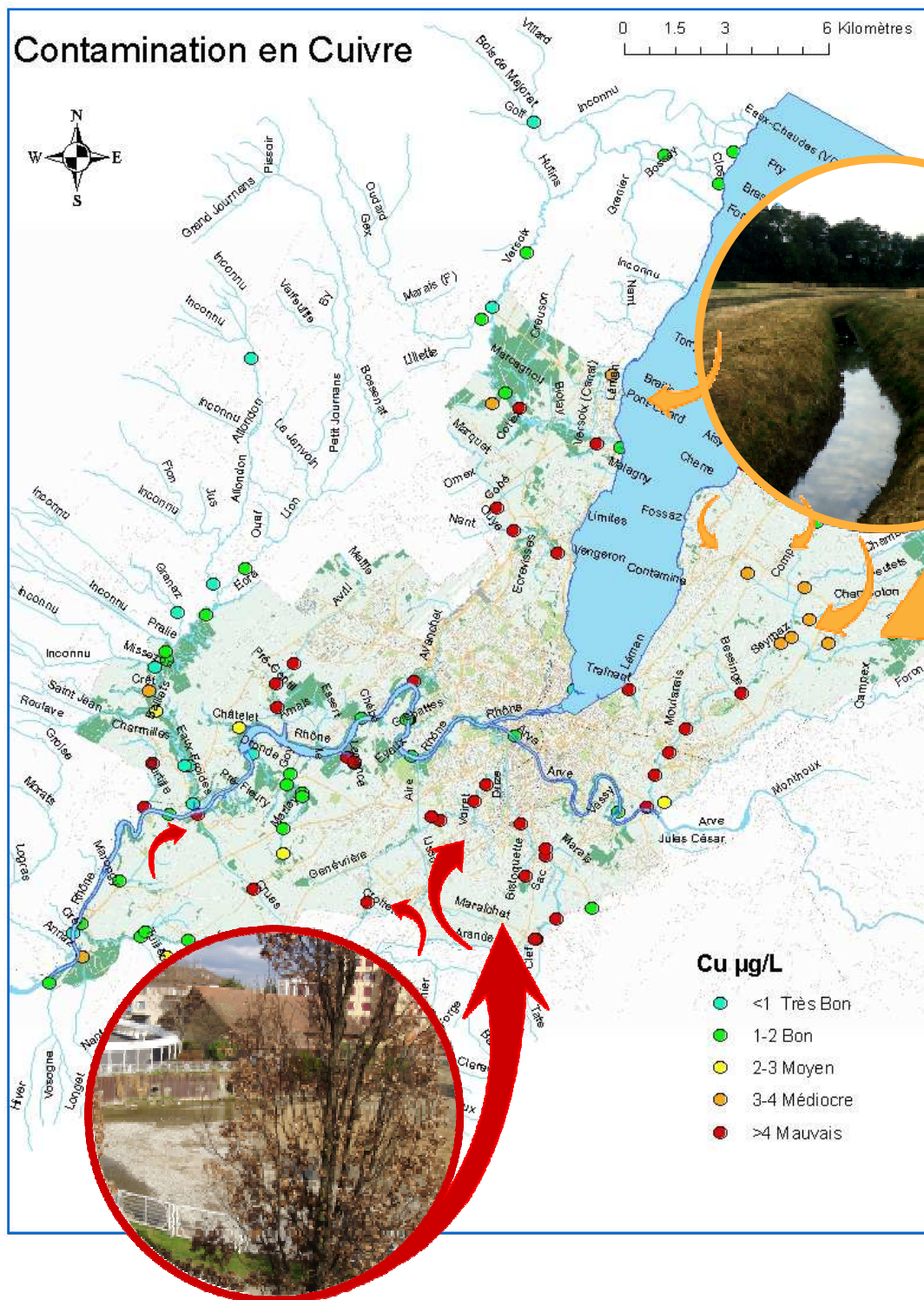


CONTAMINATION DES EAUX DU CANTON DE GENEVE PAR LE CUIVRE :

CARACTERISATION DES SOURCES



Novembre 2008



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

Elaboration

- Service de l'écologie de l'eau (SECOE)

Rédaction

- Pascale Nirel
- François Pasquini

Crédit photographique

- SECOE

Pour obtenir ce document

- Internet : http://etat.geneve.ch/dt/eau/qualite_rivieres-80-736.html

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission, le service de l'écologie de l'eau (SECOE) effectue un contrôle et un suivi de la qualité des eaux de surface du canton de Genève. Sur la base de ses observations, il établit un diagnostic de l'état du cours d'eau par référence aux objectifs et exigences légales (OEaux, 1998). Il tente d'établir l'origine des pollutions observées et propose les mesures d'assainissement.

Le but de ce travail est de faire un bilan au niveau cantonal des pollutions en cuivre dans les eaux de surface et d'en déterminer les sources afin de proposer les mesures d'assainissement adéquates.

1. Généralités

Le cuivre est un métal aux usages multiples dans de nombreux domaines : les transports, la fabrication des monnaies, le transport de l'électricité, le bâtiment (toitures, décoration..) et l'agriculture (fongicide, algicide).

Si le cuivre est, à très faible dose, un oligo-élément indispensable à la vie, à des doses plus élevées il présente une action toxique très importante sur les algues et mousses. Comme c'est un produit non biodégradable, il peut s'accumuler et finir par atteindre des taux toxiques.

Son origine dans les eaux est très diverse, outre les teneurs naturelles provenant principalement des roches et des retombées atmosphériques, son usage par l'homme provoque des rejets dans l'environnement. Ces rejets peuvent être ponctuels (, rejets d'usine....) ou diffus suite au lessivage par les pluies des sols, routes et toitures (TDC environmental report, 2004).

2. Méthode, résultats et interprétations

Le service effectue des prélèvements d'eau mensuels instantanés qui sont analysés au laboratoire. Le cuivre dissous fait partie des paramètres analysés (voir annexe 1) et nous utilisons une grille d'appréciation de la pollution métallique répartie en 5 classes selon l'approche du module chimie du système modulaire gradué (OFEFP, 1998):

Etat	Cu µg/L
Très Bon	<1
Bon	1-2
Moyen	2-3
Médiocre	3-4
Mauvais	>4

2.1 Etat des lieux

Si l'on considère les résultats les plus récents obtenus sur les stations étudiées (105 stations correspondant à 59 cours d'eau), les classes de qualité pour le cuivre se répartissent comme présenté figure 1.

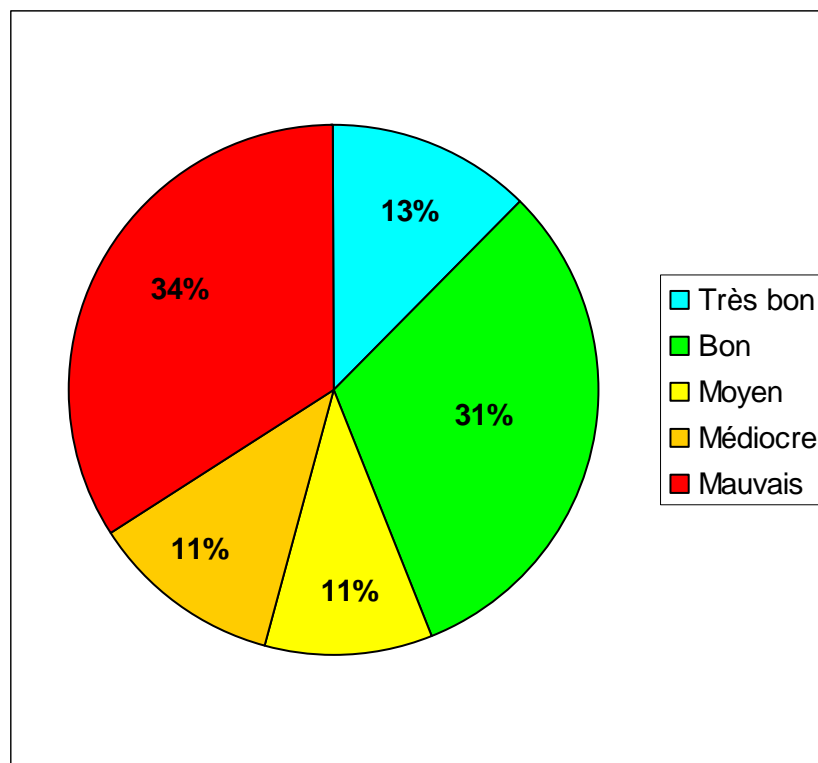


FIGURE 1 : RÉPARTITION DES STATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES CLASSES DE QUALITÉ POUR LE CUIVRE

Il faut noter que 56% des stations ne satisfont pas aux exigences de l'ordonnance fédérale pour la protection des eaux. La situation n'est donc pas satisfaisante et il s'agit d'identifier et différencier les sources de cuivre.

Une première approche consiste à représenter spatialement la situation (Figure 2). On constate que certains cours d'eau sont particulièrement touchés : l'Aire, la Drize, la Seymaz en particulier la zone aval, le nant d'Avril, le ruisseau des Charmilles, le Vengeron, le nant de Trainant, le nant d'Aisy, l'Avanchet et le Nant des Crues.

La plupart des stations fortement polluées sont situées en zone urbaine et dans la partie aval du cours d'eau.

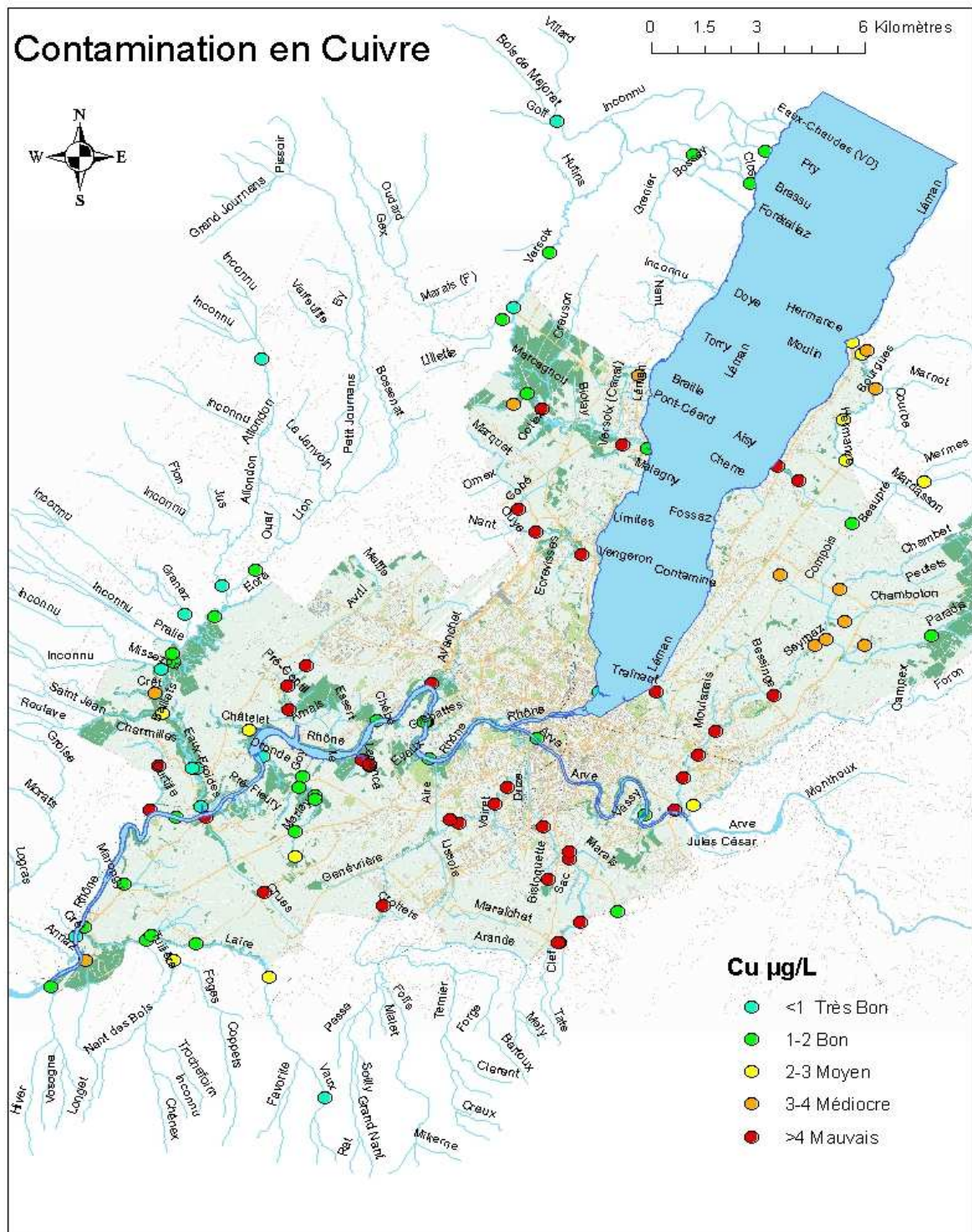


FIGURE 2 : CONTAMINATION PAR LE CUIVRE DES EAUX DU CANTON DE GENÈVE. ETAT 2007.

2.2 ANALYSE SPATIALE

Pour différencier les sources de pollution par le cuivre il faut les identifier puis les caractériser (Thevenot et al, 2007) Les deux premières sources suspectées sont la zone urbaine (toitures, chenaux et décors urbains métalliques) et la zone agricole (en particulier la viticulture grande utilisatrice de cuivre). En première hypothèse, on peut penser qu'en zone urbaine le cuivre sera accompagné d'autres métaux. De nombreux travaux (Biger, 1996; Turer et al., 2001; Hergren et al, 2005) montrent une bonne corrélation cuivre /zinc.

L'interprétation des résultats du Zn se fait selon la grille suivante :

Etat	Zn µg/L
Très Bon	<2.5
Bon	2.5-5
Moyen	5-7.5
Médiocre	7.5-10
Mauvais	>10

La figure 3 montre que la répartition du Zn entre les différentes classes est très contrastée par rapport au Cu avec "seulement" 29% des stations ne satisfaisant pas aux exigences de l'OEaux. Le contraste entre les répartitions du cuivre et du zinc dans les différentes classes de pollution est notable, et on voit que la contamination par le zinc sur le canton est relativement moins problématique que la contamination en cuivre

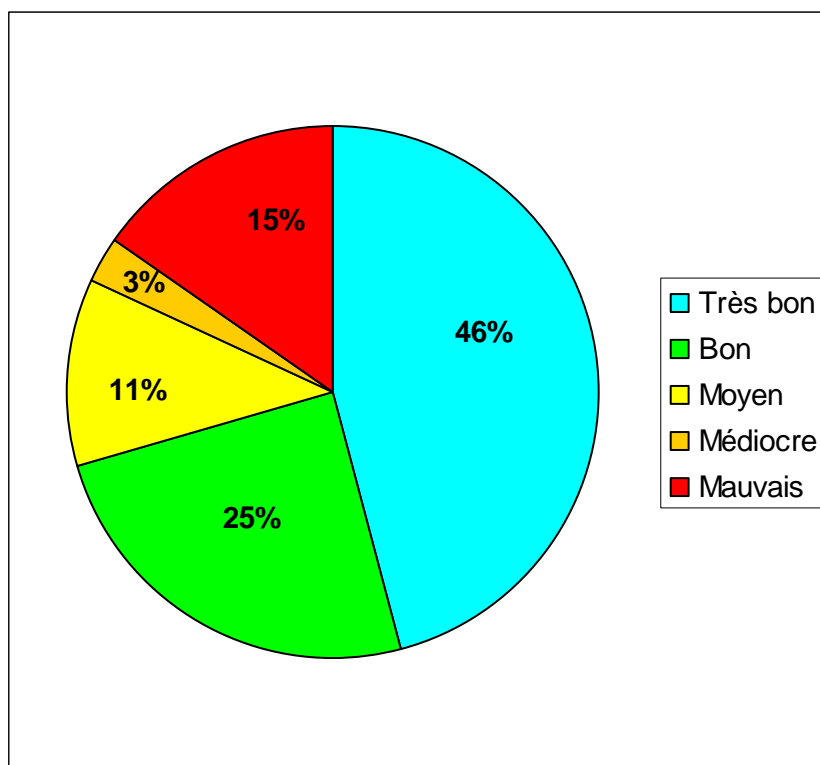


FIGURE 3 : RÉPARTITION DES STATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES CLASSES DE QUALITÉ POUR LE ZINC

Afin de déterminer s'il existe des sources communes de cuivre et de zinc (qui permettrait de confirmer l'hypothèse d'une "cogénération" en milieu urbain) et de les localiser

nous considérerons les relations entre les contaminations en cuivre et en zinc dans les différentes zones. Une approche SIG (système d'information géographique) est ici particulièrement efficace.

La figure 4 compare la contamination en cuivre et en zinc dans les différentes stations.

On note que les teneurs en cuivre et zinc sont simultanément élevées à l'aval des cours d'eau (Aire, Drize, Vengeron) en zone urbaine (nant d'Avril, Seymaz) ou sous l'influence des rejets de STEP (Crues, nant d'Aisy).

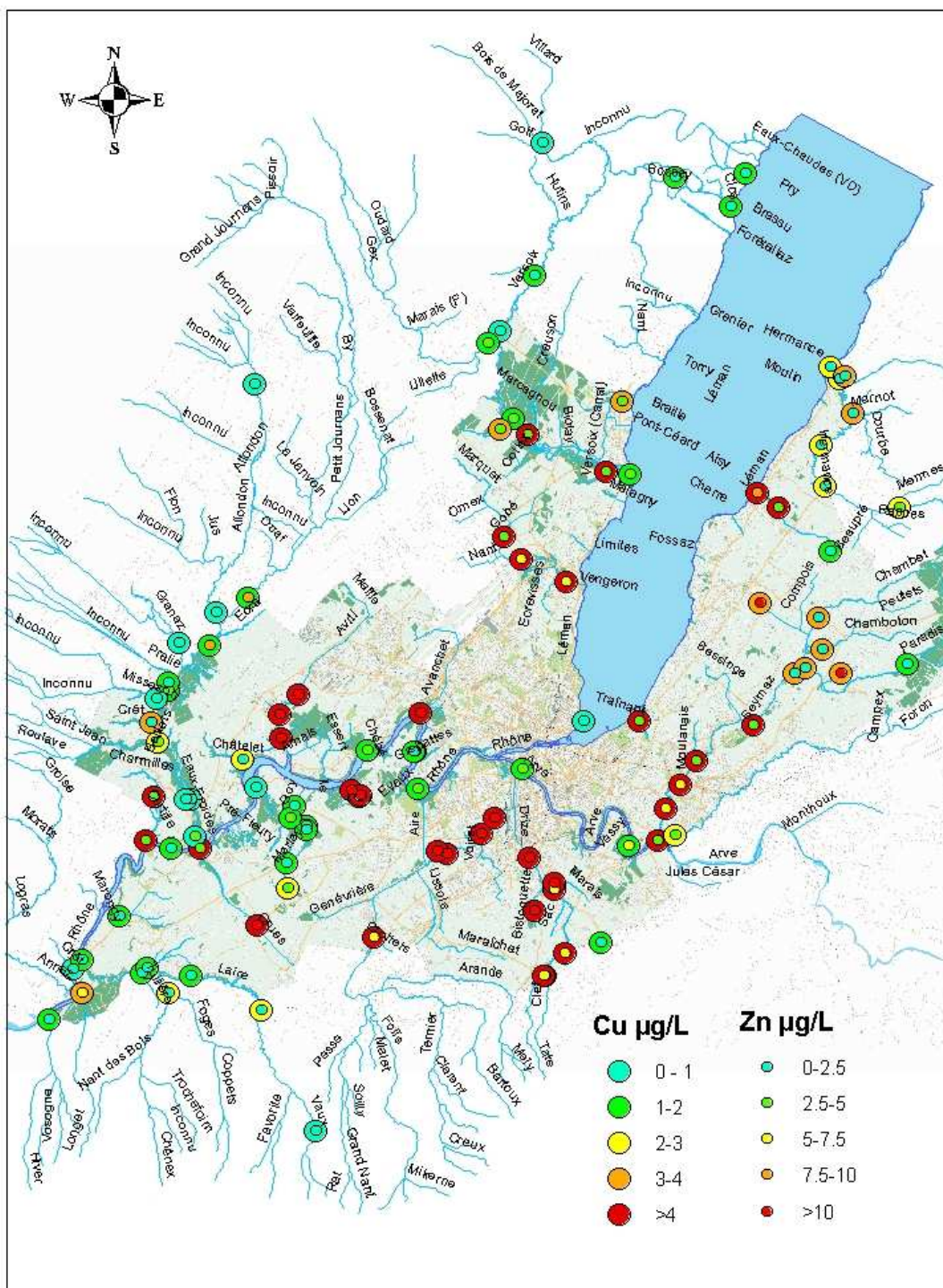


FIGURE 4: COMPARAISON DES CONTAMINATIONS EN CUIVRE ET EN ZINC DANS LES EAUX. ETAT 2007.

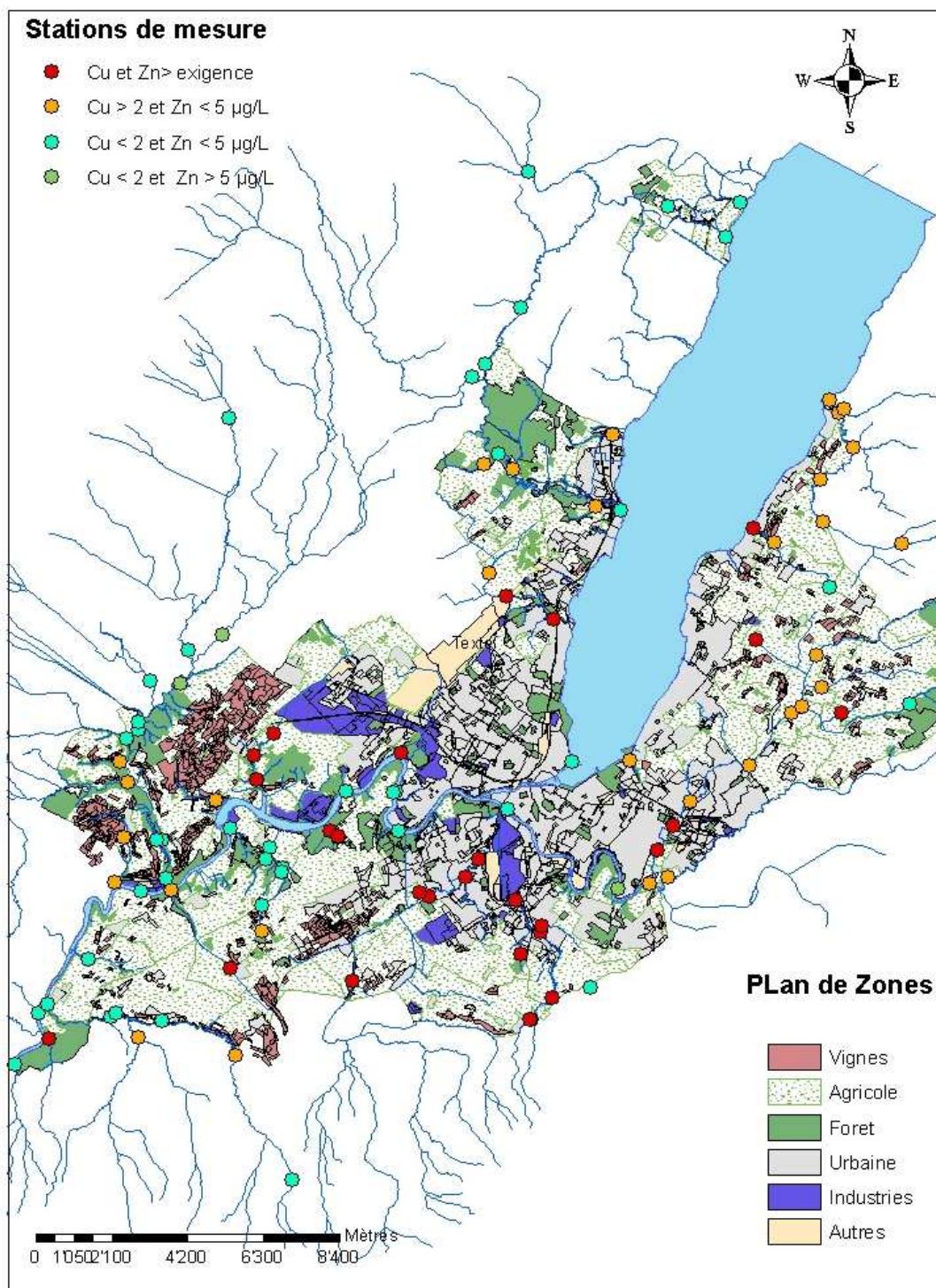


FIGURE 5 : ÉTAT DE POLLUTION DES STATIONS EN FONCTION DE LA CONTAMINATION EN CUIVRE ET ZINC PAR RÉFÉRENCE AUX EXIGENCES DE L'OEUX. ÉTAT 2007.

On a pu déterminer 4 types de situations :

- ni le Cu, ni le Zn ne satisfont les exigences (28 stations sur 105 soit 26.5% des cas)
- le Cu ne satisfait pas à l'exigence mais le Zn est bon (31 stations sur 105 soit 29.5 % des cas)
- le Cu et le Zn satisfont aux exigences (43 stations sur 105 soit 41% des cas),
- le Cu est bon mais le Zn dépasse l'exigence (3 stations sur 105 soit 3% des cas),

Notre hypothèse de travail est qu'en cas de pollution, les différentes situations correspondent à des sources différentes.

La figure 5 montre que les zones satisfaisant aux exigences en Cu et Zn (bleues) se situent sur les "gros" systèmes (Rhône, Arve, Versoix, Allondon), dans les zones moins anthropisées comme les têtes de bassin (Paradis, Aisy) ou la rive gauche du Rhône à la sortie du canton (Laire, Goy Merley).

3 stations satisfont les exigences en Cu mais pas en Zn, il s'agit des stations situées directement à l'aval des rejets des STEP françaises du Journan et de Saint-Genis (qui seront fermées dans les années à venir) et de la station Vessy sur l'Arve. L'explication de ce phénomène nécessiterait des investigations spéciales.

Mais dans le contexte présent, ce sont surtout la comparaison des stations contaminées en cuivre avec les stations contaminées en cuivre et en zinc qui nous intéressent.

Si l'on considère les 28 stations contaminées en Cu et Zn présentées figure 6, elles sont en majorité situées en zone urbaine et industrielle ou à l'aval de STEP. Seules 6 stations, Abbaye de Presinge et les stations situées dans les parties amont de l'Aire et de la Drize dérogent à cette règle. Dans ce cas, la contamination peut provenir d'une source non identifiée à l'amont (France). Concernant l'Abbaye de Presinge, il faut s'orienter vers une contamination locale (activité agricole spéciale par exemple, Rapport Seymaz, 2008).

31 stations sur 105 sont contaminées en Cu mais pas en Zn. A l'exception de la station de Haller sur la Seymaz, elles sont situées en zone agricole ou viticole, ou directement à l'aval de ces zones.

Ceci nous permet de confirmer notre hypothèse de base à savoir que dans le cas d'apports urbains (toitures, chenaux, etc..) la pollution au cuivre est accompagnée d'une pollution au zinc alors qu'une pollution d'origine agricole est caractérisée par de fortes concentrations en cuivre et des concentrations relativement faibles en zinc. . Ainsi, la prise en compte simultanée de 2 contaminants dont l'origine peut être commune ou pas selon les cas, permet d'identifier les sources.

En résumé, sur le canton de Genève, la pollution avérée en cuivre provient des ruissèlements des milieux imperméabilisés ou des zones agricoles. Dans le premier cas, la pollution en cuivre se combine à une pollution en zinc, pas dans le second.

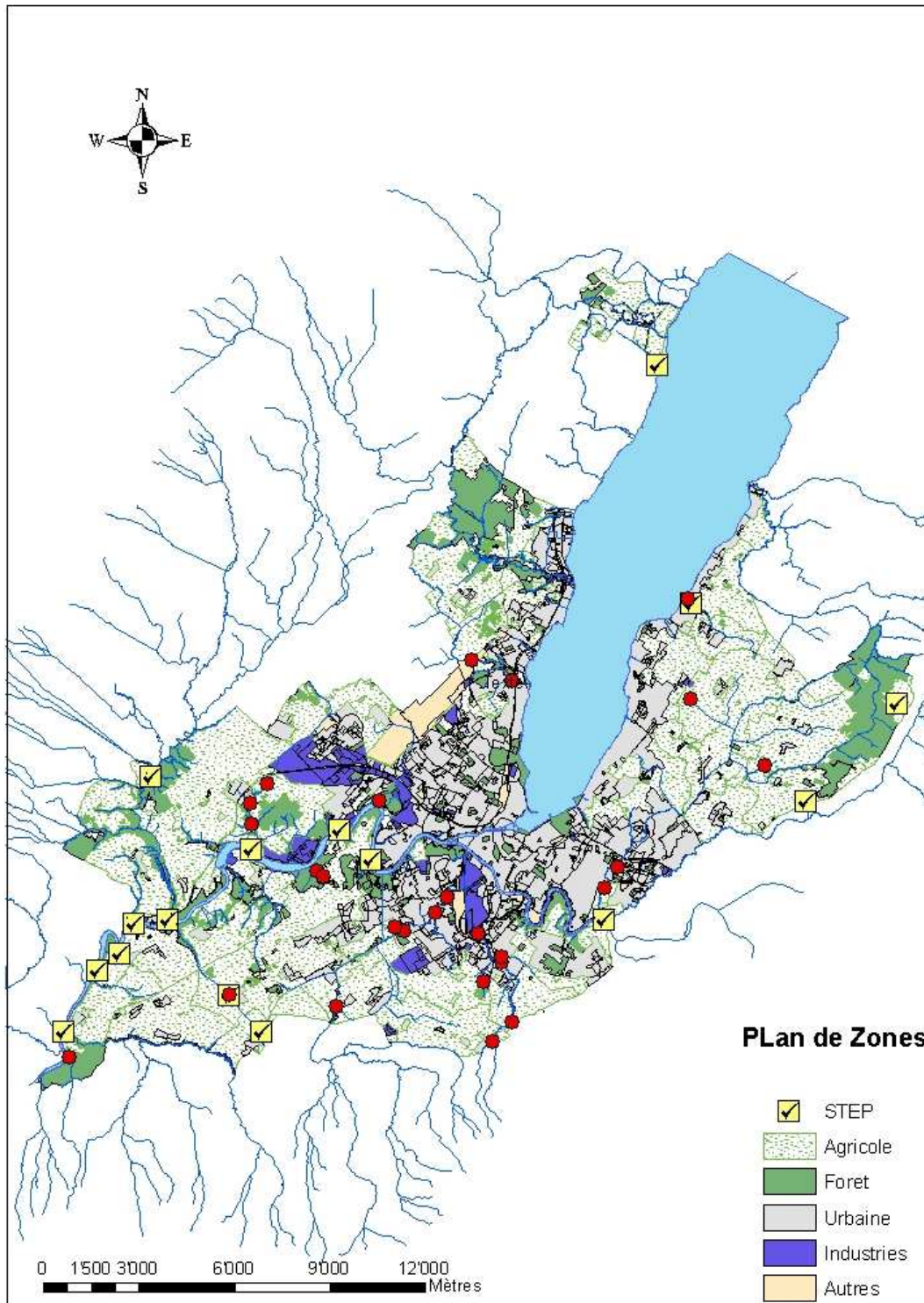


FIGURE 6: STATIONS CONTAMINÉES EN CUIVRE ET EN ZINC. ETAT 2007.

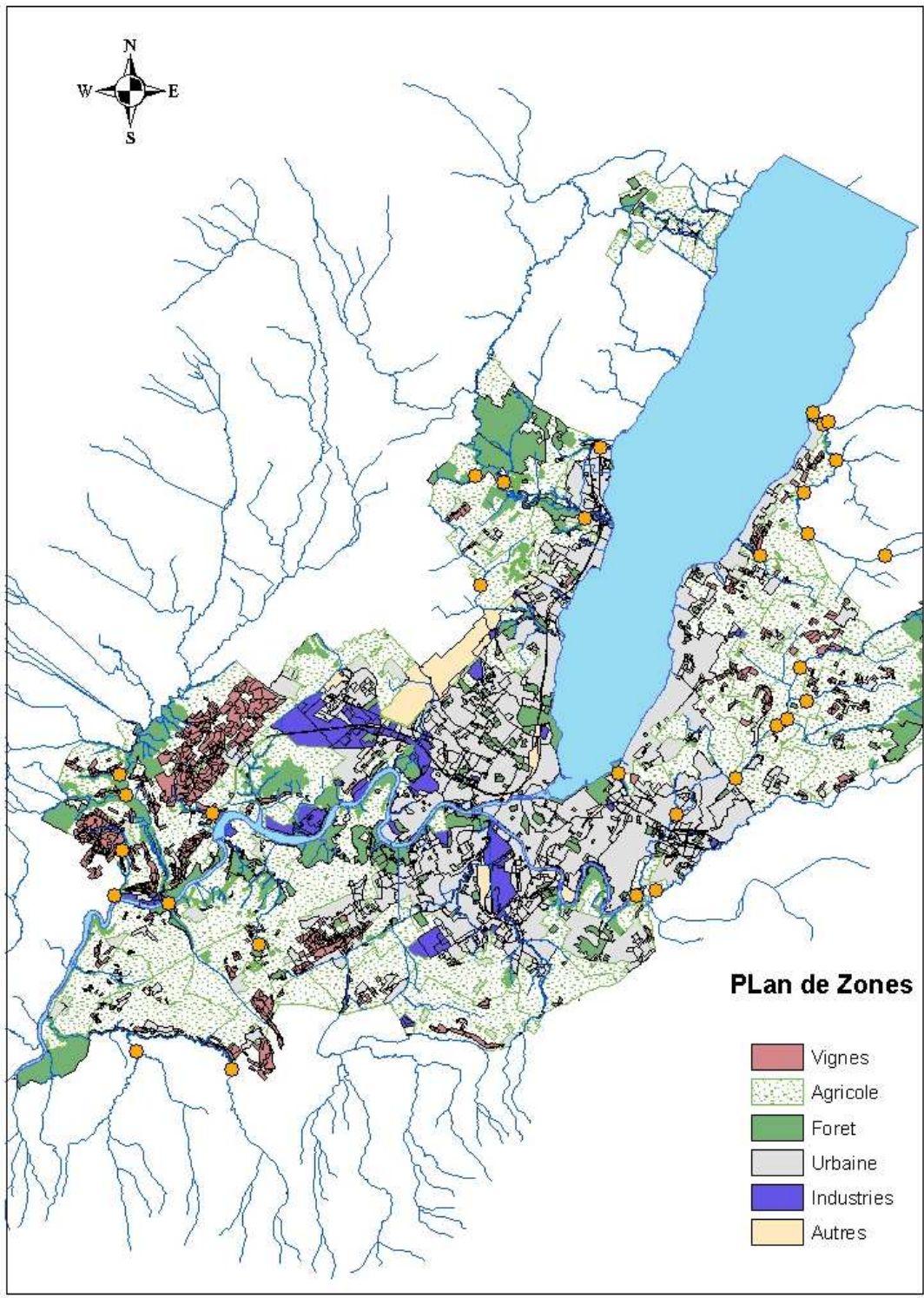


FIGURE 7: STATIONS CONTAMINÉES EN CUIVRE, PAS EN ZINC. ETAT 2007.

2.3 Analyse statistique

Une autre approche permettant de confirmer notre hypothèse consiste à effectuer une analyse hiérarchique (2-step cluster analysis, SPSS). Cette analyse permet de mettre en évidence des groupes au sein de données.

Dans ce but nous avons considéré chaque prélèvement individuellement, soit 3117 prélèvements et non plus le diagnostic sur chaque station. Cette approche, plus détaillée que la précédente, met en évidence 4 groupes :

- un groupe dans lequel le Cu et le Zn sont élevés (moyennes 3.78 ± 3.81 et 6.02 ± 5.2 respectivement),

- un groupe dans lequel Cu et Zn sont très élevés (moyennes de 28 ± 42 et 45 ± 41 respectivement),

- un groupe dans lequel les concentrations sont fortes en Cu et faibles en Zn (moyennes de 3.6 ± 3.3 et 2.5 ± 2.9 respectivement),

- un groupe dans lequel les concentrations sont faibles en Cu et Zn (moyennes 1.3 ± 1.8 et 2.1 ± 2.0 respectivement).

Ce résultat confirme et affine notre classification cartographique. Statistiquement les cas où le Zn seul est élevé ne sont pas mis en évidence, probablement parce qu'ils sont rares (130/3098). On constate par contre une séparation en 2 groupes des cas Cu et Zn forts, à savoir Cu et Zn forts et Cu et Zn très forts. Cette nuance n'apporte rien en termes de détermination de la source mais met en évidence la gravité des atteintes. L'analyse hiérarchique a également permis de faire correspondre les classes établies selon les concentrations à des zones d'affectation du sol (Tableau 3).

Tableau 3 : Tableau de fréquence hiérarchique

	Zones urbaines et industrielles		Zones agricoles		Autres	
	Fréquence	%	Fréquence	%	Fréquence	%
Cu et Zn forts	977	93.9	0	0	0	0
Cu et Zn très forts	64	6.1	6	0.9	4	0.3
Seul Cu fort	0	0	663	99.1	0	0
Cu et Zn faibles	0	0	0	0	1384	99.7
Somme	1041	100	669	100	1388	100

Ces répartitions correspondent parfaitement aux zones identifiées par cartographie. .

Les 10 cas où des concentrations en cuivre et zinc très élevées sont situées hors des zones agricoles peuvent correspondre à des pollutions accidentelles.

Conclusions

La pollution par le cuivre de nombreux cours d'eau genevois est avérée, une analyse phénoménologique de type SIG couplée à une approche statistique a permis d'identifier, localiser et caractériser les sources de pollution en cuivre des eaux du canton de Genève.

En résumé, deux sources principales ont été identifiées: une source urbaine et une source agricole. La pollution en cuivre d'origine urbaine s'accompagne d'une pollution en Zn de même origine (toitures, routes...), ce qui n'est pas le cas des pollutions en cuivre d'origine agricole.

Cette approche permet à nos services de mieux déterminer les origines des pollutions chroniques et de préconiser des mesures d'assainissement adaptées aux sources de contamination, à savoir:

- en milieu urbain il est nécessaire d'appliquer désormais strictement la recommandation VSA pour les nouvelles constructions
- en zone agricole ce sont les activités de viti- et d'arboriculture qui sont les gros utilisateurs de cuivre. Une approche raisonnée de l'emploi de ces produits est à développer. Le projet pilote 62a sur le ruisseau des Charmilles devrait nous permettre de trouver des pistes afin de réduire l'impact sur les cours d'eau. Cependant, il peut exister un gros effet mémoire pour des terrains ayant subi de gros apports historiques (Célardin et al., 1989).

Bibliographie

ArcGIS 9. ESRI Inc.

Biger E., 1996: Mesure du bruit de fond géochimique naturel et mise en évidence de l'influence anthropique en zone rurale: application au bassin de la Seine, Thèse, Paris VI

Confédération Helvétique, 1998 Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux)

Célarin F., Chatenoux L. et d'Ersu Ph., 1989 - Métaux lourds dans les sols du Bassin Genevois. État de la question (II). *Archives des Sciences, Genève*, Vol. 42, pp. 493-498.

Etude de qualité des rivières genevoises : La Seymaz et ses affluents. Etat 2007 et évolution depuis 1981. Service cantonal de l'écologie de l'eau, 62p, 2008

Herngren L, Gonnetilleke A., Ayoko G.A. 2005 : understanding heavy metal and suspended solids relationship in urban stormwater using simulated rainfall, *Journal of Environmental Management*, 78 (2) , 149-158

OFEFP, 1998: Système modulaire gradué. L'environnement pratique Nr. 26, 43p.

SPSS Inc., 2003. SPSS Base 12.0 for Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago IL.

TDG environmental report, November 2004: Copper sources in urban runoff and shoreline activities, 72p.

Turer D, Maynard J.B., Sansalone J.J., 2001: Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132, 3-4, 293-314

ANNEXE

Dans un but d'appliquer le système modulaire gradué suisse d'évaluation des cours d'eaux, le percentile 80% des 12 valeurs mesurées annuellement (choisi selon Tableau A2) est traduit en classificateur d'état (tab A2 et A3). Ceci nous permet d'obtenir la grille d'appréciation de la pollution métallique présentée tableau A4.

Les analyses sont effectuées par ICP-MS après filtration (0.45µm) et acidification. Les limites de détection sont de 0.5 µg/L pour le Cu, le Ni et Zn, 0.1 µg/L pour le Pb et 0.005 µg/L pour le Cd.

TABLEAU A1: EXIGENCES DE L'ORDONNANCE OEUX POUR LA PHYSICO-CHIMIE DE L'EAU

Paramètre	Concentration maximale admissible
Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅)	2 à 4 mg/l O ₂ 2mg/l valable pour les eaux naturellement peu polluées
Carbone Organique Dissous (COD)	1 à 4 mg/l C 1mg/l valable pour les eaux naturellement peu polluées
Ammonium (N-NH ₄ ⁺ +N-NH ₃)	T° > 10°C: 0.2 mg/l N T° < 10°C: 0.4 mg/l N
chrome (Cr)	2 µg/l
nickel (Ni)	5 µg/l
cuivre (Cu)	2 µg/l
zinc (Zn)	5 µg/l
cadmium (Cd)	0.05 µg/l
plomb (Pb)	1 µg/l
Pesticides organiques (produits phytosanitaires, visés à l'annexe 4.3 de l'Osubst, produits de conservation du bois, antifoulings, etc.)	0,1 µg/l pour chaque substance. Sont réservées les autres exigences fixées sur la base de l'appréciation des différentes substances dans le cadre de la procédure d'autorisation.

TABLEAU A2: CHOIX DE L'INDICE UTILISÉ POUR LA MISE EN VALEUR DES RÉSULTATS D'ANALYSE À UNE STATION, EN FONCTION DU NOMBRE D'ÉCHANTILLONS

Type et nombre d'échantillons	Quantile représentatif	Remarques
8 – 11 échantillons continus journaliers 12 – 23 échantillons instantanés	80%	Regroupement de mesures couvrant plus de 2 à 3 ans seulement si aucune tendance ne se dessine à long terme.
> 11 échantillons continus journaliers > 23 échantillons instantanés	90%	Les valeurs de plus de 2-3 ans ne devraient pas être prises en compte pour le calcul du 90e centile, en particulier si les exigences relatives au nombre d'échantillons ne sont pas parfaitement remplies.

TABLEAU A3. CLASSIFICATION DE L'ÉTAT CHIMIQUE DES EAUX (NIVEAU R)

Appréciation	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Conditions	$I < \frac{1}{2} O$ et $M < O$	$\frac{1}{2} O \leq I < O$ et $M < 2 * O$	$O \leq I < 1.5 * O$ et $M < 3 * O$	$1.5 * O \leq I < 2 * O$	$I \geq 2 * O$

I : indice IPM , M : valeur maximale mesurée, O : objectif qualité

TABLEAU A4: GRILLE D'APPRÉCIATION DE LA POLLUTION MÉTALLIQUE DES COURS D'EAU (IPM)

Appréciation	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
Très Bon	< 1	< 2.5	< 1	< 2.5	< 0.025	< 0.5
Bon	1 - 2	2.5 - 5	1 - 2	2.5 - 5	0.025 - 0.05	0.5 - 1
Moyen	2 - 3	5 - 7.5	2 - 3	5 - 7.5	0.05 - 0.075	1 - 1.5
Médiocre	3 - 4	7.5 - 10	3 - 4	5 - 10	0.75 - 0.10	1.5 - 2
Mauvais	> 4	> 10	> 4	> 10	> 0.10	> 2