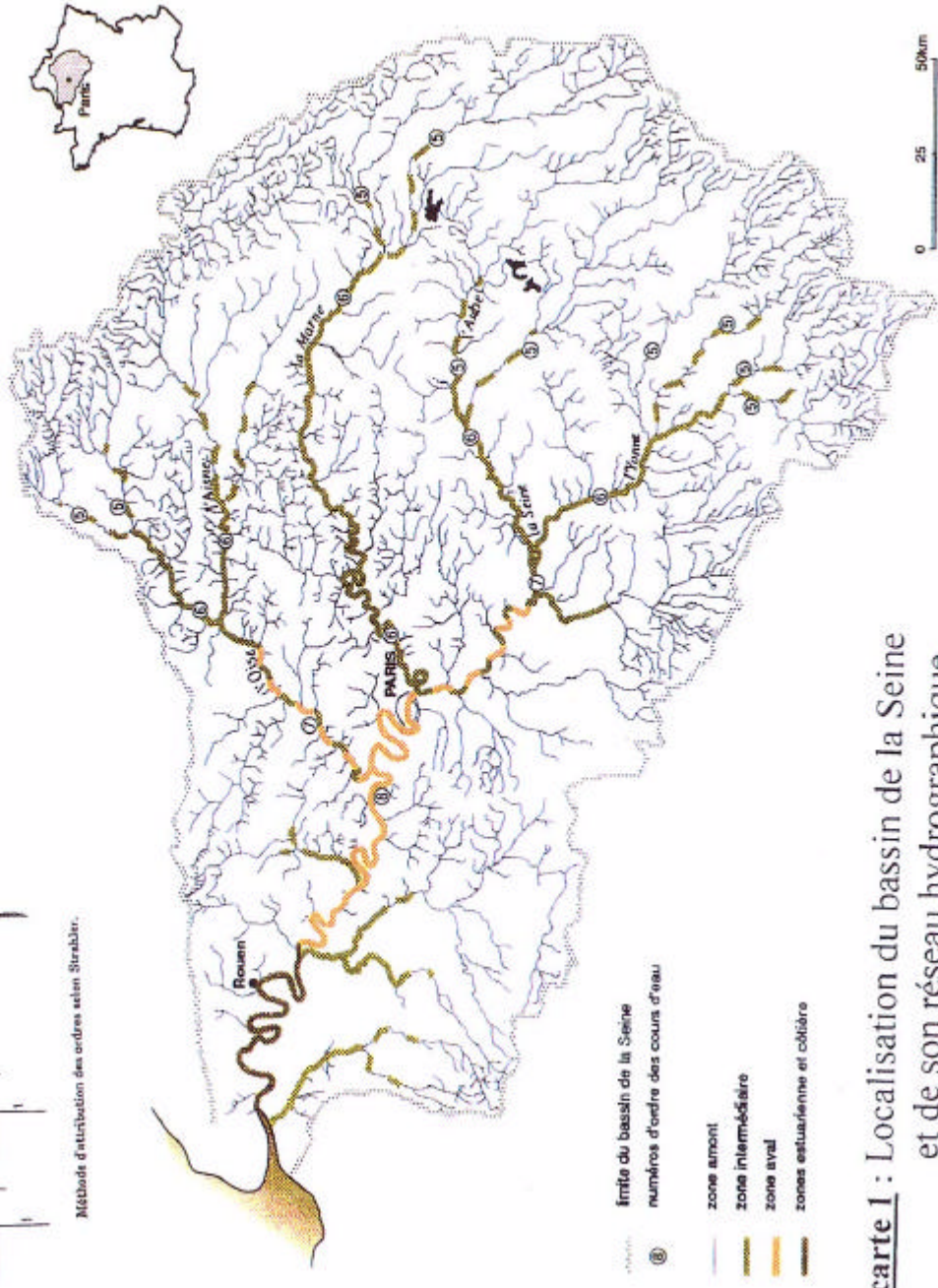
Cette vallée est soumise à une pression anthropique très marquée avec notamment

- 60000 km² de terres agricoles, certaines parmi les plus productives de France:
- 40% des activités industrielles du territoire
- 50% du trafic fluvial national
- une station d'épuration, située à Achères, traitant 2,1 millions de m³ d'effluents par jour (deuxième station au monde après celle de Chicago).

Ce vaste bassin a bien évidemment été doté de quelques aménagements importants parmi lesquels la construction de dizaines de barrages de navigation, de quatre barrages réservoirs sur l'Yonne, la Seine, l'Aube et la Marne, et a subi la rectification du tracé des lits sur des centaines de kilomètres (Seine, Marne, Oise).



Méthode d'attribution des ordres selon Strahler.



- ⑧ limite du bassin de la Seine
- numéros d'ordre des cours d'eau
- zone amont
- zone intermédiaire
- zone aval
- zones estuarienne et côtière

carte 1 : Localisation du bassin de la Seine et de son réseau hydrographique

1.1 .2. Aperçu géologique du bassin de la Seine.

Du point de vue géologique (d'après la Monographie : Les bassins de la Seine et des cours d'eau Normands, 1969-1974), le bassin hydrographique de la Seine s'étend pour une part sur le Bassin Parisien et pour l'autre sur un massif ancien, le Morvan. Cette région, en bordure du Bassin de Paris, est constituée de terrains primaires dont la nature peut être rattachée à celle du socle.

Le Bassin Parisien quant à lui est un bassin sédimentaire qu'une lente subsidence a comblé progressivement de plusieurs milliers de mètres de sédiments pendant le Mésozoïque et le Cénozoïque, donnant l'image classique d'un bassin sédimentaire de plate-forme. Durant cette période, alternativement, des séries plus ou moins étendues et régulières de couches tendres et résistantes se sont accumulées. Ainsi, la lithologie des terrains sur lesquels la Seine et ses affluents coulent est quelque peu variée. Cette diversité a des conséquences sur le réseau hydrographique celui-ci est bien développé sur les terrains imperméables (roches magmatiques, métamorphiques, argileuses et argilo-sableuses (Morvan, Argonne...)) et sur les terrains perméables recouverts d'argiles résiduelles, (par exemple sur des calcaires (Brie) ou sur des sables). Par contre, les cours d'eau superficiels sont quasiment absents sur des terrains perméables en grand (roches calcaires et sableuses (Champagne, Valois...)).

1.2. Localisation des sites d'études et travaux antérieurs.

1.2.1. Première approche méthodologique.

Dans le bassin de la Seine, il est difficile de trouver des cours d'eau vierges de toutes pollutions. D'après les travaux déjà effectués par MEYBECK (1986) et plus récemment par THIBERT (1994), il apparaît que les zones forestières sont les sites qui permettraient le mieux de minimiser les risques de contamination et qui s'approcheraient alors le plus de l'état naturel. Même si nous nous sommes attachés à échantillonner des bassins versants purement forestiers afin de nous affranchir des apports agricoles et domestiques directs, il y a cependant un bémol à mentionner. En effet les couverts forestiers, compte tenu de la plus grande surface de contact offerte par le feuillage aux dépôts secs et occultes, sont plus sensibles aux retombées atmosphériques. D'autre part, étant plus riches en acides organiques, ces bassins peuvent induire des modifications chimiques.

I 2 2 Choix des bassins monolithologiques.

Afin de pouvoir comparer la part de chaque bassin dans l'étude engagée ici, il était nécessaire de comparer des bassins ayant une même lithologie afin d'écartier une quelconque influence de la nature des terrains.

Dans le cadre d'un mémoire de Maîtrise, Philippe LEVET a réalisé un inventaire complet de la lithologie de l'ensemble du bassin versant de la Seine jusqu'à Poses (limite de la marée dynamique), en regroupant dans des classes prédéterminées les différentes formations dont les eaux de drainage présentent des compositions chimiques très voisines (d'après MEYBECK, 1986). Neuf classes lithologiques ont ainsi été définies :

1. Les roches cristallines (cri)
2. Les sables (sab)
3. Les argiles et les sables argileux (arg, sab-arg)
4. Les terrains calcarogréseux et alluvions récentes (cal-gré)
5. Les calcaires purs non crayeux (cal)
6. La craie (cra)
7. Les marnes (mar)
8. Les terrains marno-calcaires (mar-cal)
- 9 La gaize (grès calcaire siliceux) (gai)

Nous avons donc sélectionné, à l'aide des cartes géologiques au 1/50000, des petits bassins mono-lithologiques au sens des classes définies précédemment (cf. Annexe I).

La superficie de chaque bassin a été évaluée par la méthode des pesées de précision. En travaillant avec du papier calque, celle-ci consiste à comparer à un étalon de poids et de surface connus, le poids du papier calque représentatif de la surface d'un bassin préalablement reproduit. Bien sûr il existe une petite erreur commise sur le calcul des superficies de l'ordre de 5 à 10 %.

Grâce à ces bassins monolithologiques nous allons pouvoir comparer deux à deux (bassins appariés) des bassins forestiers (pris comme référence naturelle), agricoles et ruraux à condition que leur lithologie soit identique et que leur proximité soit reconnue (leur distance ne devant pas excéder 10 km). Ceci afin d'estimer l'influence du type d'occupation du sol sur la contamination des sédiments en métaux lourds.

Rappelons que les bassins forestiers sont dépourvus d'habitation et que la différence entre bassins agricoles et ruraux réside justement dans l'habitat. Ainsi les premiers peuvent comprendre des fermes et quelquefois un habitat dispersé, mais il n'y a pas de village constitués contrairement aux seconds.

1.2.3 Travaux antérieurs.

Nous avons donc sélectionné 56 bassins (22 forestiers, 19 agricoles et 15 ruraux) recouvrant le maximum de formations géologiques et avant une couverture aussi complète que possible des activités agricoles (cf. carte 2). Quarante de ces bassins (notés ST) ont fait l'étude des travaux de Sylvie THIBERT pour sa thèse sur les «Exportations naturelles et anthropiques des ions majeurs et des éléments nutritifs dans le bassin de la Seine» et cinq autres avaient déjà été échantillonnés par Michel MEYBECK (notés M ou MD) en 1986. Onze nouveaux bassins (notés EB) ont été sélectionnés ici pour enrichir spatialement l'étude. Mais aucun de ces bassins n'a jamais été échantillonné auparavant pour des études sur les sédiments et les éléments traces associés.

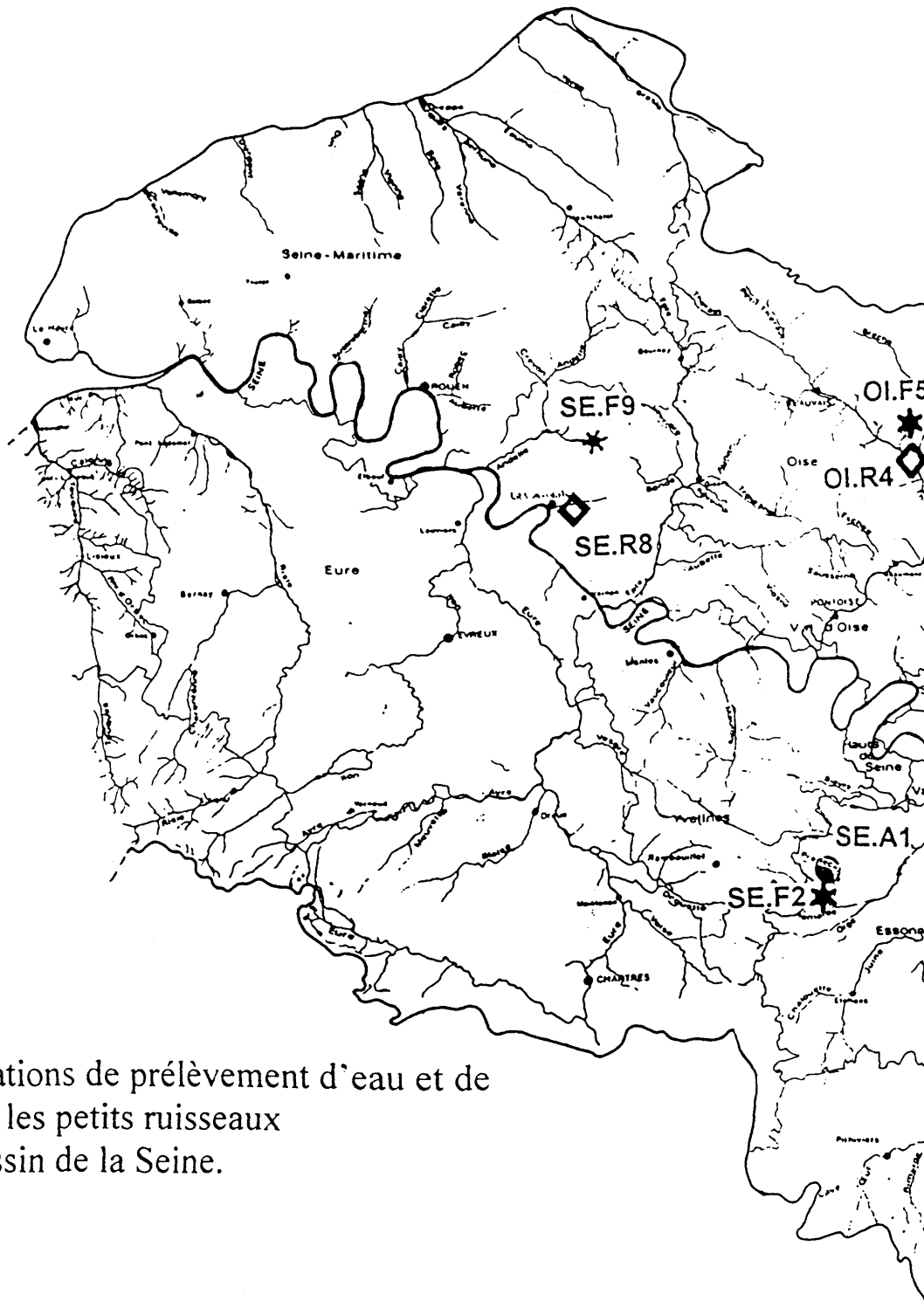
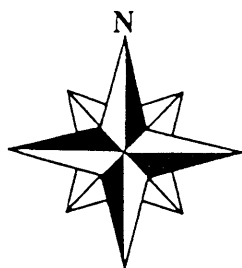
Compte tenu de la lithologie et de sa tolérance sur l'occupation des sols, on observe une répartition des bassins forestiers sur la bordure est du bassin de Paris (THIBERT, 1994). Même si cette répartition n'est pas homogène, cela peut représenter un certain avantage. En effet, les bassins forestiers sont les plus éloignés possibles de la mer, ce qui réduit fortement l'influence océanique sur les apports atmosphériques. De même, éloignés également de la région Parisienne où la part anthropique des retombées est importante, et même si des causes locales peuvent exister, nous considérerons tous ces bassins au plus proche des conditions naturelles.

Echelle : 1/1 200 000

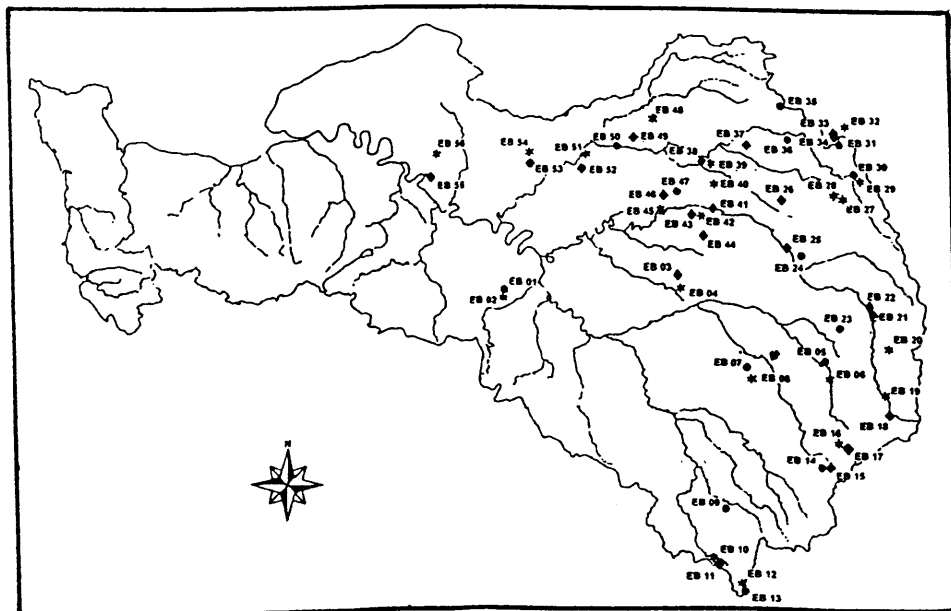
1 cm pour 12 km

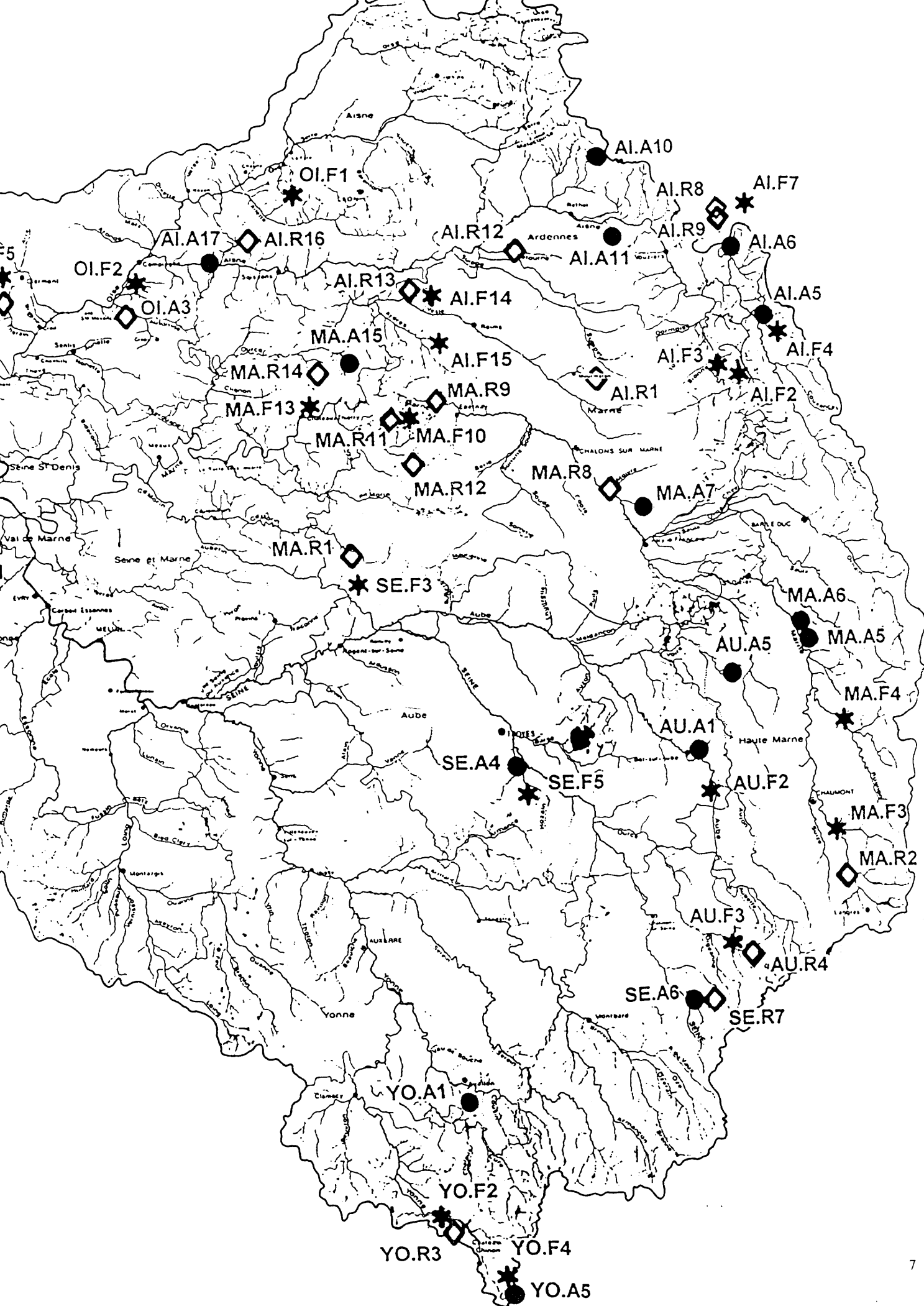
Légende :

- Bassins Agricoles
- * Bassins Forestiers
- ◇ Bassins Ruraux



Carte 2 : Emplacement des Stations de prélèvement d'eau et de sédiment dans les petits ruisseaux du Bassin de la Seine.





1.3. Intérêts de l'étude et objectifs.

1.3.1. Objectifs.

La Seine est un des fleuves du monde abritant la plus forte densité industrielle, agricole et urbaine. De ce fait la connaissance et le suivi de sa contamination sont indispensables à sa gestion. Depuis plusieurs années les pouvoirs publics se sont attelés à cette tâche. La création pour sa partie aval d'une Cellule de lutte contre la pollution auprès du service de la navigation de la Seine à Rouen et la Commission Baie de Seine en sont des exemples. Ainsi durant 28 mois, de 1990 à 1992, une étude pilote des apports en contaminants par la Seine (avec les collaborations de l'IIFREMER, de l'Agence Seine-Normandie et du Ministère de l'environnement) a été réalisée à l'aval de Paris jusqu'à Poses. Celle-ci a permis d'apporter certaines connaissances sur le comportement des métaux tant en solution qu'au niveau particulaire. Cependant, à ce jour aucune étude n'avait encore été réalisée sur les sédiments et les contaminants associés sur la partie amont du bassin de la Seine en tête de bassin.

Pour pallier à cette lacune d'information, nous avons décidé de nous intéresser aux petits bassins amont de ce vaste bassin afin d'évaluer le bruit de fond géochimique naturel et le bruit de fond lié aux activités anthropiques. Cette estimation concourt à établir l'importance relative des processus de mobilisation chimique et permet de déceler les perturbations des équilibres naturels, d'en suivre l'évolution et éventuellement de les prédire. L'étude consiste en une analyse des teneurs en métaux lourds (Fe, Al, Co, Ni, Cd, Cu, Zn, Pb) et en nutriments (NH_4^+ , PO_4^{2-} , NO_3^- et NO_2^-) sur les particules issues des sédiments déposées dans les ruisseaux. Certains ions majeurs comme Cl^- et SO_4^- seront également sujet à une analyse dans les eaux issues de ces mêmes ruisseaux.

1.3.2. Sources de pollutions.

Généralement, le terme d 'élément trace est assez souvent utilisé dans la littérature courante pour désigner les éléments présents en faible concentration dans les systèmes biologiques naturels. L'augmentation croissante du public concerné par la détérioration de la qualité de l'environnement a contribué à une généralisation de leur usage. Alors, pour des questions pratiques, d'autres termes comme « métaux trace », métaux lourds » où « oligo-éléments » seront utilisés comme synonymes du terme élément trace.

D'après FORSTNER et WITTMANN (1979), il y a cinq sources principales en métaux lourds dans les eaux

1. **L'altération géologique.** L'érosion des sols et des roches porteuses de métaux apparaît quand les processus d'érosion par le vent, de lessivage par la pluie et d'érosion par les eaux courantes détachent et transportent les particules du sol. Cette érosion dépend de la force ou de l'énergie de ces processus d'érosion (érosivité) et de la capacité du sol à leur résister (érodibilité). Ces deux aspects de l'érosion (érosivité et érodibilité) impliquent certains processus d'interaction chimique, biologique et mécanique opérant à différentes échelles.
2. **L'emplois de métaux et de composés métalliques.** Exemple de l'utilisation de composés cuivrés comme agent de protection des plantes.
3. **Les excréctions animales et humaines.** Les métaux lourds sont présents dans les aliments animaux et humains, particulièrement le zinc à relativement forte concentration. Ces métaux, concentrés dans les excréctions, finissent généralement leur parcours dans

l'environnement aquatique.

4. **Les retombées atmosphériques.** Une comparaison globale des émissions naturelles et anthropiques suggère un comportement particulièrement significatif des activités humaines sur le contenu atmosphérique en plomb, zinc, cadmium et cuivre.
5. **Le lessivage des métaux provenant des déchets domestiques.** La contribution de ces sources à la pollution en métaux lourds des eaux mérite une attention particulière.

1.3.3. Les métaux.

Il a été prouvé depuis plusieurs dizaines d'années que les quantités en trace de certains éléments exerçaient une influence positive ou négative sur la croissance des plantes, des animaux et des hommes (FORSTNER & WITTMAN, 1981). Ainsi, la sensibilité des organismes à des déficiences ou à des excès en éléments traces dépend de l'âge, du sexe et des conditions de santé. Récemment, de grands intérêts ont été portés sur le rôle spécifique de ces éléments car la contamination de l'environnement (air, sol, eau) par les éléments traces a des effets directs ou indirects (via l'alimentation) sur la santé des hommes. Ainsi des analyses de sang, d'urine, de cheveux ou d'ongle en éléments traces peuvent être utilisées comme indicateurs de leurs possibles effets sur la détérioration des fonctions des organes et de l'organisme (SALOMONS & STIGLIANI, chap. IX, 1995).

Afin d'éviter des épisodes d'empoisonnement comme à Minamata au Japon en 1953, il nous faut examiner et comprendre les processus de mobilisation de ces ions. Les paramètres importants retenant les contaminants dans les sols et les sédiments sont à la fois d'ordre physique et chimique. La part chimique peut être subdivisée à la fois en une phase purement chimique s'intéressant à l'identification et la quantification de substrats géochimiques variés et en une phase «chimico-mécanique» concernant les associations existantes entre les éléments traces et les substrats géochimiques (cf. tableau 2). La séparation entre des catégories physiques ou chimiques est un peu arbitraire, les processus étant fortement imbriqués (HOROWITZ, 1985).

Phase Physique	Phase chimico-mécanique	Phase chimique
Taille des grains	Adsorption	Eau interstitielle
Surface	Précipitation	Carbonates
Densité	Échange cationique	Les argiles minérales
Charges de surface	Ligands organo-métalliques	Hydroxydes de Fe et de Mn
		Les oxydes
		Les sulfides
		Les silicates

Tableau 2 : Exemple des types de répartition physique et chimique.

Mais les facteurs géochimiques majeurs affectant la chimie des éléments traces dans les sédiments sont la taille des grains, leur surface et les substrats géochimiques (cf. figure 1).

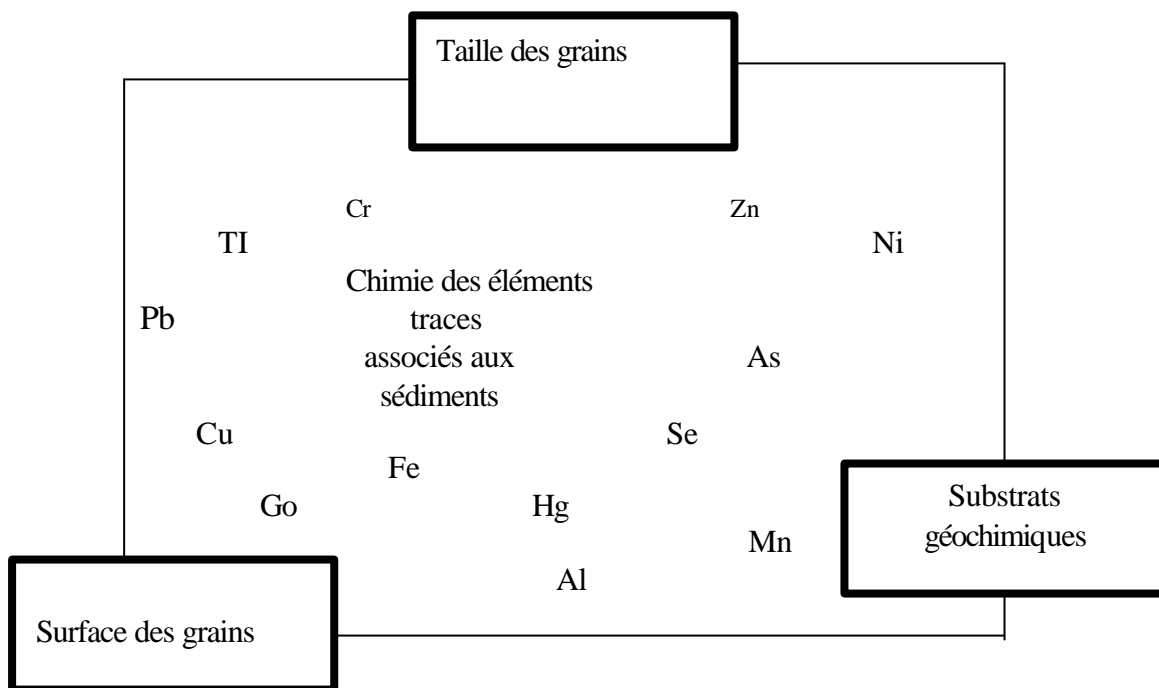


Figure 1 Facteurs géochimiques affectant la chimie des éléments traces des sédiments.

Il y a en effet une corrélation très marquée entre la diminution de la taille des grains et l'augmentation de la concentration en élément trace. La capacité d'adsorption est liée à la surface des grains et aux propriétés de surface des particules. Ainsi, les réactions chimiques de surface sont extrêmement importantes au niveau des interactions entre éléments traces et sédiments en milieu aquatique. Alors, les sédiments très fins comme les argiles minérales ont une grande capacité d'adsorption, du fait de leur grande surface spécifique, et sont pour cela les sites principaux pour la collecte et le transport des constituants inorganiques (JENNE, et al., 1980).

Les argiles minérales et d'autres constituants comme les grains de quartz ou de feldspath sont souvent recouverts d'oxydes de fer ou de manganèse et de substances organiques qui régulent les concentrations en éléments traces en solution (SALOMONS & FORSTNER, 1984).

La mobilité actuelle des contaminants est en plus déterminée par le pH, les conditions redox et la présence d'agents complexants comme la matière organique dissoute et les anions inorganiques (SALOMONS & STIGLIANI, 1995). Ainsi la matière organique joue un rôle important dans la régulation du comportement des polluants dans le sol et les sédiments. Sa présence permet une grande capacité de stockage des métaux et des polluants et ceci à l'interface entre le sol et l'atmosphère.

Enfin la présence d'oxygène dans le sol et les sédiments détermine les conditions oxydo-réductrices. Largement contrôlées par la décomposition bactérienne de la matière organique, les conditions redox influent sur la présence ou l'absence d'hydroxydes de fer ou de manganèse et sur la mobilité des contaminants de deux façons différentes. Premièrement, cela conduit à des changements directs dans les valences de certains métaux. Soumis à un environnement réducteur (fond des eaux et sédiment aquatique) les ions ainsi réduits (Fe^{3+} en Fe^{2+} , Mn^{3+} en Mn^{2+} , ...) sont alors plus solubles. Deuxièmement, des effets indirects peuvent avoir lieu quand les éléments chimiques sont associés à des composants sujets aux changements redox. C'est le cas du phosphore et d'autres métaux qui sont associés ou adsorbés par des hydroxydes de fer ou de manganèse (FORSTNER, 1986). Mais ce qui détermine l'adsorption initiale, c'est avant tout la stabilité des phases adsorbantes.

II. MÉTHODES ET MATÉRIELS

11.1. Échantillonnage d'eau et de sédiments.

Sur l'ensemble des 56 petits bassins, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés. Les premiers l'ont été en remplissant directement des bidons de 1 litre préalablement rincés plusieurs fois avant la prise d'essai, les seconds à l'aide d'une bouteille d'eau minérale découpée en son extrémité et emboîtée au bout d'un manche à balai cri bois afin d'éviter toutes contaminations métalliques.

Le soir même une filtration des solutions sur filtres millipores Wattman GFF 0,7 μm a été effectuée permettant ainsi de déterminer la quantité de matière en suspension.

Pour les sédiments, seule la pellicule superficielle à l'interface eaux-sédiments a été prélevée. Nous considérons que ces dépôts se sont accumulés depuis les dernières crues de l'année hydrologique précédente et qu'ils témoignent des actions physico-chimiques (érosion, lessivage, utilisation de fertilisants et d'engrais) alors survenues sur les bassins durant un an. Afin de nuire à une quelconque évolution biologique (développement bactérien, microbien, etc.) ou chimique, les sédiments ont été congelés avant tout traitement.

II.2. Analyses sur la phase dissoute (ions majeurs et nutriments).

II.2.1. Méthode de dosage des nutriments par spectrophotométrie.

Les nitrates, les nitrites, les orthophosphates, l'ammoniaque et la silice dissoute ont été dosés par spectrophotométrie dont le principe est de former par l'intermédiaire de réactifs, une solution colorée où l'absorbance est mise en évidence. Celle-ci, obtenue par mesure de la densité optique, est traduite en concentration grâce à l'élaboration préalable d'une droite d'étalonnage.

A titre d'exemple pour les nitrites et les nitrates, l'échantillon à analyser est versé au sommet d'une colonne remplie de cadmium cuivré. Lors de son passage à travers celle-ci, les nitrates qu'il contient sont réduits en nitrites qui, en présence d'un réactif de diazotation, forment un complexe coloré pourpre alors quantifiable par colorimétrie. En retranchant alors à cette concentration celle des nitrites dosés initialement, on obtient la concentration en nitrates de l'échantillon.

L'ensemble des résultats d'analyses sur la phase dissoute se trouve sur le tableau ~ (Annexe II).

II.2.2. Méthode de dosage des anions par chromatographie ionique.

La chromatographie ionique est une chromatographie liquide spécialisée dans l'analyse des espèces ionisables. Cette méthode est une norme expérimentale de l'Association française de normalisation (AFNOR) et est applicable à la plupart des types d'eaux (eaux destinées à la consommation humaine, eaux de surface, eaux résiduaires).

Le principe consiste à injecter une prise d'essai de l'échantillon dans un flux d'éluant. Ensuite il y a séparation des anions (CL, S042) sur une résine échangeuse d'ions puis détection de ceux-ci par conductimétrie. Enfin une identification d'après le temps de rétention et une quantification au moyen d'une courbe d'étalonnage permet l'obtention des résultats.

Pour les chlorures et les sulfates, la gamme des concentrations les plus couramment rencontrées dans les contrôles de la qualité des eaux varie pour les premiers de 1 à 50 mg/l et de à 100 mg/l pour les seconds.

II.3. Analyses sur la phase particulaire (métaux traces).

II.3.1. Méthode de dosage des métaux lourds par ICP-MS.

II.3.1.1. Appareillage.

LYICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) est un appareil de mesure particulièrement bien adapté à l'analyse d'échantillons liquides pour la détermination de nombreux éléments en trace. C'est une technique récente associant une torche à plasma à un spectromètre de masse. Un nébuliseur transforme la solution en un aérosol facilement transportable par un flux de gaz. Le flux d'argon entraîne l'aérosol et le vaporise dans le plasma constitué d'argon ionisé. Dans les conditions de température atteintes par le plasma (6000⁰K à 8000⁰K) les échantillons sont ionisés. L'utilisation d'un vide et d'un système de lentille électrostatique conduit les ions positifs vers le spectromètre de masse qui les séparera en fonction de leur rapport masse/charge. Il est ainsi possible d'identifier en théorie (car il existe des interférences) 70 éléments de la classification périodique par un balayage très rapide des masses 5 à 300.

II.3.1.2. Préparation des échantillons pour l'ICP-MS.

Les sédiments, après avoir été prélevés, ont été congelés, lyophilisés puis tamisés à 100µm à l'aide de tamis en Nylon afin d'éviter toute contamination. Cette fraction fine va alors subir les attaques acides permettant la mise en solution de la phase particulaire.

Pour chaque échantillon, 100 mg de poudre sont alors pesés précisément et placés dans des bombes en Téflon de 15 ml où sont ajoutés 2 ml d'acide nitrique supra pur (HNO₃) et 3.75 ml d'acide fluorhydrique (HF). Bouchons fermés, le tout est laissé pendant une nuit sur plaque chauffante. Le matin on retire les bouchons et on évapore durant 1 h30-2h jusqu'à obtention d'un liquide pâteux. On rajoute 1 ml d'1-1N0₃ + 1,25 ml d'HF et on évapore pendant 45 mn jusqu'à encore obtention d'un liquide pâteux. Ensuite on effectue trois reprises d'1 ml à l'acide nitrique poussant chaque fois un peu plus l'évaporation à sec. Enfin on reprend le résidu avec 1,5 ml d'HNO₃ et quelques ml d'eau puis l'on ajuste à 20 ml avec de l'eau désionisée. Ceci constitue alors la solution mère (facteur de dilution 200). En effectuant plusieurs dilutions d'un échantillon standard (SGR1 Green River Shale) de

concentration en métaux connue, cela a permis de vérifier la suffisance de l'attaque et d'estimer un facteur de dilution optimal de 5000. Pour préparer alors la solution fille de chaque échantillon à analyser par ICP-MS, on ajoute dans un tube en polycarbonate 0,25 ml d' HNO_3 + 0,40 ml de solution mère et 9,35 ml d'eau désionisée. Un blanc ne contenant que de l'acide nitrique et de l'eau permet par soustraction des données des solutions filles d'obtenir les concentrations effectives dans le sédiment de départ.

Enfin, en fonction d'une droite d'étalonnage établie à partir de concentrations connues (5 ppm, 10 ppm, 20 ppm) d'une solution standard, le logiciel traduit le nombre de coups par seconde en concentration.

II.3.2. Méthode de dosage des ions majeurs par spectrométrie d'absorption atomique.

Nous avons utilisé le protocole servant à l'analyse des eaux brutes et des eaux de boisson, selon l'AFNOR, pour déterminer les teneurs en Na_2O , K_2O , CaO et MgO des sédiments. Ainsi les ions sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) ont été dosés dans les solutions mère ayant servi pour l'ICP-MS.

L'analyse consiste en une nébulisation de l'échantillon (éventuellement après dilution) dans la flamme (acétylène-air) d'un spectromètre d'absorption atomique. L'absorbance de la solution est alors mesurée aux longueurs d'onde de 589,0 nm pour le sodium, de 766,5 nm pour le potassium, de 422,7 nm pour le calcium et de 285,2 nm pour le magnésium. Enfin la détermination de la concentration de l'élément dosé est établie à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

III. RÉSULTATS ET TRAITEMENTS DES DONNÉES

III.1. Caractéristiques chimiques des eaux des ruisseaux en tête de bassin.

III.1 .1. Effet des activités agricoles sur la qualité des ruisseaux.

Pour mettre en évidence l'influence des pratiques agricoles sur la qualité des ruisseaux, nous allons effectuer des comparaisons entre les bassins forestiers, considérés comme étant les plus proches de l'état naturel, et les bassins agricoles. Pour ce faire nous disposons de 8 couples de bassins appariés (n~8) ce qui est faible pour conduire à une étude statistique très poussée mais suffisant pour dégager des tendances. Pour un élément, la différence de concentration, exprimée en pourcentage, entre deux bassins appariés dont Yun est pris comme référence, est ainsi définie:

$$\frac{(C_{\text{AGRICOLE}} - C_{\text{FORÊT}}) * 100}{C_{\text{FORÊT}}}$$

La figure 2a, où les rapports des concentrations agricoles sur forestières de chaque élément (CL, N-NO₃, N-NO₂, SO₄²⁻, P-PO₄, N-NH₄ et SiO₂) ont été représentés, montre tout de suite la forte sensibilité des nitrates aux activités agricoles. L'azote est employé en abondance pour fertiliser les cultures et cet apport se fait à 90% sous forme de nitrates utilisés préférentiellement par les plantes aux dépens de l'ammonium (MEYER et al., 1993). Contrairement à l'ammonium qui est lié par des forces électrostatiques aux argiles du sol et qui est donc mieux fixé (MEYER et al., 1993), les nitrates, forme soluble de l'azote, sont facilement soumis au lessivage des sols par les pluies et au drainage (PILLEBOUE-BAPTENDIER, 1987) et sont alors largement entraînés dans les cours d'eau.

En ce qui concerne les autres éléments, ils ne semblent pas être affectés par une occupation agricole du sol. Seuls peut être les chlorures ainsi que les sulfates montrent une dispersion plus importante mais ceci n'est pas surprenant car les ions Cl et SO₄²⁻ sont présents dans les engrais sous forme de sulfates et de chlorures d'ammonium.

Il reste à signaler, chose que l'on ne soupçonnait pas avant cette étude, que les bassins forestiers sont naturellement plus concentrés en nitrites que les bassins agricoles ou ruraux. Cette observation se vérifiera également sur la figure 2c.

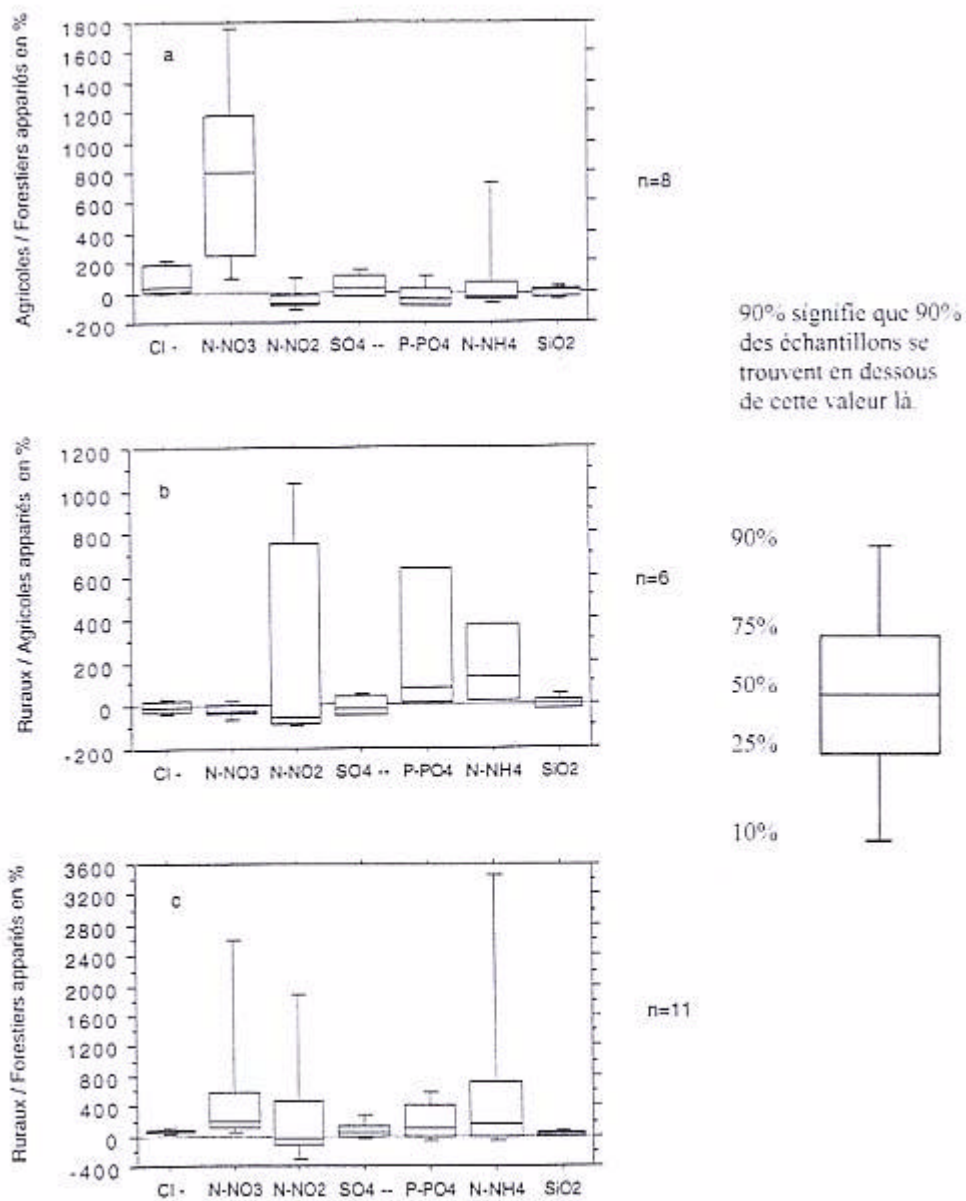


Figure 2. Représentation statistique des variations relatives des concentrations exprimées en pourcentage pour différents types d'occupation du sol.

III. I .2. Impact des rejets domestiques.

Nous allons chercher à définir l'influence des petites communes rurales sur la qualité des eaux en étudiant des bassins agricoles et ruraux appariés (n~6). Les bassins agricoles seront ici utilisés comme référence pour déterminer les variations de concentration dues en majorité aux rejets domestiques.

Comme dans le cas précédent, la figure 2b met tout de suite en évidence 3 espèces: NH_4^+ , PO_4^{3-} et NO_2^- . Les deux formes azotées voient en effet leur concentrations sous bassins ruraux être plus élevées que sous bassins agricoles. Ceci est attribuable aux rejets issus du métabolisme humain dont la plus grande part est sous forme ammoniacale. Les fortes augmentations en nitrites pouffaient être le résultat de la nitrification de l'ammonium qui dans une première étape produit des nitrites.

Dans une moindre mesure, une augmentation des phosphates dans les bassins ruraux est observable. Leurs origines sont de deux ordres: les excréments humaines, mais également et dans une même proportion l'utilisation de détergents (phosphore) par les ménages.

Il résulte de ces observations que l'implantation de villages modifie la qualité chimique les cours d'eaux qui reçoivent leurs eaux usées. Les impacts des rejets en ammonium, en nitrites et en orthophosphates sont d'ailleurs bien corrélés avec l'augmentation de la densité de population comme le décrit la figure 3 (b, c, d).

La figure 3a met en évidence la corrélation entre deux espèces, nitrites et ammoniacale, sujettes à la même source de pollution.

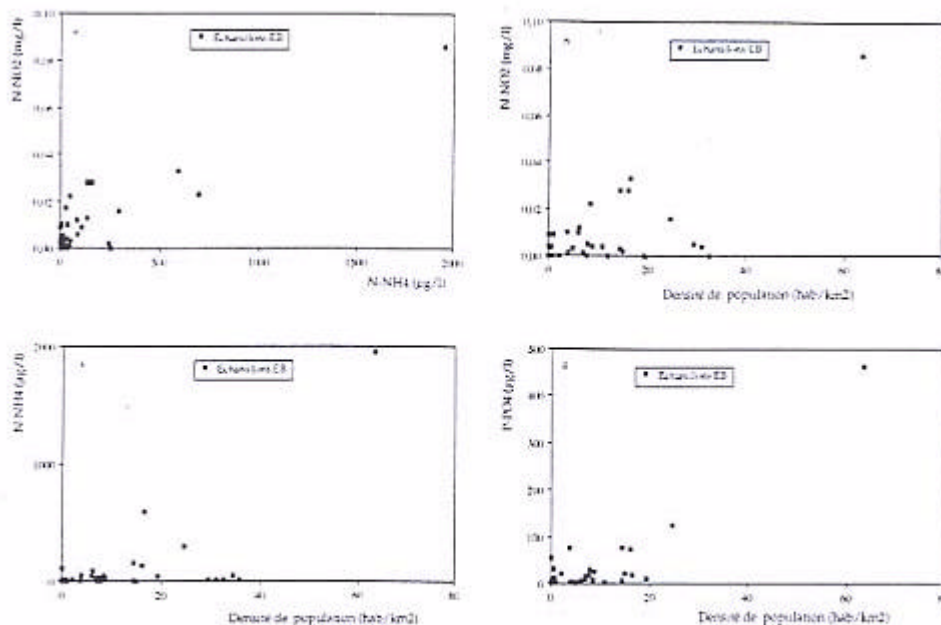


Figure 3: Evolution de la concentration en nitrites (b), ammoniacale (c) et orthophosphates (d) des bassins agricoles et ruraux, en fonction de la densité de population.

III. I .3. Influence des activités humaines.

Il apparaît au regard de la figure 4 , où les échantillons à ta fois de Sylvie THIBERT et de cette étude sont associés, que les orthophosphates, les nitrites et l'ammoniaque présentent sous bassins ruraux des concentrations plus élevées que la référence naturelle sous forêt.

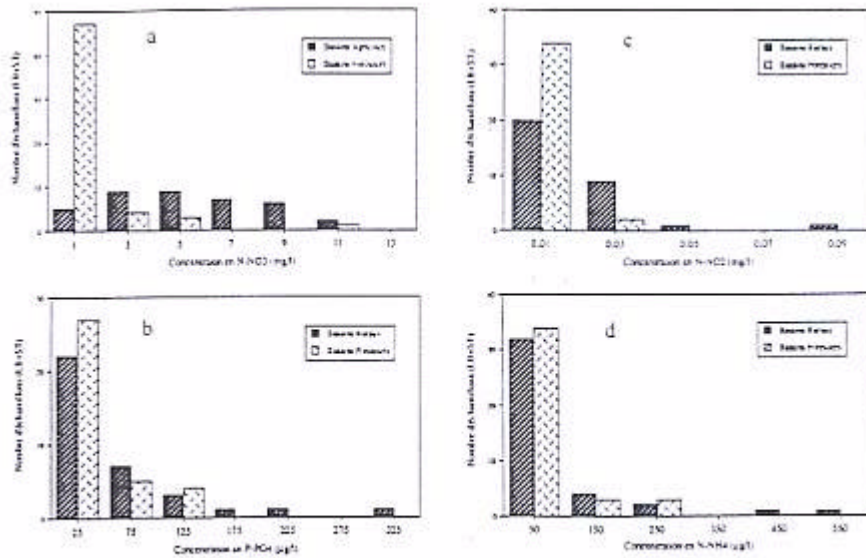


Figure 4. Distribution par classe de concentration et par nature d'occupation du sol des nitrates (a), orthophosphates (b), nitrites (c) et ammoniaque (d).

Ceci est une fois de plus cri accord avec les observations portées sur la figure 5 qui présente l'évolution des concentrations par classe de densité de population. Comme nous l'avons déjà souligné, l'étude permet de dégager des tendances et n'est aucunement une référence statistique solidement fondée. Bien qu'il n'existe pas de relations évidentes pour CV, N-NO3 et S04~, une augmentation progressive des orthophosphates, des nitrites et de l'ammoniaque apparaît. Les dernières classes n'étant pas significatives par manque de données, il devient difficile d'en tirer des enseignements mais il semblerait qu'à partir d'une certaine densité de population (~20-30 hab/km²), la diminution des orthophosphates, nitrites et ammoniaque soit le reflet de la collecte et du traitement des eaux usées par les communes.

Intéressons nous maintenant aux bassins ruraux et forestiers appariés (n= 11). Comme pour poursuivre et confirmer les remarques déjà formulées sur les figures 2a et 2b, la figure 2e montre une augmentation générale de toutes les substances sauf de la silice, invariante quelque soit l'occupation du sol. Les plus forts pourcentages d'augmentation sont enregistrés par les nitrates, l'ammoniaque, les phosphates , les sulfates et les nitrites.

Pour les éléments dissous, la méthode des bassins appariés permet de nous affranchir des variations hydrologiques spatialement et temporellement, et rend compte qualitativement des espèces touchées par telle ou telle occupation du sol. Toute cette étude témoigne de l'impact des activités anthropiques sur la qualité chimique des eaux cri têtes de bassins.

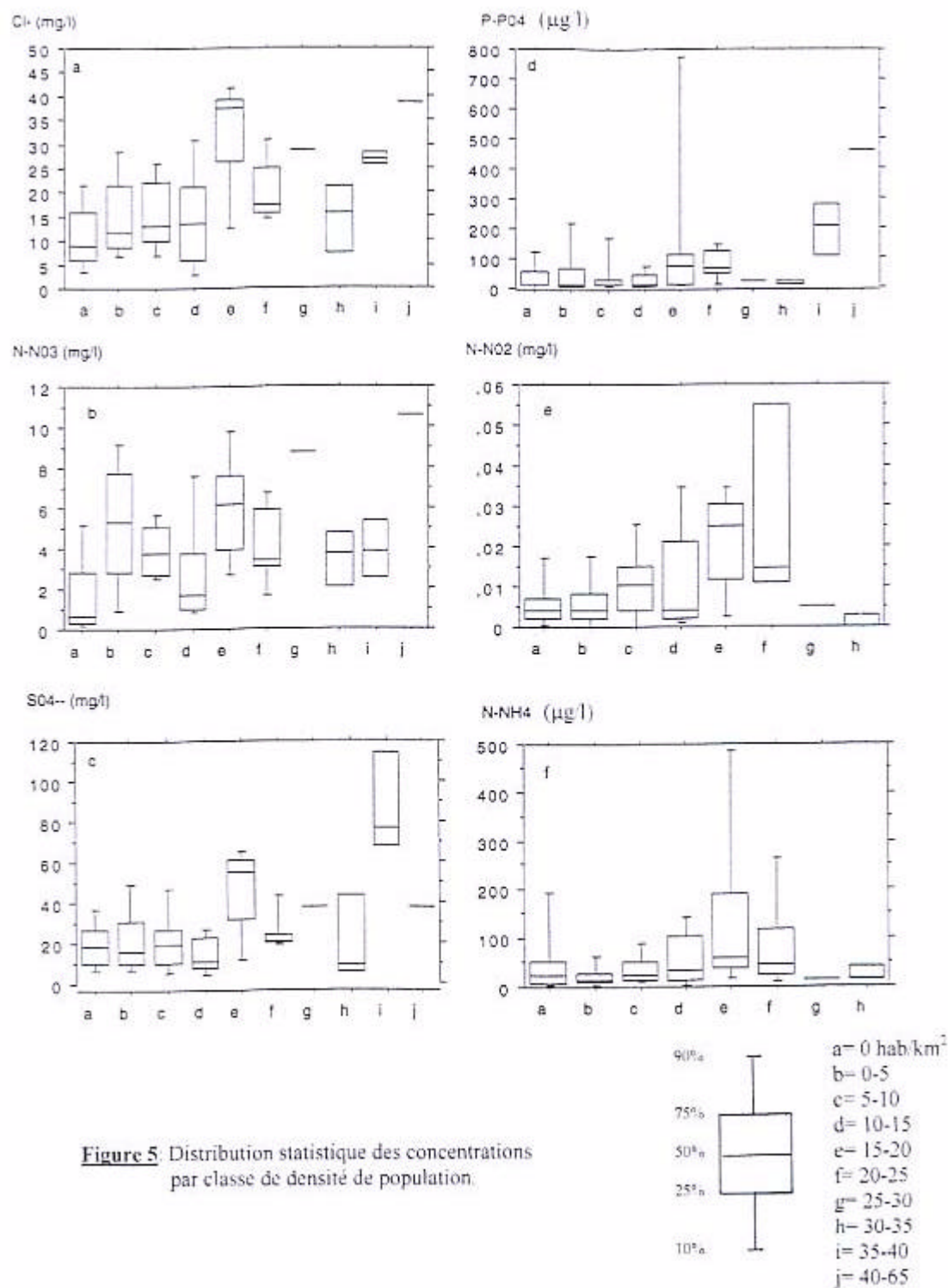


Figure 5: Distribution statistique des concentrations par classe de densité de population.

111.2. Les métaux traces dans les sédiments.

111.2.1. Rappels des sources de pollutions et normalisation au Titane.

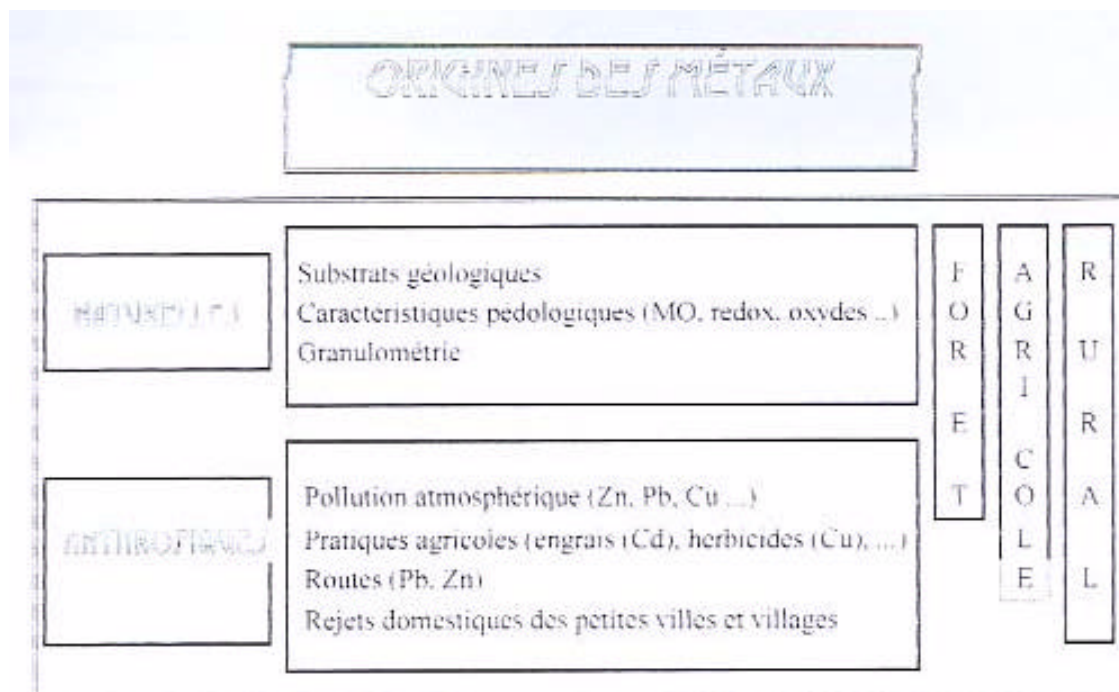


Tableau 4 : Rappel synthétique des origines des teneurs en métaux dans les ruisseaux.

L'objectif de l'étude est de quantifier les teneurs en métaux traces dans les sédiments pour différentes natures d'occupation du soi, cri s'affranchissant de la lithologie de chaque bassin. Pour cela, il nous faut comparer les sédiments d'une même fraction granulométrique puisque c'est un des facteurs majeurs d'adsorption des métaux. C'est donc la fraction fine constituée majoritairement d'aluminosilicates qui doit être prise comme référence pour l'analyse. Le traceur du matériel fin argileux dans les sédiments et particules cri suspension étant l'aluminium, il aurait donc fallu normaliser toutes nos concentrations en métaux par rapport à cet élément. Seulement, étant trop concentré dans nos échantillons de sédiment, celui-ci n'a malheureusement pu être dosé à l'ICP-MS

Nous avons cependant constaté qu'une étude des teneurs cri métaux des laisses de crues (LDC) à Poses par Zahid IDLAFKIH en 1994 donnait une bonne corrélation entre le Titane et l'Aluminium (cf. figure 6). C'est donc par rapport au titane que la normalisation a été effectuée. Il faut noter qu'à cette figure, trois échantillons ont été ajoutés: 2 provenant de prélèvements sur des dépôts alumineux des fouilles de Bercy (BER) datant de 5000 ans et l'échantillon (EBO5) issu de notre étude mais analysé comme ceux de Bercy par A.1-IQROWITZ (United States Geological Survey).

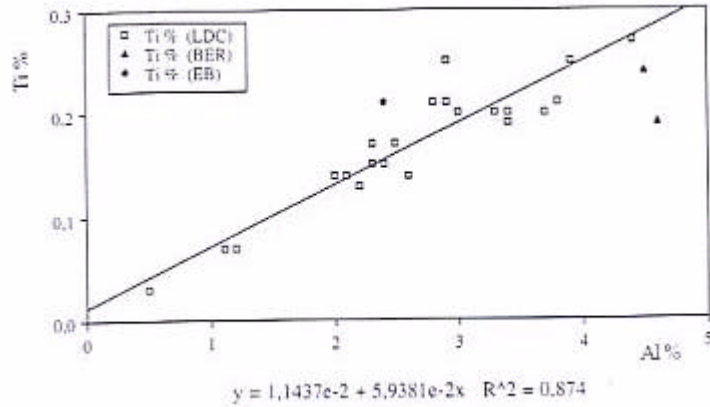


Figure 6: Droite de corrélation du Titane avec l'Aluminium.

111.2.2. Comportement des métaux.

111.2.2.1. Matrice de corrélation.

La première analyse que nous avons effectuée sur les données brutes des métaux (cf tableau 3, Annexe II), vise l'existence de relations entre eux dans la fraction inférieure à 100 ~xm. Ainsi le tableau 5, représentant la matrice de corrélation des éléments, indique que Ti-Cr, Co-Ni, Cu-Zn, Cu-Pb et Zn-Pb sont corrélés.

	Ti	CR	MN	CO	Ni	CU	ZN	PB
Ti	1	0,890	0,224	-0,125	-0,260	-0,925	-0,905	-0,829
CR	0,890	1	0,210	0,143	0,018	-0,867	-0,880	-0,929
MN	0,224	0,210	1	0,625	0,459	-0,422	-0,430	-0,129
CO	-0,125	0,143	0,625	1	0,962	-0,056	-0,140	-0,214
Ni	-0,260	0,018	0,459	0,962	1	0,083	-0,017	-0,155
CU	-0,925	-0,867	-0,422	-0,056	0,083	1	0,974	0,747
ZN	-0,905	-0,880	-0,430	-0,140	-0,017	0,974	1	0,815
PB	-0,829	-0,929	-0,129	-0,214	-0,155	0,747	0,815	1

Tableau 5: Matrice de corrélation des métaux.

Les corrélations sur l'ensemble des échantillons n'ont rien donné de significatif pour Cu-Pb et Zn-Pb car les bassins agricoles et ruraux présentent un comportement moins évident. Par contre comme nous pouvons l'observer sur la figure 7, Ti-Cr, Co-Ni et Cu-Zn se distribuent relativement bien. Ceci mentionne simplement le fait que les métaux corrélés ont soit la même origine soit le même comportement.

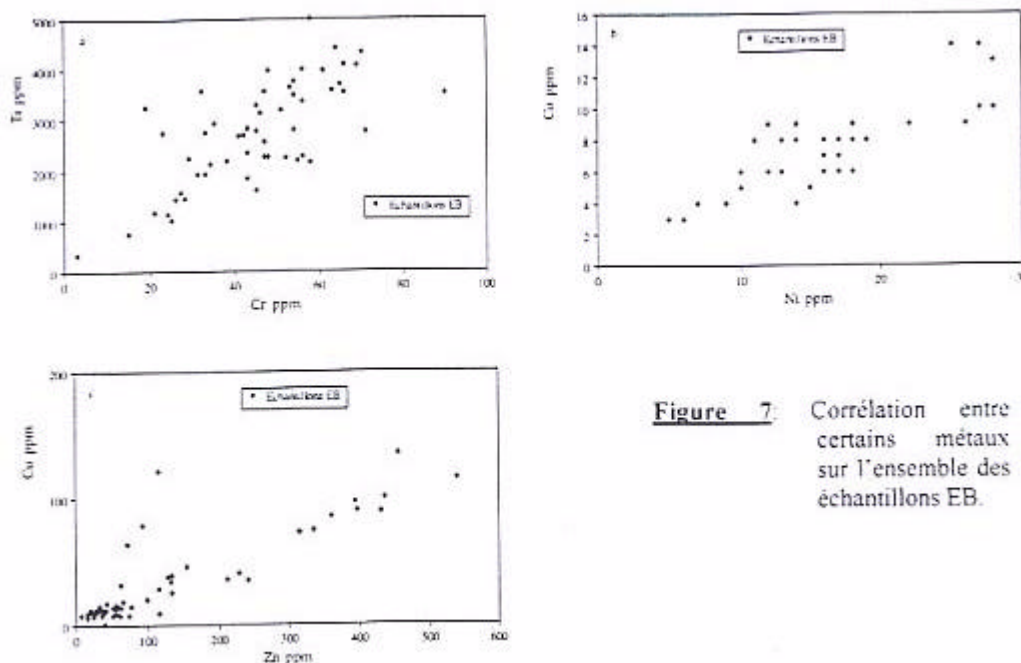


Figure 7: Corrélation entre certains métaux sur l'ensemble des échantillons EB.

111.2.2.2. Comportement en fonction de la lithologie.

Comme le rappelle le tableau 4, la nature du substrat géologique conditionne les teneurs naturelles des métaux dans les sédiments. Nous avons donc regroupé chaque bassin en fonction de la nature des terrains qu'ils recouvrent et défini les 5 classes lithologiques suivantes:

- . Sables (sables, sables argileux et sables calcaires)
- . Calcaires (calcaires et craies)
- . Marnes (marnes et marnes calcaires)
- . Argiles (argiles marno-calcaires)
- . Roches Cristallines

L'ensemble des résultats se trouve en Annexe III, mais pour exemple la figure 8 illustre parfaitement l'augmentation des concentrations en Zinc avec l'augmentation croissante des teneurs en argiles (au regard des quartiles inférieurs c'est à dire des concentrations non affectées par l'anthropisation). Les fortes concentrations en Cuivre, Zinc et Plomb dans les roches cristallines sont bien dûes à un effet de lithologie, le substrat de ces bassins étant naturellement plus riche que celui des bassins sédimentaires.

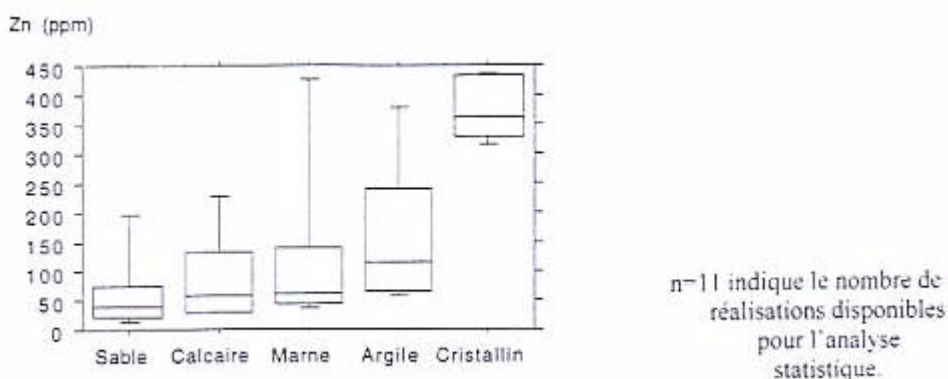


Figure 8: Variation de la concentration en Zn en fonction de la lithologie des terrains.

111.2.2.3. Comportement cri fonction la nature d'occupation du sol.

Cette fois nous avons normalisé les éléments par rapport au titane et regarder les variations de concentration des métaux cri fonction de la nature d'occupation du sol des bassins versants (cf. Annexe 1171).

Pour le Manganèse, le Nickel et le Cobalt, les concentrations des bassins forestiers et ruraux sont égales et supérieures aux concentrations des bassins agricoles. N'étant pas significatif, ceci reste difficilement interprétable. Par contre pour le Cuivre (cf figure 9), le Zinc et le Plomb, la valeur de la médiane augmente des forestiers aux ruraux. Il semble donc que pour certains éléments la nature d'occupation du sol via les activités humaines ait un impact sur les concentrations cri métaux des sédiments.

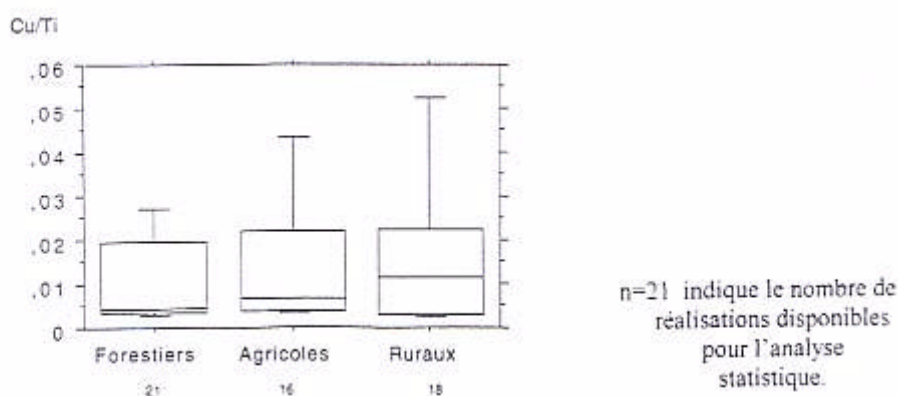


Figure 9: Variation de la concentration en cuivre normalisée au titane cri fonction de l'occupation du sol.

111.2.3. Evaluation de la pollution atmosphérique.

Depuis le début, l'hypothèse qui permet d'entreprendre et de valider cette étude est de considérer les bassins sous couvert forestier comme étant les moins sujets aux activités humaines et donc de les utiliser comme référence naturelle. Seulement les forêts sont plus sensibles aux retombées atmosphériques pouvant véhiculer certains métaux (Zn, Pb, Cu...). En effet, à partir du printemps et durant toute la saison sèche, le feuillage des arbres reçoit des aérosols secs qui s'accumulent jusqu'à ce que les feuilles rejoignent le sol à l'automne. Si tel est le cas, les bassins les plus proches des sources de contaminations (industries et grandes agglomérations) pourraient alors mettre en évidence ces influences.

Considérant que dans le Bassin de la Seine la région la plus critique est l'Ile de France, nous avons comparé les teneurs en Cu, Zn et Pb de bassins forestiers sédimentaires (afin d'écarter l'influence lithologique) situés les uns entre 50 et 100 km de Paris, les autres entre 150 et 250 km de la capitale (cf. tableau 5).

	Code Lithologique	Nom des échantillons	Cu / Ti	Zn / Ti	Pb / Ti	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
Bassins Forestiers situés à 50-100 km de Paris	sab-arg	EB 02	0,004	0,053	0,014	9,2	115,0	30,3
	sab/cal	EB 04	0,002	0,021	0,007	8,4	73,0	23,4
	mar-cal	EB 42	0,004	0,013	0,005	12,2	36,4	14,4
	arg-mar-cal	EB 45 Av	0,010	0,052	0,016	26,0	133,0	40,0
	sab/arg-cal	EB 51	0,003	0,005	0,003	9,3	14,7	7,8
	cal-grè	EB 54	0,002	0,052	0,009	1,3	39,5	6,6
	cre	EB 56	0,004	0,010	0,006	10,1	26,9	15,4
moyenne			0,004	0,029	0,008	10,9	62,6	19,7
Bassins Forestiers situés à 150-250 km de Paris	sab-arg-cal	EB 08	0,018	0,077	0,004	73,1	316,0	18,0
	mar-cal	EB 19	0,013	0,052	0,014	29,2	115,0	30,1
	cal	EB 20	0,024	0,079	0,008	46,4	154,0	16,2
	gai	EB 27	0,025	0,020	0,006	8,4	6,9	2,0
	gai	EB 28	0,003	0,006	0,003	11,7	20,3	12,4
	sab/cal	EB 29	0,004	0,014	0,006	14,0	50,7	19,9
	mar-cal	EB 32	0,003	0,010	0,004	12,0	40,7	16,9
moyenne			0,013	0,037	0,007	27,8	100,5	16,5

Tableau 5: Comparaison des métaux dans les sédiments des bassins forestiers proches et éloignés de l'agglomération Parisienne.

IL apparaît, à la vue des résultats fournis par ce tableau, que les bassins forestiers proches de Paris ne sont pas plus riches que ceux situés à 200 km de la capitale et que même vis à vis du Cuivre et du Zinc ce sont ces bassins éloignés qui présentent les concentrations les plus fortes.

Aucun effet n'étant visible, nous pouvons alors écarter le phénomène de pollution atmosphérique sur les teneurs en métaux des sédiments des bassins forestiers par rapport à celles des autres bassins.

111.2.4. Etude qualitative des bassins appariés.

111.2.4. 1. Histogrammes de fréquence par nature de bassin.

A l'issue des données brutes en métaux des sédiments (cf. tableau 3, Annexe II). nous avons représenté leurs distributions par classe de concentration pour chaque nature d'occupation du sol. Nous disposons pour cela de 21 bassins forestiers, de 18 bassins ruraux et de 16 bassins agricoles (cf. figure 10).

Il faut tout de suite clairement signaler que ces histogrammes sont des faits et qu'ils ne renseignent rien sur une quelconque pollution que seule l'étude des bassins appariés peut apporter.

On observe tout d'abord deux types d'histogrammes avec dans un premier cas une distribution dissymétrique log normale pour Mn, Cu, Zn et Pb, et dans un second cas une distribution en cloche pour Ti, Cr, Co et Ni. Ceci s'apparente peut être à la distribution des éléments traces et des éléments majeurs qui présentent naturellement, respectivement les mêmes caractéristiques.

En ce qui concerne la répartition des échantillons en fonction des teneurs, il apparaît que, quelque soit la nature des terrains, Ti, Cr, Co et Ni se distribuent de façon homogène sur l'échelle des classes de concentrations.

De toute autre manière, on constate que sous forêts, Mn, Cu, Zn et Pb ne sont présents qu'en faible concentration et qu'aux très fortes valeurs ces métaux apparaissent sous occupations agricoles et rurales. Cependant, il arrive d'observer aux fortes concentrations des échantillons de nature forestières. Il nous est alors apparu important de vérifier si cela était dû à une contamination locale ou si cela était de nature lithologique. Ont donc été recherchés tous les bassins forestiers dont les concentrations étaient:

- supérieures à 20 ppm *cri* Ni
- supérieures à 60 ppm *cri* Cu
- supérieures à 70 ppm en Pb
- supérieures à 200 ppm *cri* Zn

Le tableau 6 apporte les réponses aux questions posées, à savoir que les échantillons ayant de fortes concentrations *cri* Cu, Zn et Pb (EBO8, EBIO et EBI2) sont situés dans le bassin du Morvan (cf carte 2 page 7) dont le substrat géologique est plus riche que celui des bassins sédimentaires. Ceci confirme les observations mentionnées au paragraphe 111.2.2.2. Quant aux deux échantillons dont les concentrations en Ni sont plus élevées, celles-ci pourraient s'expliquer pour EB45 par la présence de 5 usines (indiquées sur la carte IGN) à 5 km à la ronde de l'agglomération de Château-Thierry. Par contre pour EBO4 l'explication reste à trouver.

Code Lithologique	Type	Nom des échantillons	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
sab-arg-cal	F	EB 08	12	73	316	18
<i>cri</i>	F	EB 10	-	85	360	60
<i>cri</i>	F	EB 12	13	100	436	145
sab/cal	F	EB 04	25	8	70	23
arg-mar-cal	F	EB 45	28	19	65	25

Tableau 6: Mise en évidence lithologique des concentrations extrêmes en Cu, Zn et Pb sous forêts.

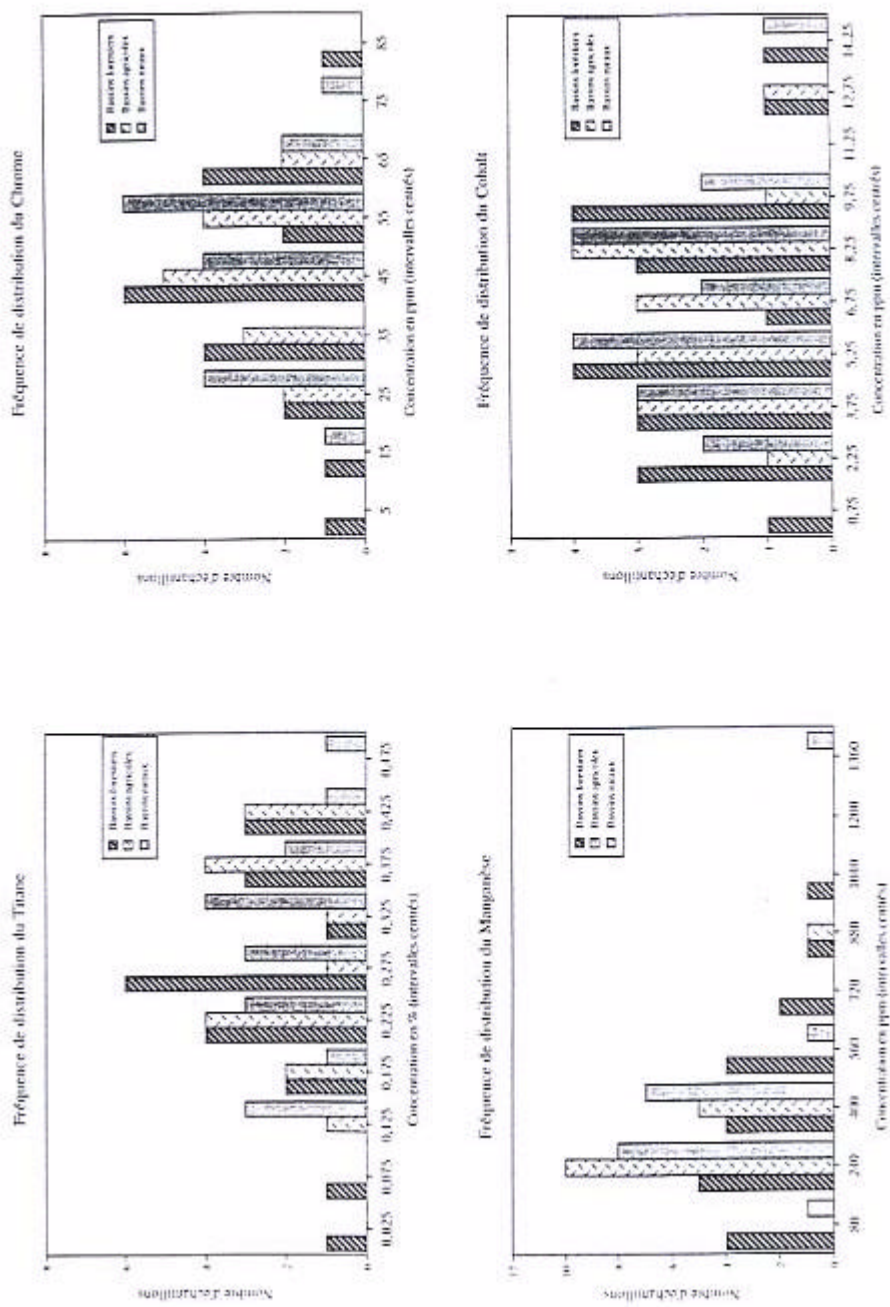


Figure 10 Distribution des métaux par classes de concentration et par nature d'occupation du sol.

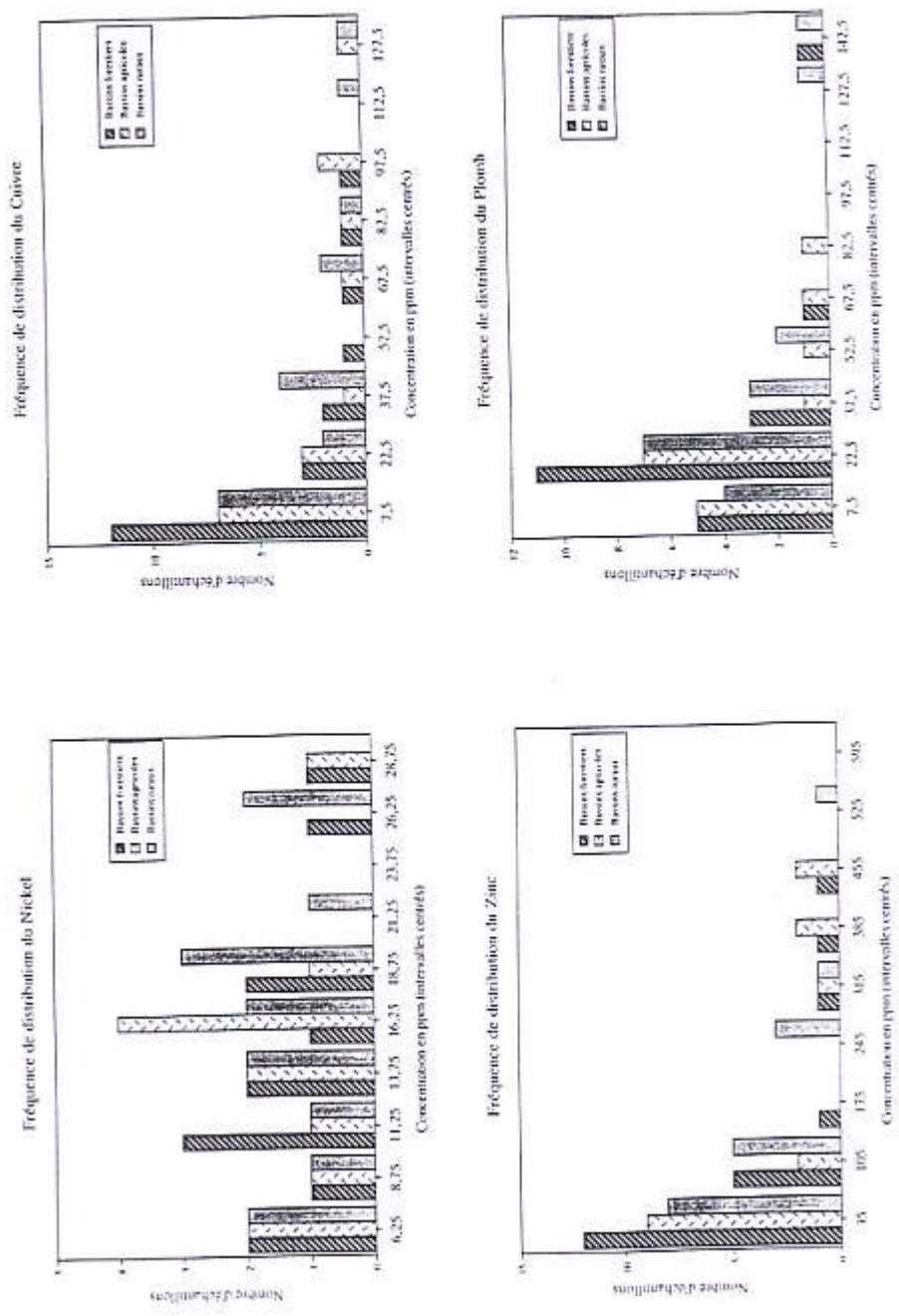


Figure 10: Distribution des métaux par classes de concentration et par nature d'occupation du sol.

III.2.4.2. Comportement des bassins appariés.

Comme nous l'avons réalisé pour les espèces dissoutes en solution, l'étude des bassins appariés, essentielle à ce travail, va permettre de comprendre les différences de comportements et de localiser d'éventuelles pollutions locales.

Pour appuyer ce qui vient d'être dit, la figure 11 décrit la représentation statistique des rapports définis comme suit:

$$\frac{[\text{Métal} / \text{Titane}]_{\text{A ou R}}}{[\text{Métal} / \text{Titane}]_{\text{F}}}$$

Ces rapports interviendront dans la suite du travail comme «facteur de contamination

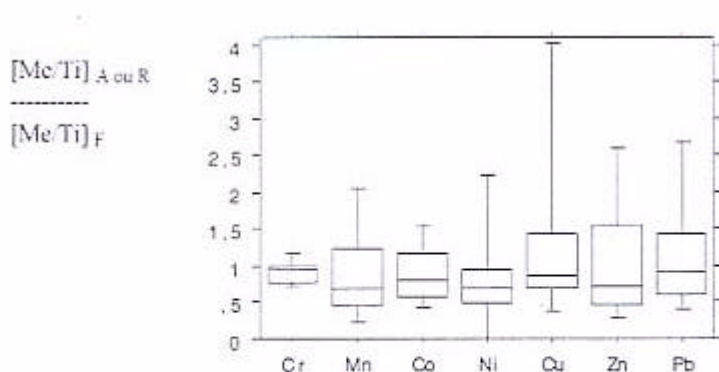


Figure 11: Représentation statistique des métaux des bassins agricoles-ruraux et forestiers appariés.

Figure 11: Représentation statistique des métaux des bassins agricoles-ruraux et forestiers appariés.

Si l'on regarde la distribution de la médiane des métaux par rapport à la droite de rapport 1, on constate que les bassins forestiers sont plus riches que leurs homologues agricoles ou ruraux appariés. Une deuxième constatation s'impose : il n'y a pas de grandes fluctuations et dispersions des rapports au niveau des quartiles ce qui confirme la nécessité d'étudier les bassins appariés individuellement.

III.2.4.3. Couples Agricoles -Forestiers appariés.

La figure 12 illustre sur 8 graphiques le rapport des concentrations de métaux normalisés au titane pour 6 couples de bassins agricoles-forestiers appariés. L'équivalence des concentrations est symbolisée par la droite de rapport 1 et l'on considère que seul un écart supérieur à 20% autour de cette droite (soit $X < 0,8$ ou $X > 1,2$) est significatif

D'une manière générale, pour l'ensemble des éléments, il y a autant de couples pour lesquels le bassin forestier est plus riche que de couples où le bassin agricole est plus riche que son homologue apparié.

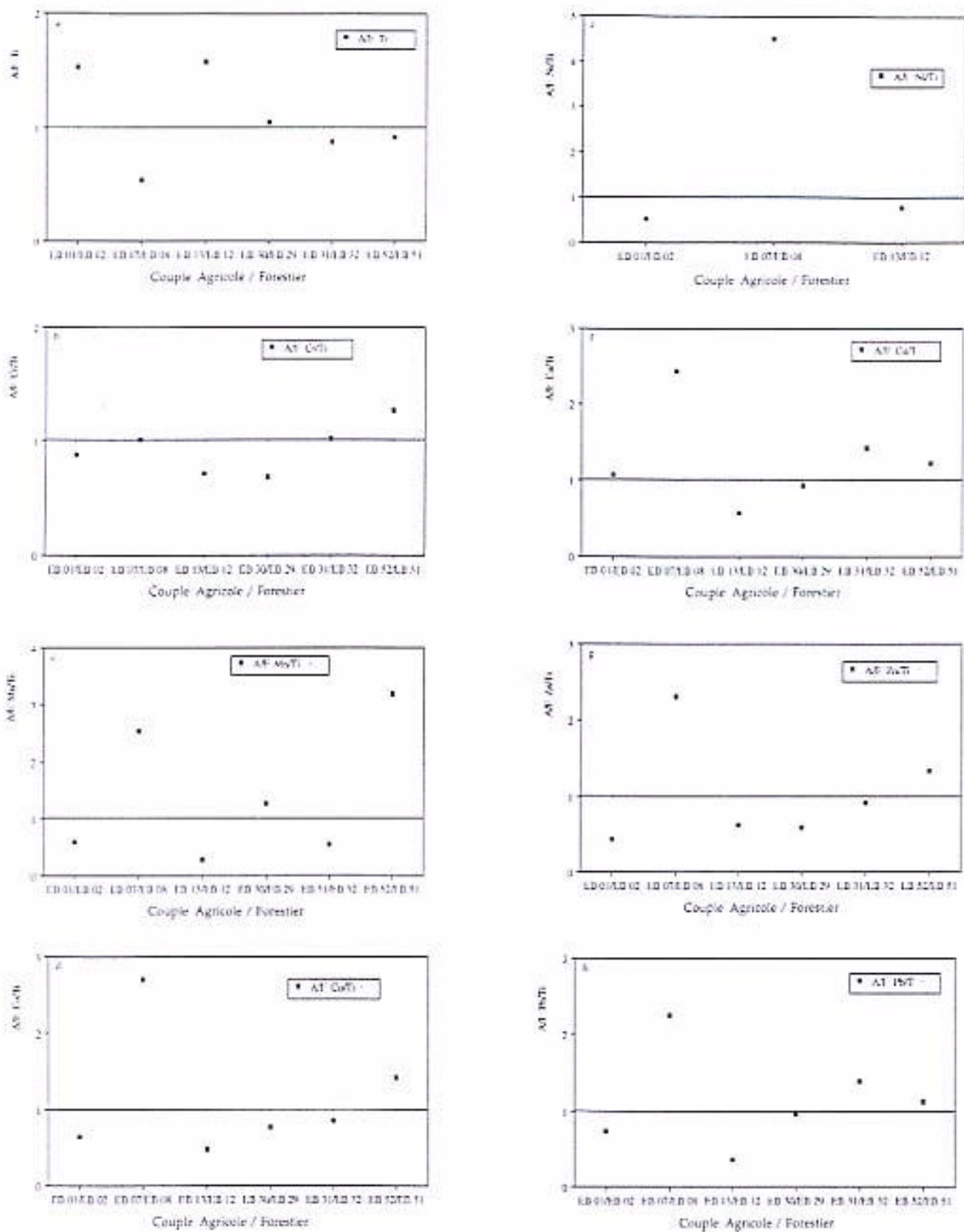


Figure 12 : Rapport des concentrations en métaux normalisées au titane pour 6 couples de bassins agricoles-forestiers appariés

Deuxièmement, les concentrations des différents métaux sont très voisines, à une ou deux exceptions près, et ce quelque soit la nature d'occupation du sol. Il cri ressort cri effet que mis à part le manganèse qui a un comportement complexe lié au potentiel d'oxydoréduction du sol, l'échantillon agricole du couple EBO7/EBO8 est de 2 à 4 fois supérieur à son apparié forestier, respectivement *cri* plomb et nickel.

Ceci est très certainement lié aux pratiques agricoles nécessitant l'emploi d'engrais et autres produits porteurs de métaux.

111.2.4.4. Couples Ruraux -Forestiers appariés.

Nous disposons ici de 10 couples de bassins appariés (cf. figure 13). On remarque tout de suite que compte tenu de la normalisation au titane où plus de bassins ruraux ont des concentrations absolues supérieures aux bassins forestiers, pour 2 3 des couples et pour l'ensemble des métaux, les bassins forestiers sont plus riches que leurs homologues ruraux.

En chrome les rapports sont très voisins du rapport 1. Plus d'hétérogénéité est observée cri manganèse mais pour Les mêmes raisons invoquées au paragraphe précédent, nous n'en tiendrons pas compte.

D'un point de vue général, les couples ruraux-forestiers ont des concentrations semblables avec cependant deux exceptions : la première, avec le couple EB43 EB42 où l'échantillon rural est 2 fois plus riche *cri* Zn et 5 fois plus riche cri Cu et surtout la deuxième avec le couple EB4 I EB4O où là encore l'échantillon rural est bien plus concentré.

En effet:

EB4I est 1,5 fois supérieur cri Cr et Co àEB4O

EB4 I est 2 fois supérieur *cri* Ni àEB4O

EB4I est 3,5 fois supérieur en Pb et Zn àEB4O

EB4I est 17 fois supérieur cri Cu àEB4O

Cette dernière comparaison atteste manifestement l'existence d'une pollution dont le cuivre serait soit un des éléments prédominants soit le métal le plus sensible. La différence entre bassins ruraux et bassins forestiers réside bien sûr au niveau de l'occupation du sol mais aussi et surtout au niveau de l'habitat. A ce titre, il faut rappeler que les effluents urbains bruts véhiculent de l'ordre de 50 kg.an⁻¹ par habitant de matières particulaires. De plus, les micropolluants rejetés cri solution dans le milieu aquatique vont rapidement s'adsorber sur la fraction fine des matières cri suspension qui, après stockage dans les sédiments, seront remobilisées lors de crues suffisamment puissantes.

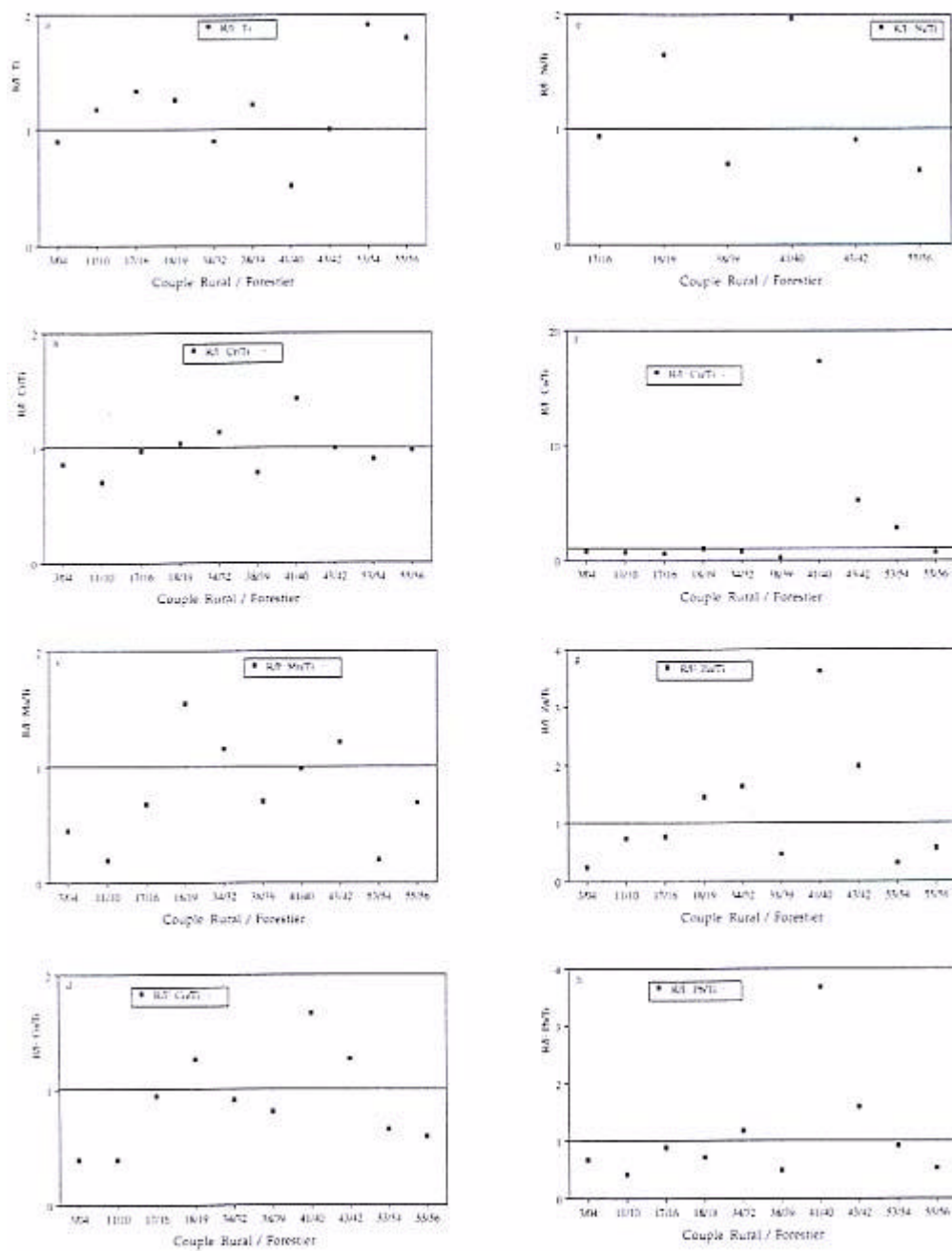


Figure 13: Rapport des concentrations en métaux normalisées au titane pour 10 couples de bassins agricoles-forestiers appariés

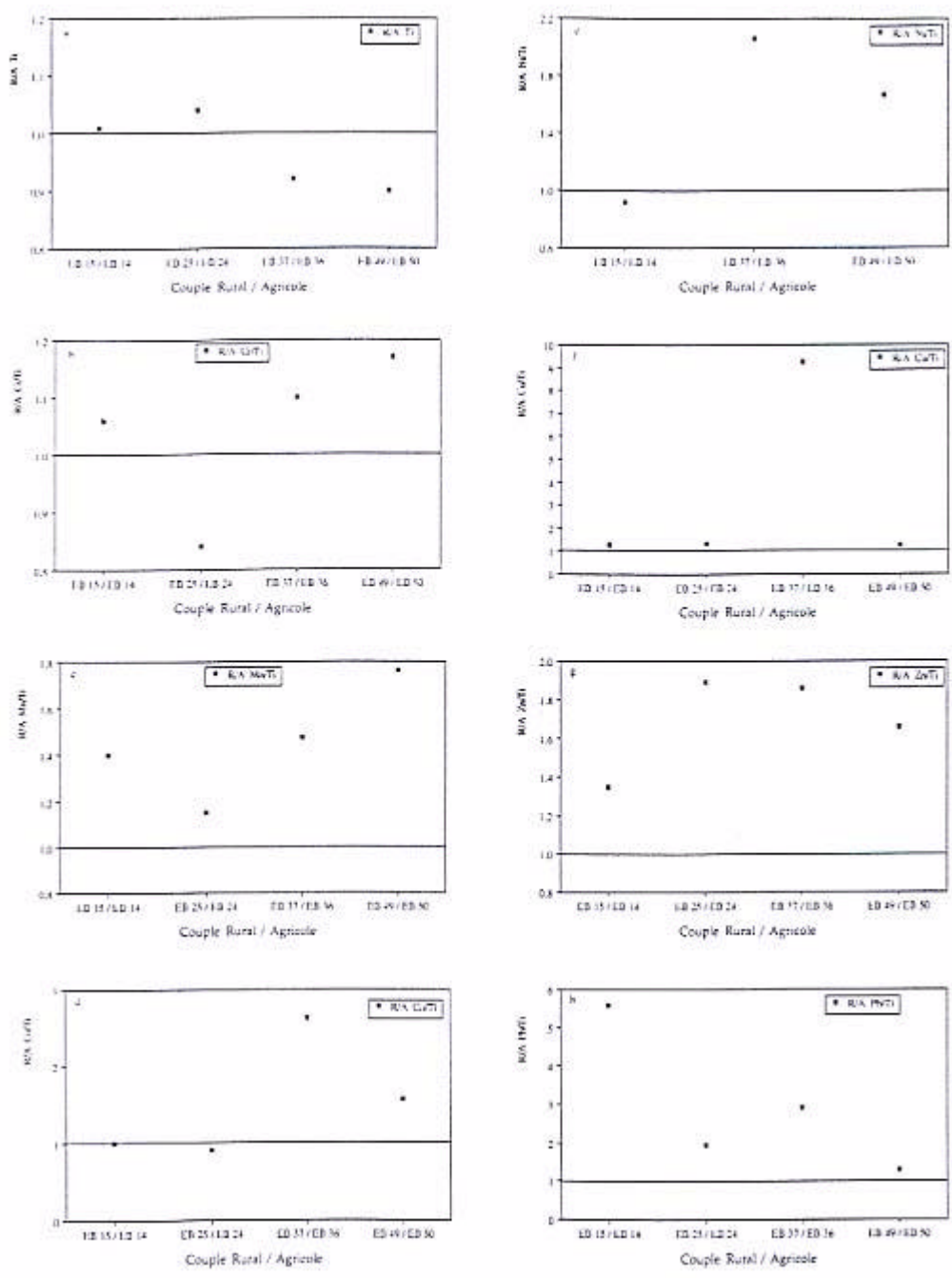


Figure 14 : Rapport des concentrations en métaux normalisées au titane pour 4 couples de bassins agricoles-forestiers appariés

III.2.4.5. Couples Ruraux -Agricoles appariés.

Quatre couples de bassin, dont l'échantillon agricole fait office de référence, vont servir de base à cette étude. La figure 14 décrit ici que pour la grande majorité des métaux analysés les échantillons ruraux possèdent des concentrations supérieures aux échantillons agricoles qui leur sont appariés. Cela étant dit, les fluctuations des rapports au titane des concentrations ne sont pas significatives d'une quelconque contamination. Bien évidemment, quelques couples échappent à cette observation:

EB25 est 2 fois plus concentré en Zn et Pb que EB24

EBI5 est 5.5 fois plus concentré en Pb que EBI4

et surtout

EB37 est 2 fois plus concentré en Ni et Zn que EB36 EB37 est 3 fois plus concentré en Co et Ph que EB36

EB37 est 9 fois plus concentré en Cu que EB36

Une fois de plus, le cuivre présente la plus grosse différence de concentration et ce toujours cri faveur du bassin rural.

III.2.4.6. Observations et remarques.

Les deux couples EB27/EB28 et EB45 Am/EB45 Av présentés sur la figure 15 n'ont pour seule intention que de soulever quelques remarques.

Ainsi, cri ce qui concerne le premier, il s'agit de 2 échantillons forestiers dont la forêt est commune et sur le même substrat géologique et dont les ruisseaux s'écoulant parallèlement ne sont distants que de 1 km. On constate alors que leurs concentrations brutes cri titane varient de 300 ppm à 3600 ppm. Comme la normalisation à cet élément conditionne les résultats des rapports des autres métaux, il convient de prendre quelques précautions avant une éventuelle interprétation.

En effet, cette différence est-elle bien réelle sur le terrain ou s'agit-il tout simplement d'une erreur au cours des analyses? Cet exemple étant unique, rien ne permet d'apporter une ébauche de réponses mais signalons qu'à la diversité spatiale naturelle peut s'ajouter des erreurs dues à l'échantillonnage, aux analyses chimiques ou aux traitements des données.

Le deuxième couple. EB45 Am/EB45 Av, se situe au niveau d'une petite route sous couvert forestier. N'ayant trouvé que des sédiments grossiers cri amont de la route. un deuxième échantillonnage a été effectué en aval de celle-ci à seulement 10 m du premier.

Il ressort des histogrammes du Ti, du Cr, du Mn et du Co une bonne équivalence des concentrations. Par contre, cri Cu, Zn et Ph l'échantillon situé cri aval de la route présente des concentrations plus élevées.

Cette observation pourrait mettre cri évidence l'importance des éléments entraînés lors des précipitations atmosphériques par le ruissellement sur les routes et cri particulier les éléments résultant de la combustion de fuels fossiles (plomb) et ceux présents dans la gomme des pneus de voitures (zinc).

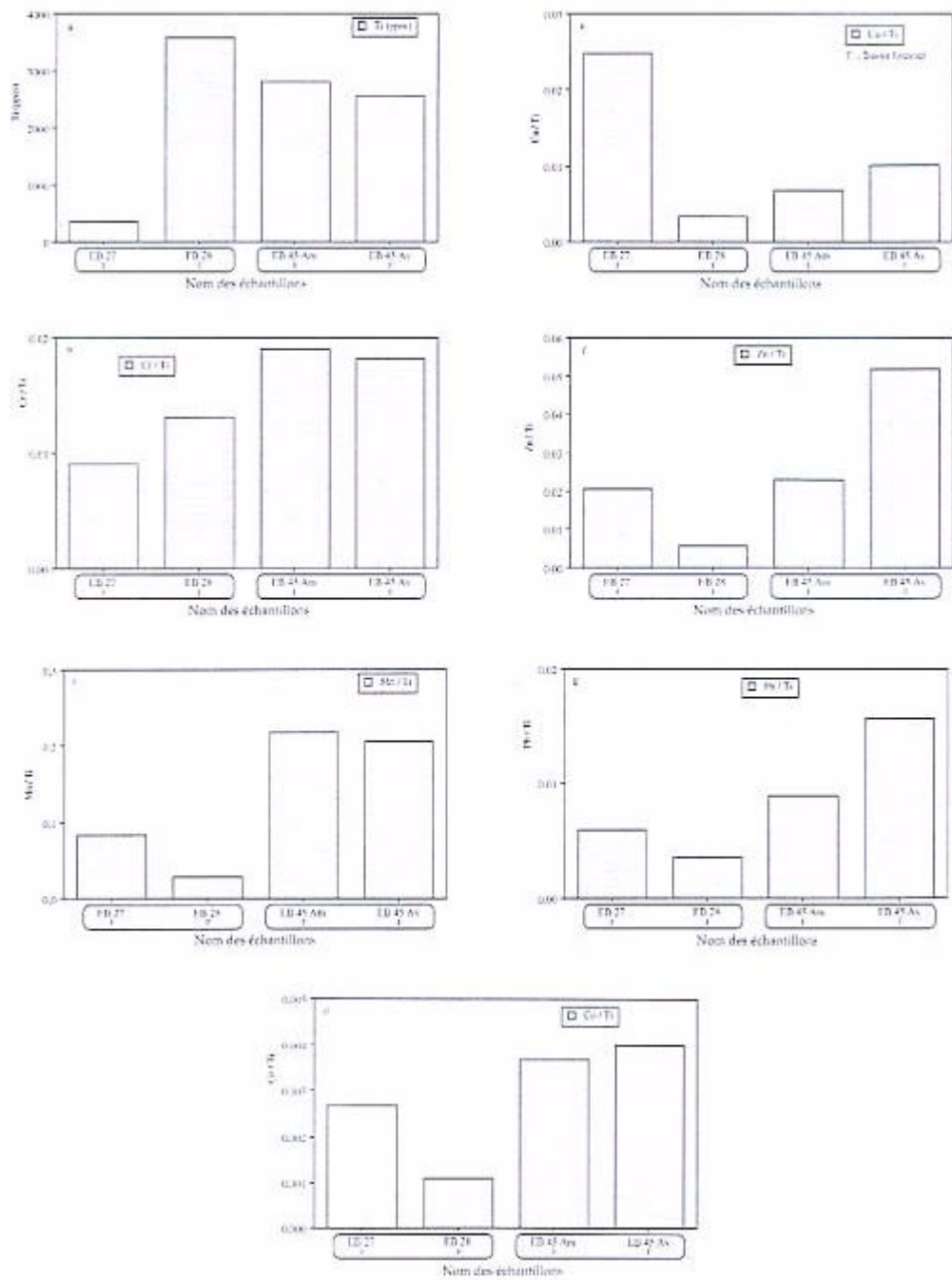


Figure 14 : Histogramme des rapport des concentrations en métaux normalisées au titane pour 2 couples de bassins agricoles-forestiers appariés

111.3. Bilan des contaminations en métaux traces dans les sédiments.

L'objectif de cette étude était de quantifier et de localiser d'éventuelles sources de pollution. Le tableau 7 identifie grâce au «facteur de pollution» que nous avons défini au paragraphe III.2.4.2, les bassins ruraux ou agricoles considérés comme pollués (facteur > 1,5) cri regard de leur bassin forestier apparié. Mentionnons tout de même que pour la dernière station AI.R12, il s'agit d'un bassin rural pollué par rapport à son agricole apparié.

Facteur de contamination

<i>Nom des Stations</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>
SE.A4	1,0	2,5	2,7	4,5	2,4	2,3	2,2
MA.R2	1,0	1,5	1,3	1,7	1,0	1,5	0,7
MA.A5	1,0	1,3	1,1	0,5	0,7	0,7	3,1
AI.R8	1,0	0,9	0,7	-	0,8	1,6	1,3
MA.R9	1,4	1,0	1,7	2,0	17,4	3,6	3,7
MA.R11	1,0	1,2	1,3	0,9	5,2	2,0	1,6
MA.R14	0,8	0,4	0,5	0,5	1,4	2,9	1,4
OLA3	1,3	3,2	1,4	-	1,2	1,3	1,1
OLR4	0,9	0,2	0,7	-	2,8	0,3	0,9
AI.R12	1,1	1,5	2,6	2,1	9,2	1,9	2,9

Tableau 7: Identification des stations contaminées en métaux.

Il apparaît donc que sur 18 couples (agricoles ou ruraux)/forestiers, la moitié présente de une (MA.A5, AI.R8, MA.R14, QI.A3 et OI.R4) à six contaminations (SE.A4) en métaux différents. De même, un quart des couples ruraux/agricoles sont pollués. La vue de ce tableau va nous permettre de définir un degré de sensibilité à la pollution de chacun des métaux analysés ici.

Degré de sensibilité à la pollution	
Zn	++++
Cu	+++
Pb	+++
Ni	++
Mn	++
Co	+
Cr	0

Tableau 8: Sensibilité des métaux à la pollution.

En effet Zinc, Cuivre et Plomb sont les éléments présentant le maximum de contamination, surtout pour les bassins ruraux où il faut rappeler que le lessivage des routes y est certainement un des facteurs importants.

IV. CONCLUSION

Cette étude des éléments dissous et particuliers dans les ruisseaux des sous-bassins de la Seine a requis l'utilisation d'une démarche originale pour estimer les valeurs «naturelles» et l'influence des activités humaines. Ainsi, la méthode des bassins appariés a permis de mettre en évidence l'impact de l'occupation du sol sur les concentrations de nutriments, de éléments majeurs et de métaux lourds, tout en s'affranchissant de la lithologie, des variations hydrologiques et des apports atmosphériques.

Ce travail confirme au niveau du dissous les résultats de la thèse de Sylvie Thibert, à savoir que la hausse des teneurs de nitrates et de chlorures sont essentiellement le fait des épandages de fertilisants par l'agriculture. Nitrites et ammoniacaux proviennent majoritairement des rejets domestiques alors que les orthophosphates voient leurs concentrations augmenter sous l'action conjuguée de ces deux types de pollution.

En ce qui concerne les éléments traces, il ressort de cette étude que, d'une manière générale, les sédiments des bassins ruraux et agricoles sont faiblement contaminés en regard des concentrations des bassins forestiers. Quant à la méthode de normalisation au titane, elle apparaît comme un faible facteur explicatif des variations de concentration et atteste que la granulométrie n'est pas le seul paramètre à prendre en considération.

Enfin nous avons pu établir une classification des métaux suivant la pollution

Métaux sans contaminations notables : Cr, Mn, Co

Métaux sensibles aux « activités agricoles » : Ni, Cu, Zn, Pb

Métaux sensibles aux « activités rurales » : Cu > Pb, Zn > Ni

Pour terminer, le tableau qui suit met en avant les teneurs naturelles des métaux, dans les sédiments du Bassin de la Seine, selon trois références différentes. Celles de Pereira-Ramos ont été calculées par une méthode statistique utilisant une distribution par classes de concentration. Celles d'Horowitz sont le résultat de la moyenne de 2 prélèvements sur dépôts alluviaux datant de 5000 ans BP des fouilles de Bercy. Enfin, nos valeurs ont été estimées en prenant les concentrations des quartiles inférieurs (niveaux peu anthropisés) de la distribution statistique des métaux par classes lithologiques (cf. figure 8, Annexe 111) pondérées par les pourcentages d'affleurement sur le Bassin de la Seine (cf. tableau 9, Annexe III).

	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Cd	Co	Ni	Hg
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
PEREIRA-RAMOS	13000	175	100	30	12,5	25	0,75	-	12,5	0,10
HOROWITZ	18000	400	100	24	12	50	0,35	4,5	20	0,07
BIGER-MEYBECK	*	200	45	15	15	32	*	4,0	8	*

Ces résultats montrent que notre estimation est valable mais la définition des teneurs naturelles reste la clé du problème.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNQR. - Recueil de normes françaises. Eaux. Méthodes d'essais. Association Française de NORmalisation, 1990.
- FORSTNER U. - Metal concentration in freshwater sediments. Natural background and cultural effects. In: H.L. Golterman (Editor). Interactions Between Sediments and Freshwater. Junk and Pudo. Amsterdam. pp. 94 - 103. 1977.
- FORSTNER U. - Changes in metal mobilities in aquatic and terrestrial cycles. Jn: Patterson LIW (cd) Speciation, separation and recovery of metals. Lewis Publ Chelsea, Michigan, pp. 3-26, 1986.
- FORSTNER U. & WITTMAN G.T.W. - Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 486 pp., 1979.
- FORSTNER U. & WITTMAN G.T.W. - metal pollution in the aquatic environment. 2nd revised edition. Springer-Verlag. New York, pp. 71-196, 1981.
- HOROWITZ A. J. - Comparison of methods for the concentration of suspended sediment in river water for subsequent chemical analysis. Environmental Science and Technology. v.20.pp. 155-160. 1986.
- HOROWITZ A. J. - A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry. 2nd Edition, Lewis Publishing Company, Michigan, 136 p., 1991.
- HUANG W W. GIANNONI A. & MFYBECK M. - Surveillance des flux de micropolluants Inorganiques. Agence dc l'eau, rapport final, 67p, dec 1992.
- JENNE E.. KENNEDY V.. BIJRCHARD J.. and BALL J. - Sediment collection and processing for selective extraction and for total metal analysis. in Baker R., ed., Contaminants and sediments. V.2, Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science Publisher, Inc, pp. 169-189, 1980.
- LEVET P. - Essai de caractérisation lithoiogique du bassin versant de la Seine. Mémoire de maîtrise. Université Pierre et Marie Curie 1991.

- MEYBECK M. - Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. Sci. Géol. Bull., 39, 1, 3-77, 1986.
- MEYER C., HIREL B., MOROT-GAUDRY J-F. & CABOCHE M. - L'utilisation de l'azote par les plantes. La Recherche, ~7, 24, 956-962, 1993.
- Monographie « Les bassins de la Seine et des cours d'eau normands », 1969-1974.
- PJLLEBOUE-BATENDIER E. - Origines, bilans et mécanismes de transfert du phosphore et de l'azote d'un bassin versant vers un lac. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 253 p, 1987.
- SALOMONS W. & FQRSTNER U. - Metals in the Hydrocycle, Springer-Verlag. New York. 63-92. 1984.
- SALOMONS W. & STIGLIANI W. M. - Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments: risk assessmerit of delayed and non linear responses. Springer-Verlag. pp.345. 1995.
- THIBERT S. - Exportations naturelles et anthropiques des ions majeurs et des éléments nutritifs dans le bassin de la Seine. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 204 p, 1994.
- PEREIRA-RAMOS L. - Exploitation critique des résultats d'analyse de métaux sur sédiments et Bryophytes dans le Bassin Seine-Normandie, de 1979 à 1988. Rapport AFBSN-IHC, Naturalia & Biologia, 90p, 1989.

Annexe I

Tableau 1: Description des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

Annexe II

Tableau 3: Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

Annexe III

Figure 8: Description statistique des variations de concentrations cri métaux cri fonction de la litliologie des terrains.

~ Description statistique des variations de concentrations cri métaux normalisées au titane cri fonction de l'occupation du sol.

Tableau 9: Tableau explicatif du calcul des teneurs naturelles cri métaux sur le Bassin de la Seine.

ANNEXE I

Nom des stations	Nom des échantillons	Nom des cours d'eau	Ordre des ruisseaux (Strahler)	Carte I.G.N 1/100000	Carte Géologique 1/50000	Nature Géologique	Code lithologique	Superficie km ²	Densité de population hab./km ²
SE A1	EB 01	Le Prédocelle à Luroirs	2	20 B-3	Rambouillet 218	limons LP et colluvions CLP sur argiles à meulière g2a2 et sables de Fontainebleau g2a2	sab-arg	15,8	63,3
SE F2	EB 02	La Raticelle à Rochefort-en-Yvelines	1	20 B-4	Daourdan 256	alluvions F2, grès et sables de Fontainebleau g2 + limons des plateaux et meulères AU Pm	sab-arg	22,8	21,9
MA R1	ST 99 EB 03	Ru de la Noüe à Vivier	2	22 A-1	Sezanne 221	meulères de Brie et argiles q1b sur calcaire de Champigny e7	sab/cal	27,7	14,4
SE F3	ST 90 EB 04	La Noüe à la Forestière	4	22 A-1	Sezanne 223	meulères de Brie et argiles q1b sur calcaire de Champigny e7	sab/cal	38,6	0,0
AU A1	EB 05	La Bresse à Bar-sur-Aube	3	22 C-9	Deuillant-le-Château 300	calcaires (b) à (j)a	cal	33,9	15,0
AU F2	EB 06	Ruisseaux du Vallon de St Bernard à Cherveux	1	22 D-9	Deuillant-le-Château 300	calcaires (j) et j7	cal	12,3	0,0
SE A4	EB 07	La Maigne à 65e Aumont	2	22 C-4	Bouilly 333	argiles du Gault n7b2 et marnes grises n7c-d	arg	26,6	29,3
SE F5	ST 102 EB 08	Affluent de l'Hozain à Chantemerle	3	22 D-5	Bouilly 333	sables verts glauconieux n7a1-n7b1 et argiles noires n7a2	sab-arg-cal	17,8	0,0
YO A1	ST 42 EB 09	Affluent du Cousin Tern en aval de Montmandélin	2	26 C-6	Avallin 466	grès et granules	cri	7,6	3,9

SE --> Seine
MA --> Marne
AU --> Aube
YO --> Yonne
A1 --> Aisne
O1 --> Oise

A: Station sur un bassin agricole
F: Station sur un bassin forestier
R: Station sur un bassin rural

sab = Sable
arg = Argile
cal = Calcaire
cri = Cristallin
mar = Marne
gal = Galze
gré = Grès

sab-arg = nature de sable et d'argile
sab/cal = sable recouvrant du calcaire

Tableau 1. Description des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des stations	Nom des échantillons	Nom des cours d'eau	Ordre des ruisseaux (Strahler)	Carte I.G.N 1/100000	Carte Géologique 1/50000	Nature Géologique	Code lithologique	Superficie km ²	Densité de population hab./km ²
YO F2	MD 39 EB 10	Affluent de l'Yonne 1km au NE de Chandellier	2	36 A-6	Château-Chiron 124	Rhyolites	cri	5,6	0,0
YO R3	EB 11	Affluent de l'Yonne 1km à l'amont de Montcaumon	2	36 A-6	Château-Chiron 523	Rhyolites	cri	27,6	32,6
YO F4	ST 65 EB 12	La Ganche 2km au SW de Blain le Viel	3	36 B-8	Château-Chiron 124	granites	cri	17,7	0,0
YO A5	EB 13	Le Méchet à Le Reuil	3	36 B-11	Château-Chiron 523	granites, fâçades	cri	69,2	14,4
SE A6	ST 115 EB 14	Le Ravinon 2,5km à l'E d'Agny-le-Duc	2	29 F-1	Agny-le-Duc 438	calcaires et marines j1ab à j2ab	mar-cal	44,2	0,2
SE R7	ST 114 EB 15	La Conquête à Agny-le-Duc	2	29 F-1	Agny-le-Duc 438	calcaires et marines j1ab à j2ab	mar-cal	36,5	19,2
AU F3	ST 113 EB 16	Le Coupe-Chaine 2,5km en amont de Faverolles-les-Lucey	2	29 E-2	Recey sur Ource 405	calcaires argileux j2a à calcaires massifs j2b-c	cal	12,8	0,0
AU R4	ST 112 EB 17	L'Aubeite à Buxerolles	3	29 E-2	Recey sur Ource 405	calcaires argileux j2a à calcaires massifs j2b-c	cal	10,3	4,9
MA R2	ST 111 EB 18	La Suze 2km en amont de Marac	1	29 D-3	Nogent en Bassigny 372	calcaires j1a-b et j2b-c	mar-cal	31,5	7,0
MA F3	ST 110 EB 19	Ruisseau de Meron 1km au N de Friaux	2	29 B-3	Nogent en Bassigny 372	calcaires j1a-b et j2b-c	mar-cal	20,1	0,0
MA F4	ST 107b EB 20	La Joux 1km en amont de Calbul	1	23 C-2	Doulaincourt 301	crues Séquanennes j7b sur calcaires Argovien j5	cal	34,0	0,0
MA A5	ST 107a EB 21	L'Osne en amont d'Osne-le-Viel	1	23 B-2	Jonville 265	sables argileux Valangien n2 et calcaires marno-gréseux j5a	cal	15,6	0,0
MA A6	ST 106 EB 22	Ruisseau de Chevillon à Chevillon	1	23 B-2	Jonville 265	sables argileux Valangien n2 et calcaires marno-gréseux j5a	cal	20,6	0,2

Tableau 1 Description des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des stations	Nom des échantillons	Nom des cours d'eau	Ordre des ruisseaux (Strahler)	Carte I.G.N 1/100000	Carte Géologique 1/50000	Nature Géologique	Code lithologique	Superficie km ²	Densité de population hab./km ²
AU A5	M 18 EB 23	Le Metrou à Vertrieu	1	22 B-10	Wassy 254	argiles et grès Baséens nbs et cristaux de gypse nls	mar	4,5	0,0
MA A7	M 16 EB 24	Affluent du Fro à Coulangy	1	10 D-5	Châlons-sur-Maine 189	crâtes blanches du Turonien au Sénonien c3c à c4c	crâ	30,4	0,8
MA R8	M 27 EB 25	La Moivre à Pigny	2	10 D-5	Châlons-sur-Maine 189	crâtes blanches c3c et c4a à c4b	crâ	151,9	6,9
AI R1	ST 87 EB 26	Le Chenet à Moumeln-le-Grand	1	10 C-4	Reims 34	trane c7	crâ	18,6	10,8
AI F2	ST 23 EB 27	Ruisseau des étangs 2km au SE de Vienne la Ville	2	10 C-6	Verdun 35	gaize	gri	9,6	0,0
AI F3	ST 24 EB 28	Affluent de l'Aure 1km au SE de Vienne-la-Ville	2	10 C-6	Verdun 35	gaize	gri	6,3	0,0
AI F4	ST 52 EB 29	Affluent de la Biandrin 2km au NE de Vaupiais	1	10 B-9	Verdun-sur-Meuse 135	sables verts c1a et calcaires du Barras j9	sabical	4,9	0,0
AI A5	ST 25 EB 30	Affluent de la Biandrin à Vény	2	10 B-9	Verdun 35	calcaires marneux j5b et j5	mar-cal	13,3	3,8
AI A6	ST 27 EB 31	Affluent du ruisseau du Moulin à Barles-Buzancy	2	10 A-8	Verdun 110	calcaires j5 à j7 et sables argileux glauconieux à nodules phosphatés c1a-b	sabical	8,0	0,0
AI F7	ST 28 EB 32	Ruisseau de Yoncq 3km en aval de Yoncq	3	10 A-8	Raucourt et Flaba 87	argiles, marnes et calcaires j2c et j3	mar-cal	8,4	0,0
AI R8	ST 52 EB 33	Ruisseau du Fort Moulin à Oches	3	10 A-9	Raucourt et Flaba 87	marnes et calcaires à coquilles ferrugineuses j3 à j5 et gaize	mar-cal	7,7	7,0
AI R9	EB 34	Ruisseau du Fort Moulin à Breuilles-sur-Bar	3	10 A-9	Raucourt et Flaba 87	marnes et calcaires à coquilles ferrugineuses j3 à j5 et gaize	mar-cal	25,3	8,7

Tableau 1 Description des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des stations	Nom des échantillons	Nom des cours d'eau	Ordre des ruisseaux (Strahler)	Carte I.G.N 1/100000	Carte Géologique 1/50000	Nature Géologique	Code lithologique	Superficie km ²	Densité de population hab./km ²
ALA10	ST 32 EB 35	Affluent de la Vence à Laureis	3	5 D-5	Rehol 85	mares à minerais	arg-cal-mar	7,6	2,0
ALA11	ST 34 EB 36	Ruisseau de Saillies Champenoises à Saillies Champenoises	2	10 A-5	Reims 132	claire marneuse	cre	10,8	0,9
ALR12	ST 58 EB 37	Affluent du Retourne à Razy	1	10 A-3	Asfeld 108	crete e4 à e5	e3	41,8	12,0
ALR13	ST 57 EB 38	Ruisseau de Bouvancourt à Vertelay	1	9 B-10	Craonne 107	sables et grès e2b-e à calcaires et mares e5e-f	sab-arg-cal	12,2	16,4
ALF14	ST 8 EB 39	Affluent de la Vesse à Propilly	2	9 B-11	Fismes 131	sables e2c et Ee4, argiles e3 et calcaires e5a-b et e5c	cal-gré	7,5	0,0
ALF15	ST 13 EB 40	L'andre 1km en aval de Courtaignot	2	10 C-1	Avize 159	meulière de Bier et argiles e7 et sables e4 + LP	mar-cal	8,2	0,0
MA R9	M 23 EB 41	Le Brunet à Damery	3	10 C-1	Epemay 157	cretes blanches e5 à argiles Champenoises g1b	mar-cal	19,5	35,7
MA F10	ST 14 EB 42	Affluent du Flagot au Mesnil Hullier	1	9 C-10	Epemay 157	limon des plateaux g1 et Lp1	mar-cal	17,2	0,0
MA R11	ST 15 EB 43	Le Flagot à Resles-le-Repons	1	9 C-10	Epemay 157	Tulleau de Damery e5b à mares e7c + limons massifs	mar-cal	12,3	24,4
MA R12	ST 91 EB 44	Le Sumein à La Charmoye	2	10 D-1	Montréal 187	argiles siliceuses e3, sables, Curcens e4 et mares et calcaires e5 7a	arg-cal-gré	36,6	7,7

Tableau 1 Description des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des stations	Nom des échantillons	Nom des cours d'eau	Ordre des ruisseaux (Strahler)	Carte I.G.N 1/100000	Carte Géologique 1/50000	Nature Géologique	Code lithologique	Superficie km ²	Densité de population hab./km ²
MA F13	ST 54 EB 45	Affluent du Ru de Brasles 1km en amont de Brasles	2	9 C 8	Châleau-Thierry 156	maïmes et calcaires e5 à e7b, calcaires de Brie et argiles g1a-g1b + limons	arg mar-cal	3,7	0,0
MA R14	ST 82 EB 46	L'Ordreinculte à Briçy	3	9 C 8	Châleau-Thierry 156	maïmes et calcaires e5 à e7b, calcaires de Brie et argiles g1a-g1b + limons	arg mar-cal	31,1	16,1
MA A15	ST 56 EB 47	Puisseau du Pont Brûlé à Nesles	2	9 B 9	La Fère en Fardinois 130	calcaires e5b, argiles g1a et maïmes gypseuses e7a et e7b	mar-cal	13,0	0,5
OI F1	ST 6 EB 48	Ru du Ménil à Septvaux	2	9 A 7	La Fère 83	sables de Beauchamp e6 sur calcaires grossiers du Lutétien e5a	sab-cal	7,1	0,0
AI R16	ST 97 EB 49	Ru d'hozier à Daigneux	2	9 A 7	Sossoins 106	e4a à e5b Sables de Caise sur calcaires grossiers	cal	8,2	8,5
AI A17	ST 96 EB 50	Ru de Bily à St Pierre les Dirsy	1	9 A 5	Atichy 105	e4a à e5b Sables de Caise sur calcaires grossiers	cal	46,8	6,0
OI F2	EB 51	Ru du Pain Chier et des Planchettes au carrefour du Veneur 2km au N de Lacroix St Ouen	3	9 A 4	Atichy 105	sables de Bracheux e2a sur argiles du Spennacien e3 et calcaires du Thanétien	sabarg-cal	23,1	0,9
OI A3	EB 52	Affluent de Fauloumo à Voucelle	1	9 B 3	Atichy 105	sable de Bracheux e7a sur argiles du Spennacien e3 et calcaires du Thanétien	sabarg-cal	18,9	34,4
OI R4	EB 53	Affluent du Thérain à Monceau	3	8 A 11	Clermont 103	argiles de Liem et sables de Caise e4, maïmes et calcaires e5 et grès e6 + Lp	cal-gré	18,0	6,1
OI F5	ST 78 EB 54	Affluent du Thérain à Méraud	1	8 A 10	Clermont 103	calcairepseux, alluvions récentes E, F, e4, e5	cal-gré	4,5	0,0
SE R8	EB 55	Le Cambon à La Rivière	2	8 B 5	Cisors 125	craye blanche à silex e4 à e6 + alluvions F2 et colluvions C	crs	73,8	31,1
SE F9	ST 71 EB 56	Le Fousleiros 1km en amont de Lisors	1	8 A 5	Goumay 101	crs e4 à e6 et limps	crs	29,8	13,4

Tableau 1. Description des bassins forestiers, agricoles et rurs échantillonnés pour cette étude.

ANNEXE II

Nom des Stations	Code Infolocuse	Type	Nom des échantillons	Date	pH	MES (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NO2 (mg/l)	SO4 ⁻ (mg/l)	P-PO4 (µg/l)	N-NH4 (µg/l)	SiO2 (mg/l)
SE-A1	sub-arc	aurole	ES-01	26/02/96	-	66,68	38,38	10,58	0,086	37,58	463,48	1954,85	7,15
SE-F2	sub-arc	post-arc	ES-02	26/02/96	-	4,40	38,19	1,23	0,013	51,61	8,48	136,12	15,15
MA-R1	sub-cul	zonal	ST-08	28/10/92	8,10	11,89	30,21	3,78	0,039	27,20	54,25	55,22	8,37
			EB-01	26/02/96	-	15,10	31,91	8,52	0,028	22,76	75,02	158,07	9,94
SE-F3	sub-cul	post-arc	ST-09	28/10/92	8,01	143,80	15,68	3,54	0,017	30,76	145,49	56,84	5,56
			EB-01	26/02/96	-	7,40	22,10	5,92	0,001	10,51	11,78	1,54	8,50
AL-A1	cul	aurole	EB-05	28/02/96	-	51,80	9,22	0,63	0,002	16,00	21,76	1,76	5,95
AL-F2	cul	post-arc	EB-06	28/02/96	-	3,80	10,51	0,31	0,005	9,85	-	1,63	4,74
SE-A4	arc	aurole	ES-07	26/02/96	-	11,30	38,95	0,77	0,005	37,88	21,36	14,93	7,45
SE-F5	sub-arc-cul	post-arc	ST-102	10/11/92	7,69	215,90	39,47	10,49	0,008	15,39	90,21	31,92	4,78
			EB-08	26/02/96	-	10,50	9,93	0,51	0,017	18,78	10,63	26,35	13,09
YO-A1	cu	aurole	ST-42	17/01/90	7,45	38,10	6,32	0,71	-	6,32	-	-	5,70
YO-F2	cu	post-arc	ST-39	13/06/80	6,32	-	3,48	0,06	-	6,29	-	-	6,83
			EB-10	27/02/96	-	13,89	11,68	5,21	0,004	5,96	-	11,99	-
YO-F3	cu	aurole	EB-09	27/02/96	-	3,09	8,25	2,91	0,001	6,25	4,19	45,67	11,85
			EB-11	27/02/96	-	21,19	4,60	1,47	0,000	4,41	10,61	14,05	10,30
YO-F4	cu	post-arc	ST-65	13/06/80	6,86	-	2,45	0,15	-	2,30	0,00	-	6,32
YO-A5	cu	aurole	EB-12	27/02/96	-	2,00	2,64	0,63	0,004	2,57	-	-	32,49
			EB-13	27/02/96	-	7,60	2,97	0,89	0,003	4,00	6,34	8,78	11,54
SE-A6	arc-cul	aurole	ST-115	12/11/92	8,04	10,30	14,13	11,25	0,005	16,30	6,82	9,18	1,83
SE-R7	arc-cul	zonal	EB-14	27/02/96	-	10,80	2,87	3,14	0,001	10,59	-	5,47	3,43
			ST-114	12/11/92	7,99	6,30	16,09	10,61	0,001	14,39	6,32	48,08	1,74
			EB-15	27/02/96	-	6,10	10,89	6,60	0,000	10,56	10,63	35,11	3,29

Tableau 3 Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des Stations	Catégorie	Type	Nom des échantillons	Date	pH	MES (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	M-NO3 (mg/l)	M-NO2 (mg/l)	SO4 ⁻ (mg/l)	P-PO4 (µg/l)	N-NH4 (µg/l)	SiO2 (mg/l)
MA.E3	col	fosfatée	ST 113 EB 16	12/11/92 22/02/96	7,28	1,30 0,70	9,43 4,79	3,75 2,22	0,037 0,001	15,51 9,73	25,32	71,51 0,88	2,44 2,74
MA.R4	col	arsénié	ST 112 EB 17	12/11/92 22/02/96	7,03	11,00 49,80	16,71 9,25	12,26 3,21	0,034 0,003	19,62 15,93	16,12 2,05	15,16	1,63 3,30
MA.R2	oxyd. col	arsénié	ST 111 EB 18	12/11/92 22/02/96	7,29	32,00 6,00	9,57 6,38	7,14 5,11	0,011 0,001	11,17 10,42	9,92 10,63	72,38 9,06	2,42 3,41
MA.F3	oxyd. col	fosfatée	ST 110 EB 19	12/11/92 28/02/96	7,88	45,30 2,89	7,28 4,21	4,23 1,91	0,034 0,002	10,63 10,53	16,02	28,84 11,42	4,24 3,58
MA.P4	col	fosfatée	ST 107.b EB 20	12/11/92 28/02/96	7,89	3,59 0,99	8,77 2,19	5,22 1,61	0,002 0,005	9,46 4,23	11,42 2,05	25,28	2,73 3,69
MA.A5	col	arsénié	ST 107.a EB 21	12/11/92 28/02/96	7,20	2,60 1,60	9,09 7,30	6,11 4,72	0,002 0,004	9,61 9,08	3,74 2,05	27,16	1,89 4,99
MA.A6	col	arsénié	ST 106 EB 22	12/11/92 28/02/96	7,25	5,90 4,30	10,63 8,13	3,11 5,27	0,003 0,003	9,95 9,55	6,82 6,34	11,62	2,05 3,39
MA.A5	oxyd.	arsénié	ST 105 EB 23	16/01/92 02/11/92 28/02/96	6,03 7,26	3,00 41,50 21,00	17,50 29,28 11,36	7,28 8,55 4,77	- 0,051 0,009	63,95 71,16 30,55	9,92 108,09 53,55	12,46 97,16 106,26	- 9,75 7,52
MA.A7	oxyd.	arsénié	ST 104 EB 24	15/01/92 24/01/96	6,00	1,60 1,40	11,50 10,79	6,94 9,16	- 0,000	7,21 7,11	9,92 10,58	10,78 14,93	4,99 7,25
MA.B8	oxyd.	arsénié	ST 103 EB 25	14/01/94 14/07/94 16/01/92	-	3,50 -	11,29 13,24	3,25 3,25	- -	13,72 5,72	4,26 25,11	10,08 6,16	2,95 2,33
MA.B1	oxyd.	arsénié	ST 102 EB 26	16/01/92 24/01/96	7,30	4,30 8,00	14,86 3,95	5,74 1,09	0,001 -	4,91 7,34	15,23 2,05	25,47 103,16	6,20 6,18

Tableau 3. Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

Nom des Sarrins	Code Labellé	Type	Nom des échantillons	Dates	pH	AMES (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	M-ND3 (mg/l)	M-ND2 (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	P-PO4 (mg/l)	M-MH4 (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	
AL12	can	forestier	ST 21	15/12/88	8,06	-	5,11	-	-	13,12	-	-	9,81	
				21/02/82	7,80	-	6,15	0,10	-	21,27	8,03	-	-	8,29
				10/04/90	8,68	5,92	7,18	-	-	21,33	-	-	-	-
AL13	can	forestier	EP 27	28/02/96	-	19,80	7,17	1,86	0,009	19,01	12,78	37,76	22,46	
				15/12/90	7,75	-	5,13	-	-	26,31	-	-	-	10,28
				20/02/82	7,75	-	7,28	0,18	-	21,77	3,00	-	-	-
AL14	can	forestier	EP 28	10/04/90	8,89	7,70	6,82	0,22	-	20,04	-	-	10,09	
				28/10/92	8,01	27,20	8,31	1,15	0,010	18,74	11,42	21,89	27,57	
				28/02/96	-	15,10	4,38	0,99	0,002	14,03	8,48	-	-	-
AL14	sub/cul	forestier	ST 92	29/10/92	8,53	96,50	6,92	1,53	0,005	18,08	20,87	17,92	7,71	
				29/02/96	-	10,50	1,80	0,63	0,005	15,92	126,33	2,63	8,54	
				10/04/90	7,65	7,48	8,81	1,95	-	31,04	-	-	-	2,03
AL15	mar/cul	marécle	ST 25	9/01/91	7,36	117,50	11,61	0,83	0,015	14,56	-	70,84	2,61	
				29/10/92	8,53	71,10	12,51	6,48	0,019	27,15	233,01	28,84	6,10	
				29/02/96	-	15,80	13,52	5,91	0,010	10,34	75,02	4,39	7,30	
AL16	sub/cul	marécle	ST 27	11/04/90	8,32	17,20	5,75	3,01	-	11,29	-	-	3,61	
				9/01/91	7,89	99,00	6,89	3,72	0,003	7,78	-	13,12	3,21	
				29/02/92	7,88	13,80	12,50	5,17	0,011	15,14	242,75	10,82	5,79	
AL17	mar/cul	forestier	ST 31	29/02/96	-	53,60	7,64	3,19	0,009	13,20	2,03	7,90	9,78	
				11/04/90	7,88	7,02	6,46	0,10	-	32,05	-	-	-	2,89
				9/01/91	7,22	63,00	5,82	0,41	0,002	8,07	-	27,16	2,75	
AL18	mar/cul	marécle	ST 62	29/10/92	7,69	26,00	8,09	0,71	0,006	15,73	121,42	7,00	4,92	
				29/02/96	-	11,10	5,24	0,37	0,004	18,77	12,78	0,58	8,33	
				9/01/91	7,86	71,20	6,51	1,75	0,007	9,88	-	115,08	7,39	
AL18	mar/cul	marécle	EP 53	29/02/92	7,91	30,00	13,25	2,53	0,023	18,30	853,27	42,84	17,80	
				29/02/96	-	12,10	10,44	2,60	0,005	19,51	29,95	5,28	19,11	

Tableau 3. Données brutes des bassins forestiers, agricoles et marais échantillonnés pour cette étude.

Nom des Stations	Cole Lithologique	Type	Nom des échantillons	Dates	pH	ME5 (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NO2 (mg/l)	SO4 ⁻ (mg/l)	P-PO4 (µg/l)	N-NH4 (µg/l)	SiO2 (mg/l)
ALR9	mar-01	maral	EB 34	29/02/96	-	34,60	8,36	2,57	0,001	20,90	23,65	22,83	15,98
ALR10	ars-01/02/03	ars-rade	ST 32	11/01/90	8,15	7,38	6,78	0,88	-	107,39	-	-	0,84
			EB 35	8/01/91	7,46	11,49	6,96	0,80	0,002	17,92	-	12,46	2,53
ALR11	ars	ars-rade	ST 34	11/01/90	8,10	11,16	17,61	2,45	-	13,69	-	-	3,15
			EB 36	8/01/91	7,85	10,20	28,40	8,53	0,003	13,28	-	13,16	4,05
ALR12	ars	arsal	ST 38	29/02/96	-	9,29	23,82	8,77	0,009	16,08	2,05	0,88	7,12
			EB 37	8/01/91	7,35	40,20	21,20	1,94	0,007	18,21	-	16,38	5,68
ALR13	ars-ars-01	arsal	ST 37	29/02/96	-	0,70	17,98	3,13	0,007	8,34	-	-	8,35
			EB 38	7/01/91	7,85	141,50	37,91	3,73	0,023	65,68	-	48,16	12,79
ALR14	ars-02	ars-rade	ST 38	30/10/92	8,22	6,60	36,71	6,10	0,009	58,28	118,11	40,91	13,77
			EB 39	15/01/96	-	12,70	42,08	7,61	0,013	54,46	17,55	590,11	21,32
ALR15	ars-01	ars-rade	ST 38	10/01/90	7,60	1,75	26,77	0,42	-	35,77	-	-	9,05
			EB 40	7/01/91	-	5,80	23,69	0,13	0,003	87,69	-	18,84	10,12
MA.R9	ars-01	ars-rade	ST 13	15/01/96	-	3,60	30,80	1,59	0,000	70,18	19,87	254,67	19,86
			EB 41	30/01/90	7,37	3,20	15,14	0,13	-	29,91	-	-	4,24
MA.F10	ars-01	ars-rade	ST 14	15/01/96	-	3,40	16,32	0,13	-	31,35	12,90	26,35	11,55
			EB 42	24/04/91	-	-	25,21	1,65	-	70,78	209,87	4,62	3,01
			EB 43	22/03/91	-	-	29,20	6,30	-	64,15	349,09	65,38	6,32
			EB 44	16/01/92	8,48	7,60	27,09	3,29	-	82,79	196,85	474,46	5,90
			EB 45	23/01/96	-	48,90	26,18	4,43	-	145,61	10,38	13,17	16,69
MA.F10	ars-01	ars-rade	ST 14	30/01/90	7,23	3,30	15,30	0,25	-	22,73	-	-	4,24
			EB 46	29/01/91	7,95	24,80	14,20	1,53	0,004	12,73	-	17,92	3,68
			EB 47	11/03/91	8,14	23,00	15,58	0,67	0,003	13,60	-	33,46	4,29
			EB 48	24/01/96	-	8,40	19,24	1,09	-	7,56	17,53	17,62	13,31

Tableau 3. Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

Nom des Stations	Code Lithologique	Type	Nom des échantillons	Dates	pH	ME5 (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	M-MO3 (mg/l)	M-MO2 (mg/l)	SD4 - (mg/l)	P-P04 (µg/l)	M-MH4 (µg/l)	S-SO2 (mg/l)
MA.R11	arg. mar. col.	séd.	ST 15	30/03/90	7,41	2,31	16,05	5,36	-	20,33	-	-	8,77
				7/01/91	8,88	21,10	7,03	0,094	18,23	-	68,62	10,26	
				23/04/91	-	9,30	36,90	3,40	-	20,33	0,91	7,84	7,25
				27/07/91	-	-	18,60	5,81	-	21,15	69,14	20,50	6,54
				21/09/91	6,07	15,60	14,30	2,99	0,039	24,94	147,55	46,62	6,96
MA.R12	arg. mar. col.	séd.	EB 43	16/01/92	8,11	16,00	15,30	3,43	-	20,33	76,88	31,08	9,33
				24/01/96	-	7,60	32,46	6,06	0,016	22,62	134,33	294,19	21,08
MA.F13	arg. mar. col.	preserv.	ST 54	28/10/92	7,85	13,30	26,12	2,53	0,013	19,36	90,52	17,08	8,91
				25/01/96	-	9,90	23,71	2,65	0,030	16,66	17,53	31,25	13,92
				7/02/91	8,72	13,90	13,95	0,22	0,032	18,45	-	7,89	6,09
				24/04/91	-	1,50	15,90	0,17	-	31,86	4,96	6,16	5,15
				24/07/91	-	-	18,11	0,48	-	35,65	14,88	9,38	9,89
MA.R14	arg. mar. col.	séd.	ST 62	21/08/91	7,62	2,30	14,31	0,34	-	18,01	12,71	11,62	9,50
				16/01/92	8,21	9,30	17,19	0,54	-	31,26	71,92	7,84	15,03
				24/01/96	-	16,30	16,23	0,33	0,031	26,82	15,23	56,91	16,29
				24/01/96	-	16,30	16,21	0,33	0,033	26,82	15,23	56,91	16,29
				26/11/91	7,89	2,33	40,65	3,72	0,027	63,23	85,87	72,38	3,07
MA.A15	arg. col.	séd.	EB 46	30/10/92	7,93	4,30	17,11	2,21	0,035	19,40	933,72	243,46	6,10
				25/01/96	-	3,60	17,97	7,19	0,038	54,72	73,26	135,24	13,89
				7/01/91	-	13,60	21,41	8,93	-	41,37	-	46,38	11,58
OZ.F1	séd.	preserv.	ST 6	10/10/92	8,11	5,20	34,36	5,73	0,021	48,87	215,76	8,54	1,02
				4/11/92	8,08	8,60	15,19	0,36	0,035	23,30	687,66	241,08	8,13
			EB 48	29/02/96	-	3,70	11,98	0,82	0,032	23,62	8,48	242,38	11,93
					-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 3 Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux cédant l'eau pour cette étude.

Nom des Sarrises	Code Inhalatoire	Type	Nom des échantillons	Dates	pH	MES (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NO2 (mg/l)	SO4 ⁻ (mg/l)	P-PO4 (µg/l)	N-NH4 (mg/l)	SO2 (mg/l)
M.R.16	col	minéral	ST 97	4/14/92	8,46	9,20	25,16	5,07	0,016	43,48	41,47	96,08	8,82
			EB 49	29/02/96	-	24,93	21,68	5,51	0,022	47,13	8,48	45,67	41,99
M.A.17	col	aquaide	ST 96	4/14/92	6,33	12,80	17,71	3,89	0,015	26,12	-	21,00	7,42
			EB 50	1/03/96	-	40,92	14,60	3,93	0,010	25,02	6,34	37,76	9,55
OL.12	sol/aq, col	potassée	EB 51	1/03/96	-	18,89	22,96	0,91	0,036	77,40	81,60	88,70	10,99
OL.13	sol/aq, col	nausele	EB 52	1/03/96	-	11,00	11,92	1,78	0,001	54,74	8,48	50,06	12,78
OL.14	col/aq	minéral	EB 53	1/03/96	-	25,40	27,41	4,35	0,012	50,67	-	83,43	14,60
OL.15	col/aq	potassée	ST 78	24/04/91	7,89	4,40	18,07	1,23	0,011	36,43	-	191,40	5,20
			EB 54	1/03/96	-	15,10	21,57	2,65	0,023	34,06	57,85	691,11	9,32
SE.18	cau	minéral	EB 55	1/03/96	-	8,80	15,74	5,08	0,004	9,08	25,65	46,69	15,20
SE.19	cau	potassée	ST 71	24/04/91	8,23	7,00	11,20	1,51	0,019	7,74	-	105,60	9,27
			EB 56	1/03/96	-	26,30	12,20	1,29	0,002	5,81	11,28	46,69	15,26

Tableau 3. Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude

Nom des Stations	Catégorie	Type	Nom des Échantillons	% Na2O dans	% K2O les	% CaO sol	% MgO events	Ti %	Ca (ppm)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)
SE-A1	sol-ars	arsenic	EB-01	1,01	3,47	0,05	0,27	0,33	45,5	128	5,47	9,85	15,1	29,7	< 1,11	34,1
SE-F2	sol-ars	forestier	EB-02	1,07	3,47	2,18	0,04	0,22	33,9	251	5,54	12,0	9,20	115	< 1,11	30,3
MA-R1	sol/cul	arsenic	EB-03	1,05	3,28	0,30	0,18	0,32	51,0	324	5,01	< 9,14	5,70	15,8	< 1,11	16,3
SE-F3	sol/cul	forestier	EB-04	1,01	3,55	0,09	0,48	0,36	66,1	294	14,2	24,7	8,38	23,0	< 1,11	23,4
AU-A1	oil	arsenic	EB-05	0,22	3,26	17,72	-	0,18	42,5	213	6,13	16,7	135	496	< 1,11	26,3
AU-F2	oil	forestier	EB-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SE-A4	ars	arsenic	EB-07	0,36	2,58	18,16	0,21	0,22	17,8	138	11,0	28,4	96,6	394	< 1,11	21,8
SE-F5	sol-ars, cul	forestier	EB-08	0,44	1,74	0,29	0,09	0,11	69,3	296	8,91	11,6	23,1	116	< 1,11	18,0
YO-A1	ars	arsenic	EB-09	1,07	10,75	-	0,24	0,40	47,6	882	8,98	14,2	23,6	135	< 1,11	45,0
YO-F2	ars	forestier	EB-10	1,08	8,59	0,49	-	0,38	23,2	867	8,47	< 9,14	84,7	160	< 1,11	63,2
YO-R3	ars	arsenic	EB-11	1,08	9,37	0,29	0,01	0,33	19,3	109	3,86	< 9,14	23,2	144	< 1,11	31,9
YO-F4	ars	forestier	EB-12	1,07	6,38	0,58	-	0,23	28,9	1034	8,10	13,4	99,9	136	3,09	145
YO-A5	ars	arsenic	EB-13	1,08	9,04	0,42	0,18	0,36	32,5	461	6,13	16,7	89,3	430	1,73	84,3
SE-A6	ars, oil	arsenic	EB-14	0,40	2,55	55,11	0,00	0,23	52,3	277	7,22	18,2	90,3	197	< 1,11	21,9
SE-R7	ars, oil	arsenic	EB-15	0,74	2,58	33,01	0,40	0,23	55,6	391	7,89	16,8	116	540	1,36	12,3
AU-F3	oil	forestier	EB-16	0,19	3,21	33,71	0,28	0,16	44,8	351	5,92	12,6	38,3	127	< 1,11	16,1
AU-R4	oil	arsenic	EB-17	0,37	2,70	31,96	0,79	0,22	58,5	319	7,48	15,7	33,7	132	< 1,11	19,3
MA-R2	ars, cul	arsenic	EB-18	0,34	2,74	16,12	0,01	0,28	21,1	395	9,36	21,7	35,8	211	< 1,11	27,1
MA-F3	ars, cul	forestier	EB-19	0,33	2,21	26,91	0,03	0,22	54,6	203	5,92	10,5	29,2	115	< 1,11	30,1
MA-F4	oil	forestier	EB-20	0,43	2,03	30,86	0,01	0,19	33,3	244	5,87	17,6	46,4	154	< 1,11	16,2
MA-A5	oil	arsenic	EB-21	0,58	2,45	20,89	0,19	0,14	42,5	386	7,63	11,3	39,4	133	< 1,11	61,7
MA-A6	oil	arsenic	EB-22	0,46	1,69	29,12	0,05	0,20	31,5	245	5,90	< 9,14	14,8	57,6	< 1,11	14,0
AU-A5	ars	arsenic	EB-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA-A7	ars	arsenic	EB-24	0,40	1,43	16,35	-	0,11	24,4	186	4,42	< 9,14	11,7	32,4	< 1,11	8,58
MA-R8	ars	arsenic	EB-25	0,47	1,26	39,59	-	0,11	24,3	215	4,18	< 9,14	16,1	33,6	< 1,11	17,4
AU-R1	ars	arsenic	EB-26	0,31	0,79	39,62	0,18	0,10	25,1	284	5,63	9,92	40,6	239	1,55	14,2
AU-F2	ars	forestier	EB-27	0,50	2,82	0,16	-	0,01	3,1	15	0,91	< 9,14	8,17	689	< 1,11	1,07

Tableau 3. Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

Noms des Stations	Code lithologique	Type	Noms des échantillons	% Na2O Dans	% K2O les	% CaO sels	% MgO normés	Tr %	Ca (ppm)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Al (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	FS (ppm)
ALF3	sat	forestière	EB 28	0,73	2,55	0,44	0,38	0,36	46,9	99	3,84	< 9,14	11,7	50,3	< 1,11	12,1
ALF4	sub/cal	forestière	EB 29	0,54	2,06	11,31	0,27	0,35	80,3	301	12,5	< 9,14	14,0	50,7	< 1,11	19,9
ALF5	mar/cal	marécage	EB 30	0,91	3,89	14,45	0,21	0,37	64,5	399	10,2	< 9,14	13,5	31,2	< 1,11	19,9
ALF6	sub/cal	marécage	EB 31	1,02	3,16	6,43	0,50	0,35	54,0	229	7,26	< 9,14	15,0	32,4	< 1,11	20,7
ALF7	mar/cal	forestière	EB 32	1,04	3,57	0,21	0,45	0,40	60,8	485	9,64	< 9,14	12,0	40,7	< 1,11	16,9
ALF8	mar/cal	rural	EB 33	1,45	3,68	5,58	0,56	0,31	45,7	329	5,55	14,9	2,62	51,2	< 0,98	17,7
ALF9	mar/cal	rural	EB 34	0,16	1,20	3,05	0,26	0,36	62,7	504	7,95	18,9	8,09	60,1	< 0,98	18,1
ALF10	mar/cal-mar	marécage	EB 35	0,90	3,48	1,66	0,55	0,41	65,8	214	5,76	15,7	12,7	55,0	< 0,98	24,4
ALF11	cer	marécage	EB 36	0,45	4,37	29,22	0,36	0,16	27,4	210	3,91	13,9	9,31	51,5	< 0,98	13,2
ALF12	cer	rural	EB 37	0,45	1,29	24,74	0,30	0,15	17,8	299	9,49	26,4	29,4	91,7	< 0,98	35,3
ALF13	sub-mar/cal	rural	EB 38	0,71	2,62	7,90	0,38	0,28	45,5	306	4,04	7,28	8,04	35,2	< 0,98	12,2
ALF14	cal-arg	forestière	EB 39	0,53	2,09	9,44	0,45	0,23	47,1	357	4,07	8,51	11,6	61,9	< 0,98	20,4
ALF15	mar/cal	forestière	EB 40	0,98	1,87	0,19	0,17	0,44	64,5	767	9,10	18,5	15,5	61,4	< 0,98	23,7
MAF9	mar/cal	rural	EB 41	0,19	1,74	18,77	0,47	0,23	47,6	390	7,85	18,3	12,2	115	< 0,98	45,1
MAF10	mar/cal	forestière	EB 42	1,02	3,12	18,86	1,68	0,28	43,0	396	6,45	15,9	12,2	36,7	< 0,98	14,4
MAR11	mar/cal	rural	EB 43	1,10	2,82	3,67	1,24	0,28	42,9	477	8,17	14,1	63,5	72,1	< 0,98	22,9
MAR12	mar/cal-gal	rural	EB 44	1,19	3,54	0,26	0,26	0,43	69,8	1406	13,6	27,2	19,8	98,5	< 0,98	42,5
MAF13	mar-mar/cal	forestière	EB 45 Aa	0,77	1,64	10,69	2,40	0,28	53,8	612	10,4	27,5	19,0	61,7	< 0,98	25,1
MAF13	mar-mar/cal	forestière	EB 45 Ab	0,56	0,76	22,14	1,97	0,26	46,8	527	10,2	27,2	26,0	133	< 0,98	40,0
MAF14	mar-mar/cal	rural	EB 46	1,41	2,69	3,06	0,68	0,37	52,6	309	6,97	17,5	34,3	241	< 0,98	66,9
MAF15	mar/cal	marécage	EB 47	1,75	3,41	2,77	0,59	0,40	56,3	375	7,96	16,2	16,6	42,4	< 0,98	18,1
OUF1	sub/cal	forestière	EB 48	0,91	2,77	1,02	0,09	0,27	42,4	179	3,65	6,04	11,4	38,6	< 0,98	15,0
ALF16	cal	rural	EB 49	1,31	3,65	1,52	0,21	0,31	36,7	425	5,1	10,10	12,1	31,1	< 0,98	11,5
ALF17	cal	marécage	EB 50	1,70	2,71	2,19	0,15	0,38	51,7	268	3,59	6,85	10,9	20,9	< 0,98	10,2
OUF2	sub-mar/cal	forestière	EB 51	0,28	1,44	2,15	-	0,30	35,2	101	2,91	< 4,96	9,10	14,7	< 0,98	7,77
OUF3	sub-mar/cal	marécage	EB 52	1,15	1,65	4,59	1,70	0,27	40,7	301	2,61	5,18	10,1	18,0	< 0,98	7,95

Tableau 3 Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantonnés pour cette étude.

Nom des Sapines	Code Lithologique	Type	Nom des échantillons	% Na2O dans	% K2O lec	% CaO s&h	% MgO normé	Tr %	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)
OUA	col_cer	total	EB 53	1,06	2,02	0,09	0,71	0,14	25,9	217	2,53	< 4,96	7,33	23,9	< 0,98	11,7
OUF	col_cer	première coupé	EB 54	0,27	2,85	7,53	1,66	0,08	14,9	584	2,00	< 4,96	1,38	39,5	< 0,98	6,61
SE.R8	cre		EB 55	0,92	2,91	2,15	0,15	0,50	58,0	158	2,82	6,42	12,3	27,2	< 0,98	15,0
SE.P9	cre	première	EB 56	0,65	2,92	7,90	0,17	0,28	32,9	128	2,63	5,57	10,1	26,9	< 0,98	15,4
SAB 1				-	-	-	4,38	0,13	26,6	224	11,5	24,9	50,9	48,4	< 1,11	38,4
SAB 2				-	1,80	0,90	4,58	0,12	27,3	228	11,8	27,0	53,0	48,7	< 1,11	40,8
SAB 3				3,03	-	8,19	-	0,11	24,2	201	10,1	23,3	45,7	39,0	< 1,11	35,9
SAB 4				3,05	1,71	8,17	4,05	0,13	26,8	217	11,0	28,9	51,8	60,3	1,04	39,4
SAB 5				-	-	-	-	0,13	27,4	220	11,3	28,2	54,1	60,1	1,19	37,6
SAB 6				3,01	1,91	8,22	-	0,13	27,6	219	11,2	28,7	55,5	61,9	1,07	41,1
SEB1				2,99	1,66	8,18	4,94	0,16	40	261,3	11,8	29	66	74	(0,73)	38

Tableau 3 Données brutes des bassins forestiers, agricoles et ruraux échantillonnés pour cette étude.

ANNEXE III

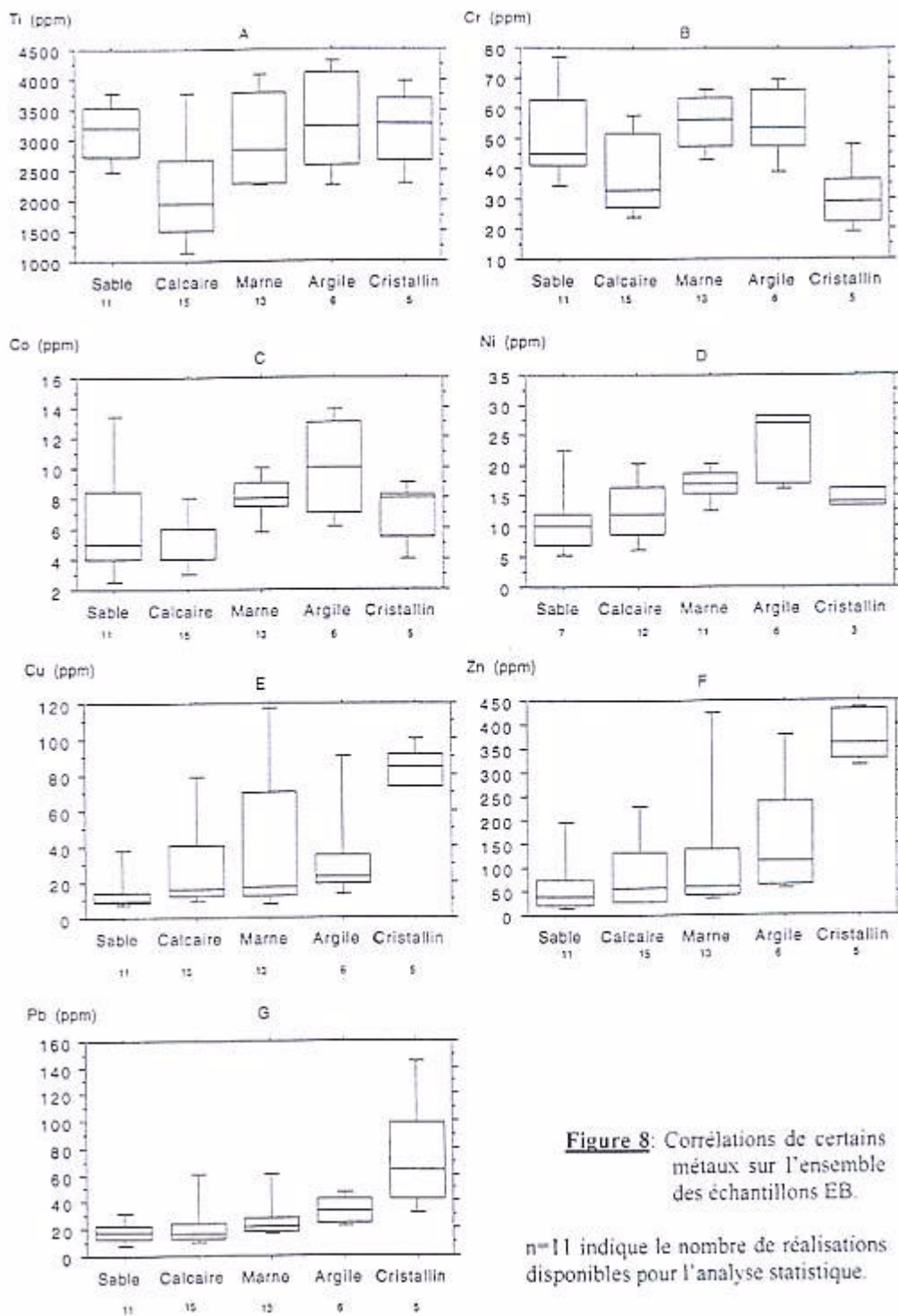


Figure 8: Corrélations de certains métaux sur l'ensemble des échantillons EB.

n=II indique le nombre de réalisations disponibles pour l'analyse statistique.

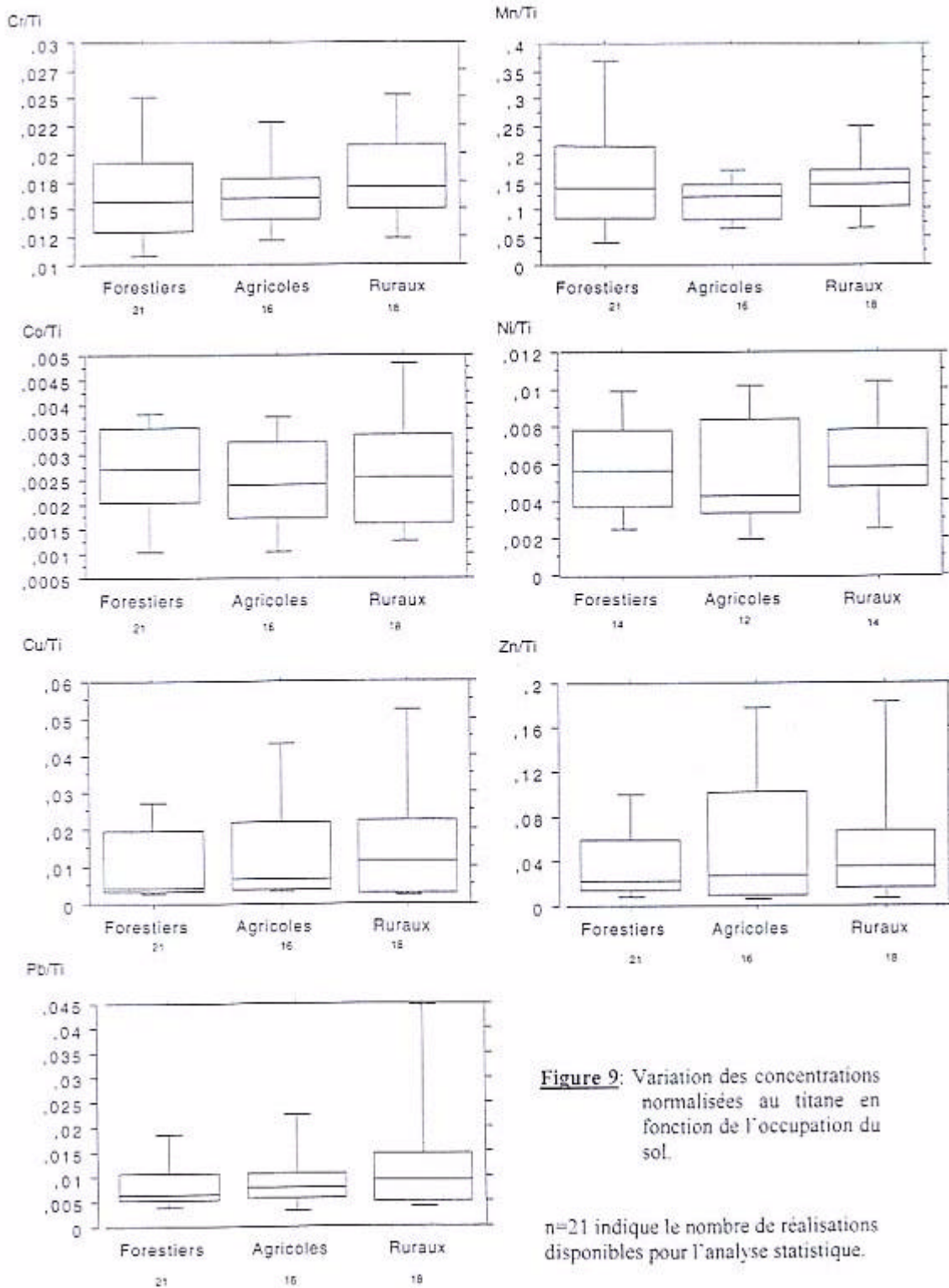


Figure 9: Variation des concentrations normalisées au titane en fonction de l'occupation du sol.

n=21 indique le nombre de réalisations disponibles pour l'analyse statistique.

	Calcaires & Craies	Calcaire-gréseux	Argiles	Sables	Marnes	Roches Cristallines	Gaize	
Zn ppm	1490	1600	2570	2727	2288	2655	1950	Valeur des quantiles à 25%
Cd ppm	27	31	47	41	48	22	25	
Mn ppm	224	471	309	233	364	395	63	
Co ppm	4	3	7	4	8	5	2	
Ni ppm	9	-	17	7	15	13	-	
Cu ppm	12	16	19	8	12	74	10	
Zn ppm	28	51	65	21	42	330	14	
Pb ppm	13	14	24	12	18	42	7	
Proportion de la nature lithologique / Bassin de la Seine en %	52%	21%	11,4%	7,6%	4,6%	2,6%	0,8%	TOTAL
Zn ppm	774,8	336,0	293,0	207,3	105,2	69,0	15,6	1801
Cd ppm	14,0	6,5	5,4	3,1	2,2	0,6	0,2	32
Mn ppm	116,5	98,9	35,2	17,7	16,7	10,3	0,504	296
Co ppm	2,1	0,6	0,8	0,3	0,4	0,1	0,016	4
Ni ppm	4,7	-	1,9	0,5	0,7	0,3	-	8
Cu ppm	6,2	3,4	2,2	0,6	0,6	1,9	0,08	15
Zn ppm	14,6	10,7	7,4	1,6	1,9	8,6	0,112	45
Pb ppm	6,8	2,9	2,7	0,9	0,8	1,1	0,056	15

Tableau 9. Tableau explicatif du calcul des teneurs naturelles en métaux sur l'ensemble du Bassin de la Seine.