

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
<b>Herausgeber:</b>	Société Vaudoise des Sciences Naturelles
<b>Band:</b>	92 (2010-2011)
<b>Heft:</b>	3-4
<b>Artikel:</b>	Proposition d'un seuil de toxicité des métaux lourds des sédiments mis en évidence par les vers oligochètes dans quelques cours d'eau
<b>Autor:</b>	Vivien, Régis / Lafont, Michel / Perfetta, Jean
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-284229">https://doi.org/10.5169/seals-284229</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Proposition d'un seuil de toxicité des métaux lourds des sédiments mis en évidence par les vers oligochètes dans quelques cours d'eau

par

Régis VIVIEN<sup>1</sup>, Michel LAFONT<sup>2</sup> & Jean PERFETTA<sup>1</sup>

**Résumé.**—VIVIEN R., LAFONT M. & PERFETTA J., 2011. Proposition d'un seuil de toxicité des métaux lourds des sédiments mis en évidence par les vers oligochètes dans quelques cours d'eau. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.4: 153-164.

Cette étude a pour but de tester différents outils basés sur l'étude des vers oligochètes (indice IOBS et % de tubificidés sans soies capillaires) pour évaluer la qualité biologique des sédiments fins/sableux de cours d'eau et de mettre en évidence un éventuel seuil de contamination. Vingt stations de cours d'eau genevois (Suisse) ont été étudiées. Les métaux (Cr, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Cd, As, Co, Fe et Mn) ont été dosés dans le sédiment total. Les concentrations de référence des métaux utilisées sont les TEC et PEC proposés par MACDONALD *et al.* (2000). Les PEC-Q (PEC-Quotient) et TEC-Q (TEC-Quotient) ne comprenant que les métaux ont été utilisés comme indices de contamination. La corrélation entre l'indice IOBS et le PEC-Q (indice de pollution métallique du sédiment total) s'avère négative et très significative et celle entre le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires et le PEC-Q positive et très significative. Des seuils de toxicité de PEC-Q = 0.17 et TEC-Q = 0.6 sont mis en évidence, au-delà desquels les effets des métaux sont clairement visibles sur les peuplements d'oligochètes. Sur la plupart des stations, on observe une concordance entre les données biologiques et chimiques. Sur quelques stations, la qualité exprimée par les oligochètes est médiocre malgré un PEC-Q modéré. Les explications avancées sont, entre autres, une biodisponibilité/toxicité élevée des métaux présents et la présence d'autres polluants (PAH, PCB et pollution organique).

**Mots clés:** bioindication, oligochètes, cours d'eau, sédiments fins/sableux, métaux lourds, toxicité/bioaccumulation, seuil

**Abstract.**—VIVIEN R., LAFONT M. & PERFETTA J., 2011. Proposal of heavy metal toxicity thresholds of sediments indicated by oligochaete worms in some watercourses. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.4: 153-164.

The concern was to validate biological tools based on the study of sediment-dwelling oligochaete assemblages in watercourses to assess the biological quality of sediments, and propose in situ heavy metal toxicity thresholds. Twenty stations of watercourses located in the canton of Geneva (Switzerland) were studied. The metals (Cr, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Cd, As, Co, Fe and Mn) were analyzed in the total

<sup>1</sup>Service de l'écologie de l'eau, 23 avenue de Sainte-Clotilde, CH-1205 Genève (Suisse)

<sup>2</sup>Cemagref UR MALY, 3 bis quai Chauveau, CP 220, F-69335 Lyon Cedex 09 (France)

E-mail: regisvivien@hotmail.com

sediment. The TEC-Q (TEC-Quotient) and PEC-Q (PEC-Quotient), including only metals, which were used as contamination indices, referred to criteria (TEC and PEC) proposed by MACDONALD *et al.* (2000). The results showed a significant negative correlation between the IOBS oligochaete index and the PEC-Q, and a significant positive correlation between the percentage of Tubificidae without hair setae and the PEC-Q. Toxicity thresholds of metal contaminations (PEC-Q = 0.19 and TEC-Q = 0.6) were so evidenced, above which the influence of metals on oligochaete assemblages becomes clearly visible. On some stations, the quality expressed by the oligochaetes was poor although moderate PEC-Q were observed. The probable explanation was a high bioavailability of the metals and the presence of other pollutants (PCB, HAP and organic pollution).

**Keywords:** bioindication, oligochaetes, watercourses, fine/sandy sediment, heavy metals, toxicity/bioaccumulation, threshold

## INTRODUCTION

Les sédiments réduisent la concentration des polluants dans l'eau de surface en faisant office de piège (WANG 1987) et constituent ainsi de précieux témoins de pollution récente et ancienne de l'eau de surface. Les sédiments représentent un site privilégié pour l'accumulation de nombreux polluants (polluants organiques non polaires, métaux, radionucléides, matière organique, etc.). Les métaux et les polluants organiques non polaires (hydrophobes) ont une forte tendance à se lier aux particules qui sédimentent; très peu de ces polluants se trouve sous forme dissoute (WANG 1987). Les métaux et de nombreux polluants organiques persistent dans l'écosystème: les métaux ne sont pas dégradés et de nombreux polluants organiques (POP) sont très peu dégradables.

Les analyses chimiques des sédiments ne permettent pas d'évaluer le risque toxique *in situ* (PRYGIEL *et al.* 1999), ni de prédire l'effet des polluants sur les invertébrés benthiques (GUNN 1989; BERVOETS *et al.* 1997; PRYGIEL *et al.* 1999). De plus, il n'est pas possible de doser tous les polluants pouvant être présents dans les sédiments. Une méthode d'analyse biologique des sédiments devrait être appliquée en complément des analyses chimiques (PRYGIEL *et al.* 1999; CHAPMAN 1990) afin de décrire l'effet de ces pollutions sur les organismes. Des tests écotoxicologiques de laboratoire ont été développés dans ce but mais ne se révèlent pas extrapolables *in situ*. Le retour au terrain est préconisé dès les années 80 (SLOOF 1983; GILBERTSON 1984). CHAPMAN (1990) suggère d'appliquer la triade comprenant les analyses chimiques, des tests écotoxicologiques et une méthode biologique *in situ* (effets sur les peuplements d'invertébrés benthiques) pour évaluer la qualité des sédiments.

Il est important de bien prendre en compte les sédiments fins/sableux, en raison de leur rôle de stockage des polluants (WANG 1987; PRYGIEL *et al.* 1999; LAFONT *et al.* 2010a). Ce stockage des polluants peut passer inaperçu si la pollution toxique n'affecte pas les autres compartiments du milieu (LAFONT *et al.* 2010a) et laisser croire qu'il n'est pas contaminé.

Une telle approche nécessite de travailler dans trois voies:

A- mettre au point une méthode de bioindication des sédiments fins permettant de caractériser la qualité biologique des sédiments et leur degré de toxicité et de proposer des indicateurs d'effet spécifique des principaux types de polluants;

B- définir des seuils de concentrations toxiques *in situ* au lieu de se limiter à des tests de laboratoire, dans un premier temps pour les métaux;

C- comparer les seuils mesurés en laboratoire avec ceux relevés sur le terrain.

La voie A a déjà été explorée et validée. Les oligochètes ont la particularité d'être de bons bioindicateurs de la qualité des sédiments (ROSSO 1995; PRYGIEL *et al.* 1999; LAFONT *et al.* 2010a). Ils sont avant tout des indicateurs de pollution chimique (type toxique et eutrophisation). Les oligochètes sont inféodés aux sédiments, se déplacent peu, et leur mode trophique est principalement l'ingestion des sédiments fins. Le groupe comprend un grand nombre d'espèces, allant de sensibles à très résistantes, et les oligochètes sont assez abondants à très abondants dans les sédiments fins/sableux. L'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS) permet d'évaluer la qualité biologique des sédiments fins et sableux (AFNOR 2002; PRYGIEL *et al.* 1999; ROSSO 1995). Selon l'abaque de l'indice, le pourcentage du groupe des tubificidés sans soies capillaires indique le type dominant de pollution (métaux/PCB ou PAH, matière organique) (AFNOR 2002).

La présente étude, qui reprend les données d'un travail de Master en sciences naturelles de l'environnement (VIVIEN 2009), a pour but de s'engager dans la voie B en utilisant les différents outils oligochètes signalés précédemment. En particulier, une corrélation négative entre les valeurs de l'indice oligochètes IOBS et les teneurs en polluants des sédiments (basses valeurs de l'indice en cas de pollution des sédiments) et une corrélation positive entre les teneurs des métaux et le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires sont attendues ici.

## SITES D'ÉTUDE

Vingt stations appartenant à neuf cours d'eau de la région genevoise (Suisse / France) ont été étudiées entre le 7 août 2008 et le 9 janvier 2009: la Seymaz (amont Rouelbeau, Claparède et embouchure); le Rhône (amont et aval STEP Aïre, Chèvres et baie de Peney); l'Allondon (amont STEP St-Genis, Moulin-Fabry et La Plaine); le nant d'Avril (Bourdigny et Peney); la Laire (embouchure); le Merley (aval rte de Chancy); l'Aire (pont de Certoux et aval Ziplo); la Versoix (amont Divonne, amont STEP Divonne et aval STEP Divonne); l'Hermance (pont de Crêvy et pont Neuf). Les stations ont été choisies afin d'obtenir un gradient significatif de pollution.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### *Analyses chimiques des sédiments*

Les 10 premiers centimètres des sédiments (env. 80 cm<sup>3</sup>) ont été prélevés à l'aide d'une pelle. La fraction inférieure à 2 mm a été analysée. La matière organique a été dosée par perte au feu. Une dissolution à l'acide nitrique 2 M d'environ 1 g. de sédiments broyés a été effectuée (une nuit à 100°C). Cette méthode permet l'extraction de la fraction biodisponible des métaux. Les concentrations des métaux (sauf le Hg) du sédiment total ont été déterminées par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer). Le Hg a été dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique «(Advanced mercury analyser AMA 254)» qui utilise une méthode de vaporisation du Hg. MACDONALD *et al.* (2000) ont mis au point des normes de qualité des sédiments. La TEC (= threshold effect concentration)

est la concentration au-dessous de laquelle un contaminant n'est normalement pas toxique. La PEC (= probable effect concentration) est la concentration au-dessus de laquelle un contaminant est probablement toxique. A une concentration entre la TEC et la PEC, un contaminant peut donc être toxique. Les TEC et PEC ont été testées par MACDONALD *et al.* (2000) par des approches écotoxicologiques. Dans 20 % des cas environ, pour tous les métaux sauf le Hg (65%), les teneurs inférieures aux TEC peuvent quand même être toxiques. L'indice de contamination PEC-Q, tel qu'il a été proposé par MACDONALD *et al.* (2000) pour déterminer le degré de toxicité des sédiments, comprend les métaux, les PCB, les PAH et les pesticides. Les PCB, les PAH et les pesticides n'ayant pas été pris en compte ici, les seuils de toxicité proposés par MACDONALD *et al.* (2000) n'ont pu être retenus. Seule l'approche PEC et TEC de ces auteurs sera utilisée ici. En outre, pour mettre en évidence des corrélations entre la pollution métallique du sédiment total et les indicateurs biologiques, les indices PEC-Q et TEC-Q ont été testés. Ces indices sont exprimés par la somme des rapports entre la concentration de chaque métal et le PEC ou TEC du métal, le tout divisé par le nombre de métaux considérés N:

$$\text{PEC-Q}_j = \left[ \sum_1^i [\text{M}^{z+}]_j / \text{PEC} \right] / N \quad \text{TEC-Q}_j = \left[ \sum_1^i [\text{M}^{z+}]_j / \text{TEC} \right] / N$$

### *Examen des peuplements d'oligochètes*

Les peuplements d'oligochètes ont été collectés aux mêmes emplacements et aux mêmes dates que les prélèvements destinés à l'analyse chimique des sédiments. L'indice oligochètes de bioindication des sédiments IOBS (AFNOR 2002; LAFONT *et al.* 2003; 2007) a été appliqué.

Les sédiments fins/sableux ont été prélevés à l'aide d'un carottier (sédiments fins) ou d'un filet type surber (sédiments sableux) ou d'une benne (sédiments profonds). Les prélèvements ont été effectués à 2 ou 3 endroits différents (au niveau de la station). Au laboratoire, le tamisage des sédiments a été effectué sur une colonne de 2 tamis (5 mm et 0.5 mm de vide de maille). Le refus du tamis à 0.5 mm de vide de maille a été transféré dans une cuve de sous-échantillonnage (compartimentée en 25 cases carrées de surface égale). Le contenu de cases choisies au hasard à l'aide de nombres aléatoires a été transféré dans une boîte de Petri et examiné avec une loupe binoculaire. Des cases successives ont été examinées jusqu'à l'obtention de 100 oligochètes identifiables. Les oligochètes ont été éclaircis, puis montés entre lame et lamelle dans une solution d'enrobage. Les spécimens ont été identifiés à l'espèce (si possible), au genre, à la famille ou au groupe (par ex. les tubificidés avec ou sans soies capillaires non reconnaissables à l'état immature).

L'indice IOBS est obtenu en multipliant par 10 le rapport entre le nombre total de taxons identifiés parmi 100 oligochètes d'un relevé de sédiment et le pourcentage +1 de tubificidés avec ou sans soies capillaires, matures et immatures confondus, qui prédomine dans le même relevé de sédiment. Cet indice décrit la qualité biologique des sédiments en cinq classes, conformément à la directive cadre sur l'eau de l'Union européenne (DCE): très bonne ( $\text{IOBS} \geq 6$ ); bonne ( $6 > \text{IOBS} \geq 3$ ); moyenne ( $3 > \text{IOBS} \geq 2$ ); médiocre ( $2 > \text{IOBS} \geq 1$ ); mauvaise ( $\text{IOBS} < 1$ ). Lorsque le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires (TUSP) est

supérieur à 60, un effet micropolluants (métaux et/ou PCB) est suspecté; si l'indice affiche des valeurs inférieures à 2, avec la prédominance des tubificidés avec soies capillaires, une pollution par les PAH, la matière organique ou le Cu est suspectée (PRYGIEL *et al.* 1999 et op. cités).

### Analyse des données

Des régressions linéaires et le test de Pearson ont été appliqués pour l'étude des relations entre les variables chimiques et biologiques. Elles ont été réalisées à l'aide du logiciel R (IHAKA & GENTLEMAN 1996). Pour connaître la signification des corrélations, la linéarisation par le log selon les formules suivantes a été appliquée:  $\log(\log(Y_n)) = \alpha + \beta \log(X_n) + \varepsilon$  pour la relation PEC-Q – IOBS et  $\log(Y_n) = \alpha + \beta \log(X_n) + \varepsilon$  pour les relations PEC-Q – TUSP, effectifs – TUSP et PEC-Q – effectifs.

## RÉSULTATS

Le tableau 1 indique les concentrations dépassant les TEC et les PEC pour chaque station. Quatre stations présentent une qualité biologique bonne à très bonne (IOBS > 3), une station présente une qualité biologique moyenne (IOBS = 2), 12 stations présentent une qualité médiocre ( $2 > \text{IOBS} \geq 1$ ) et 3 stations présentent une mauvaise qualité (IOBS < 1). Sur les 15 stations dont la qualité est médiocre à mauvaise, 10 présentent un effet micropolluants (TUSP > 60). Concernant les relations entre métaux et peuplements d'oligochètes, le tableau 1 montre les tendances du jeu de données:

- les valeurs décroissantes de l'indice IOBS suivent globalement un gradient croissant de valeurs du PEC-Q (à l'exception de la station Merley - aval rte de Chancy);
- dans le lot des 10 stations où TUSP est < 60, les valeurs > aux seuils TEC et PEC n'apparaissent que 6 fois (Cr: 3 fois; Ni: 2; Pb: 1);
- dans le lot des 10 stations où TUSP est > 60, les valeurs > aux seuils TEC et PEC apparaissent 27 fois (Cr: 6 fois; Ni: 6; Zn: 4; Cu: 4; Pb: 4; As: 2; Hg: 1);
- sur une station où TUSP est < 60 mais où les seuils PEC sont dépassés pour le Cr et le Ni (aval rte de Chancy), l'indice IOBS n'atteint que la valeur de 1,6 (qualité médiocre des sédiments);
- enfin, en terme de risques toxiques, le Cr et Ni (9 valeurs > TEC/PEC) > Pb (5) > Cu et Zn (4) > As (2) > Hg (1).

La corrélation entre le PEC-Q (indice de contamination métallique) et l'IOBS (figure 1) s'avère négative et très significative ( $R = 0.649$ ;  $p = 0.0019$ ). L'indice IOBS diminue avec l'augmentation des teneurs des métaux et indique une mauvaise qualité lorsque les valeurs de métaux sont très élevées. La réponse de l'indice IOBS suit un seuil de contamination que l'on peut approximativement situer à partir d'un PEC-Q de 0.15-0.19 (figure 1), qui correspond au point d'inflexion de la courbe de réponse de l'indice. La corrélation entre le TEC-Q et l'IOBS (figure 2) est similaire et le seuil de contamination est  $\text{TEC-Q} = 0.4-0.6$ .

La corrélation entre le PEC-Q et le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires (TUSP) (figure 3) est positive et très significative ( $R = 0.599$ ;  $p = 0.0052$ ). Comme dans

Tableau 1.—Valeurs de l'indice IOBS, du % de tubificidés avec soies capillaires (TUCP), du % de tubificidés sans soies capillaires (TUSP), du nombre d'oligochètes (n ind) par 0.1 m<sup>2</sup>, du nombre de taxons (n taxa), du PEC-Q, du TEC-Q, du % de matière organique du sédiment total (% MO) et des concentrations en métaux du sédiment total (en µg/g) avec indication des valeurs de TEC et PEC (ordre respectif).

*Gris italique*: teneurs > TEC; souligné: teneurs > PEC; **gras**: teneurs élevées.

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Allondon</b> La Plaine										
<b>Allondon</b> amont STEP St-Genis										
<b>Versoix</b> amont Divonne										
<b>Laire</b> embouchure										
<b>Seymaz</b> Claparède										
<b>Seymaz</b> embouchure										
<b>Merley</b> aval rive de Chancy										
<b>Hermance</b> pont de Crévy										
<b>Versoix</b> amont STEP Divonne										
<b>Rhône</b> aval STEP Aïre										
IOBS	100	30	4,16	10	1,63	1,3	1,56	1,13	1,4	2,0
TUCP	1	2	24	8	43	70	64	62	64	51
TUSP	1	2	5	8	10	13	25	30	35	49
n ind	533	577	821	50	755	1214	3090	481	2023	1254
n taxa	10	5	10	8	7	9	10	7	9	10
PEC-Q	0,139	0,087	0,106	0,128	0,137	0,143	0,455	0,131	0,151	0,146
TEC-Q	0,374	0,241	0,31	0,343	0,436	0,467	1,179	0,37	0,491	0,439
% MO	2,13	0,82	2,50	0,36	1,57	2,54	2,81	1,97	<b>7,79</b>	1,33
Cr (43.4/111)	<i>43,57</i>	26,90	38,12	44,26	27,69	16,1	<u>117,07</u>	39,88	24,5	28,02
Ni (22.7/48.6)	<i>23,19</i>	12,65	10,30	19,23	14,81	16,2	<u>94,61</u>	18,69	19,1	18,06
Zn (121/459)	27,71	18,97	30,63	19,79	44,94	55,6	61,87	27,59	47	50,00
Cu (31.6/149)	7,11	3,68	5,21	5,83	14,53	16,9	24,18	10,46	16,6	11,19
Pb (35.8/128)	6,11	4,64	10,00	5,26	27,23	<i>41,05</i>	17,79	8,39	21,1	13,71
Cd (0.99/4.98)	0,09	0,09	0,12	0,08	0,19	0,19	0,19	0,09	0,23	0,14
Hg (0.18/1.06)	0,0091	0,013	0,016	0,0041	0,039	0,030	0,023	0,012	0,095	0,016
As (9.79/33)	2,01	1,91	2,47	2,71	1,92	1,5	4,71	2,65	2,6	6,86
Co	<i>3,95</i>	2,63	2,70	3,54	3,41	3,3	<b>22,15</b>	4,31	3,5	5,65
Mn	322	248	213	348	315	378	<b>1439</b>	417	168	312
Fe	9161	7576	6558	8802	8330	7974	<b>23692</b>	10631	9402	15773
Al	9392	6730	6401	8008	7868	4395	20193	10000	6533	18644

Tableau 1(suite).—Valeurs de l'indice IOBS, du % de tubificidés avec soies capillaires (TUCP), du % de tubificidés sans soies capillaires (TUSP), du nombre d'oligochètes (n ind) par 0.1 m<sup>2</sup>, du nombre de taxons (n taxa), du PEC-Q, du TEC-Q, du % de matière organique du sédiment total (% MO) et des concentrations en métaux du sédiment total (en µg/g) avec indication des valeurs de TEC et PEC (ordre respectif).

*Gris italique*: teneurs > TEC; souligné: teneurs > PEC; **gras**: teneurs élevées.

Stations	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Rhône</b> Chèvres										
<b>Allondon</b> Moulin-Fabry										
<b>Seymaz</b> amont Rouelbeau										
<b>Hermance</b> Pont Neuf										
<b>Aire</b> aval Ziplo										
<b>nant d'Avril</b> Bourdigny										
<b>Versoix</b> aval STEP Divonne										
<b>Aire</b> Pont de Certoux										
<b>Rhône</b> baie de Peney										
<b>Rhône</b> amont STEP Aire										
IOBS	1,0	1,6	1,1	1,6	1,64	0,8	1,05	0,64	0,7	1,38
TUCP	39	34	30	35	13	28	21	22	19	14
TUSP	61	63	63	64	67	71	76	78	81	85
n ind	4928	3641	3438	3875	6300	4120	6917	26579	1562	1063
n taxa	6	10	7	10	11	6	8	5	6	12
PEC-Q	0,198	0,172	0,297	0,145	0,153	0,520	0,425	0,209	0,666	0,192
TEC-Q	0,612	0,471	0,962	0,424	0,472	1,799	1,464	0,599	2,261	0,596
% MO	1,67	2,17	<b>7,69</b>	<b>3,55</b>	1,55	2,60	<b>22,71</b>	<b>4,73</b>	<b>9,25</b>	1,31
Cr (43.4/111)	29,24	<b>58,47</b>	<b>58,91</b>	36,36	22	82,09	75,03	59,02	107,94	16,9
Ni (22.7/48.6)	21,03	<b>26,32</b>	<b>30,88</b>	20,84	20,1	<b>43,64</b>	<b>41,67</b>	29,99	<b>60,10</b>	23,4
Zn (121/459)	67,75	36,82	<b>151,13</b>	40,24	53,1	<b>218,89</b>	<b>143,64</b>	51,41	<b>650,83</b>	72
Cu (31.6/149)	14,74	8,68	<b>57,03</b>	13,91	12,6	<b>163,13</b>	68,55	19,55	<b>142,61</b>	15,2
Pb (35.8/128)	22,34	7,70	29,37	14,30	<b>38,49</b>	85,81	50,32	15,24	<b>52,64</b>	19,52
Cd (0,99/4,98)	0,19	0,12	0,27	0,11	0,11	0,45	0,48	0,14	0,47	0,21
Hg (0,18/1,06)	0,016	0,025	0,055	0,022	0,025	0,054	0,375	0,030	0,129	0,0094
As (9,79/33)	<b>13,67</b>	2,02	5,24	2,27	2,2	4,52	8,14	3,36	3,98	<b>14,6</b>
Co	7,95	3,76	6,69	4,88	4	8,33	7,74	6,29	9,45	7,6
Mn	434	275	404	311	348	533	282	456	427	408
Fe	<b>21896</b>	8981	17229	11160	9097	15485	<b>26705</b>	13268	17655	20864
Al	<b>22493</b>	9355	18530	12404	5251	10459	<b>25881</b>	14705	17211	9587

le cas de l'indice IOBS, la réponse de la variable TUSP suit un seuil de contamination que l'on peut approximativement situer à partir d'un PEC-Q de 0.17-0.19 (figure 3A et B). Sur la figure 3B, les stations dont le PEC-Q est  $> 0.29$  ont été retirées et l'échelle de l'axe horizontal a été agrandie afin de pouvoir mieux visualiser le seuil de toxicité. Sans les stations dont le PEC-Q est  $> 0.29$  la relation reste très significative ( $R = 0.819$ ;  $p = 0.00019$ ). La corrélation entre le TEC-Q et TUSP (figure 4) est similaire et le seuil de contamination est TEC-Q = 0.47-0.6.

Finalement, notons encore que les effectifs d'oligochètes sont corrélés positivement et significativement avec le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires ( $R = 0.645$ ;  $p = 0.002$ ) et avec le PEC-Q ( $R = 0.448$ ;  $p = 0.047$ ). Les moyennes des effectifs des deux groupes TUSP  $> 60$  (moyenne = 6242, écart-type = 7373) et TUSP  $< 60$  (moyenne = 1080, écart-type = 890) sont (significativement) différentes. Ces résultats démontrent la prolifération des tubificidés sans soies capillaires dans les secteurs contaminés par les métaux.

## DISCUSSION

L'application de l'IOBS et du % de tubificidés sans soies capillaires (TUSP) aux données des cours d'eau genevois confirme leur valeur indicatrice de contamination métallique du sédiment, ce qui est en accord avec nos attentes initiales. Dans le cas du présent jeu de données, un PEC-Q de 0.14-0.19 et un TEC-Q de 0.4-0.6 constituent des seuils de toxicité. Ces seuils pourraient donc être proposés en première analyse comme la base d'un critère de qualité des sédiments fins/sableux *in situ*. Il a déjà été souligné que la proposition de seuils de toxicité revêt une importance primordiale à court terme, compte tenu du rôle de stockage des polluants toxiques par les sédiments fins/sableux (LAFONT *et al.* 2010a). Les exigences contradictoires des gestionnaires (réponses rapides et fiables) et celles des scientifiques (analyses complexes et chronophages) constituent un problème récurrent (CULLEN 1990; LAFONT *et al.* 2010b). Le présent travail propose un compromis entre ces deux exigences. La toxicité des sédiments est en effet une situation où de nombreux facteurs interagissent de façon complexe (PRYGIEL *et al.* 1999) et nous amène à analyser et discuter les différents cas rencontrés dans le jeu de données.

Dans les cas concordants, on peut discriminer les stations avec une bonne qualité des sédiments et peu de métaux (cas 1, tableau 2). Notons cependant que la station 1, avec un IOBS de 100, est légèrement affectée par du Cr et du Ni, vraisemblablement sous forme non biodisponible. La valeur très élevée de l'indice peut aussi être expliquée par la granulométrie assez grossière des sédiments prélevés (sableux proche de graveleux), par une instabilité des bancs sableux et par l'exfiltration de la nappe présente à cette station. Des indices IOBS supérieurs à 40 sont rares dans les sédiments fins/sableux où, même dans des situations de très bonne qualité écologique du milieu, les tubificidés avec ou sans soies capillaires, organismes caractéristiques des vases, présentent toujours des pourcentages supérieurs à 20 (Rosso 1995). Des indices IOBS de 100 peuvent en revanche se rencontrer dans des bancs sableux instables ou des sédiments grossiers.

Le deuxième cas discrimine les stations polluées, où TUSP et métaux présentent des valeurs élevées. Le cas n°3 discrimine les stations polluées, mais où les métaux ne semblent

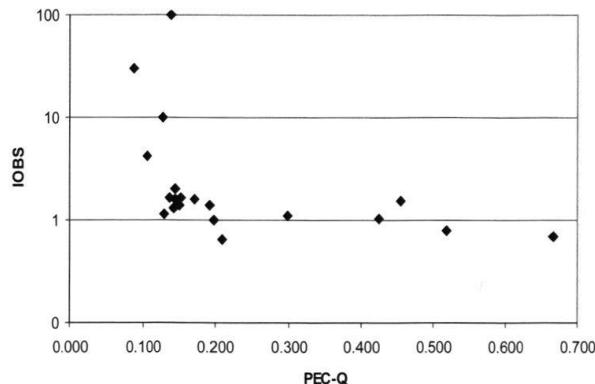


Figure 1.—Courbe de réponse de l'indice IOBS à l'indice de contamination des sédiments PEC-Q

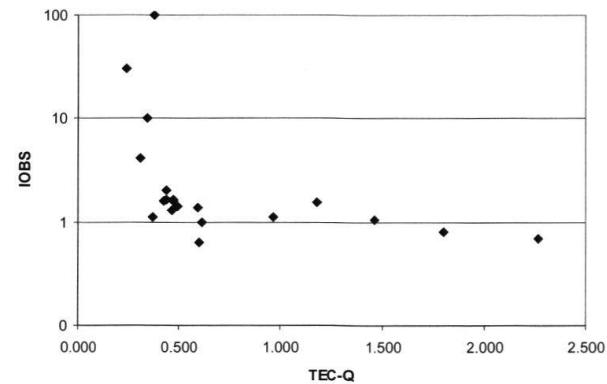


Figure 2.—Courbe de réponse de l'indice IOBS à l'indice de contamination des sédiments TEC-Q

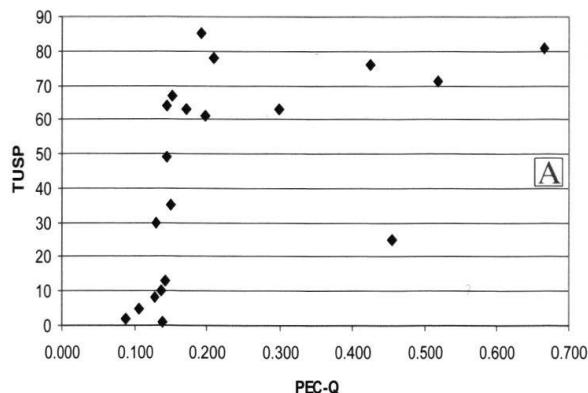


Figure 3.—Courbes de réponse du pourcentage de tubificidés sans soies capillaires (TUSP) à l'indice de contamination des sédiments PEC-Q; A: relations entre le PEC-Q et TUSP; B: relations entre le PEC-Q et TUSP en retirant les 5 stations dont le PEC-Q est > 0.29

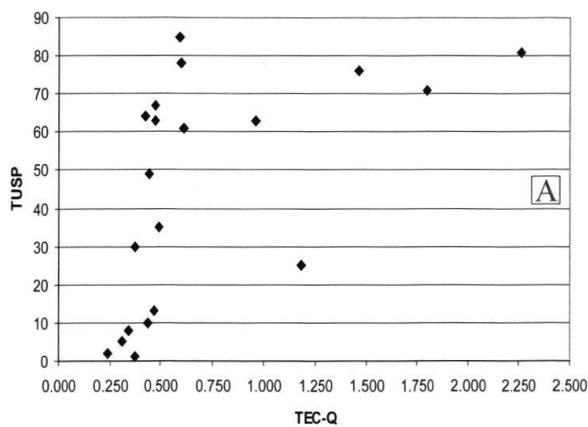
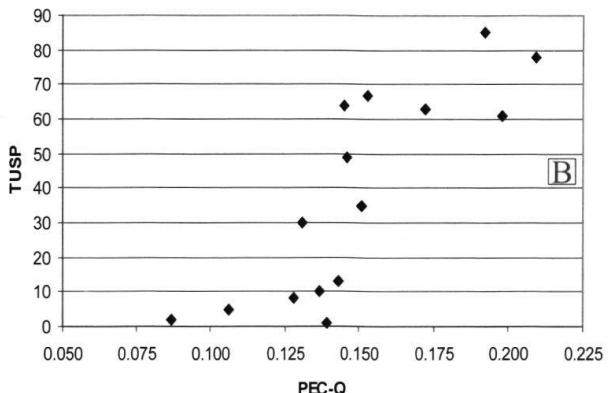


Figure 4.—Courbes de réponse du pourcentage de tubificidés sans soies capillaires (TUSP) à l'indice de contamination des sédiments TEC-Q; A: relations entre le TEC-Q et TUSP; B: relations entre le TEC-Q et TUSP en retirant les 5 stations dont le TEC-Q est > 0.7

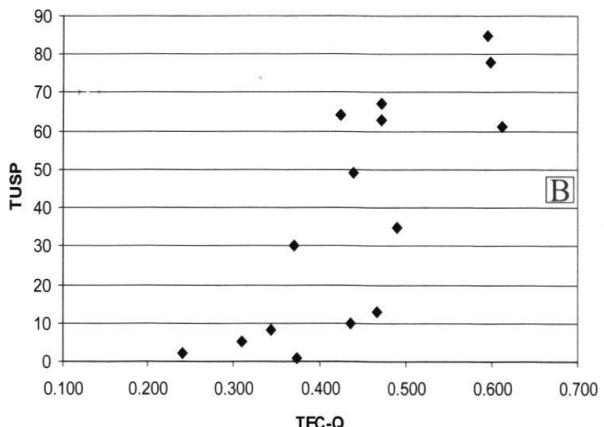


Tableau 2.-Concordances et discordances entre les variables biologiques IOBS, TUSP, TUCP et la contamination métallique exprimée par le PEC-Q et le TEC-Q.

	<b>Stations</b>	<b>Commentaires</b>
<b>Cas n°1: concordance</b>		
IOBS >3 – TUSP <60 PEC-Q = 0,09 – 0,14 TEC-Q = 0,24 – 0,38	1, 2, 3, 4	Station 1 (IOBS=100) légèrement contaminée (Cr et Ni), Cr et Ni probablement non biodisponibles ; problème d'échantillonnage ?
<b>Cas n°2: concordance</b>		
IOBS <2 – TUSP >60 PEC-Q = 0,17 – 0,67 TEC-Q = 0,47 – 2,26	11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20	Métaux vraisemblablement très biodisponibles
<b>Cas n°3: concordance</b>		
IOBS <2 – TUSP <60; TUCP = 43 – 70 PEC-Q = 0,13 – 0,15 TEC-Q = 0,37 – 0,49	5, 6, 8, 9, 10	Effet d'autres polluants (PAH, matière organique ?); sur les stations 5, 6, 8 et 10, la pollution organique (des sédiments) ne semble pas très marquée (% de matière organique <2,6); sur la station 9, forte pollution organique (% de matière organique=7,8)
<b>Cas n°4: discordance</b>		
IOBS <2 – TUSP >60 PEC-Q = 0,15 TEC-Q = 0,42 – 0,47	14, 15	Métaux vraisemblablement biodisponibles (Pb ?) + autres micropolluants (PCB ?)
<b>Cas n°5: discordance</b>		
IOBS <2 – TUSP <60; TUCP = 64 PEC-Q = 0,46 TEC-Q = 1,18	7	Fortes teneurs en Cr, Ni et Co, mais fortes teneurs en éléments potentiellement complexes (Mn, Fe)

TUSP = pourcentage de tubificidés sans soies capillaires; TUCP = pourcentage de tubificidés avec soies capillaires

pas la cause prédominante d'altération (TUSP <60, tableau 2). Ce sont les tubificidés avec soies capillaires qui prédominent (TUCP = 43-70), un effet PAH et/ou une pollution organique sont suspectés (cf. § 3.2). Si la pollution organique des sédiments ne s'avère pas très marquée dans les stations 5, 6, 8 et 10, elle est importante dans la station 9 (7,79 %, tableau 1).

Le premier cas de discordance (cas 4, tableau 2), concerne des stations où le PEC-Q est inférieur au seuil de 0,17, l'IOBS inférieur à 2 et TUSP supérieur à 60 (stations 14 et 15). A ces stations, d'autres micropolluants tels que les PCB, pourraient être incriminés, mais la valeur du TEC-Q de la station 15 suggère aussi un effet des métaux. A la station 15, le Pb pourrait se trouver sous forme biodisponible, car c'est le seul métal qui soit supérieur à la TEC, tous les autres métaux présentant de faibles concentrations. En outre, des agents potentiellement complexants (matière organique, Fe, Mn, Al) se rencontrent en faibles concentrations à cette station, ce qui pourrait constituer un facteur stimulant la biodisponibilité des métaux.

La station 7 (cas n°5, tableau 2) présente de très fortes concentrations en Cr, Ni et Co (les plus fortes du jeu de données), et en agents potentiellement complexants (la plus forte concentration de tout le jeu de données pour le Mn). Cependant, si un effet de pollution est bien marqué par l'indice IOBS (IOBS = 1,6), le pourcentage de tubificidés sans soies capillaires (TUSP = 25) ne permettrait pas de prédire un effet métaux.

En conclusion, nous retiendrons la vraisemblance d'un seuil PEC-Q de 0.17-0.19 et d'un seuil TEC-Q de 0.5-0.6 marquant un effet toxique des métaux dans les sédiments fins/sableux considérés, l'effet toxique n'étant probablement pas dû aux seuls métaux pour des PEC-Q = 0.13-0.16 et des TEC-Q = 0.3-0.4. Les limites de cette étude sont évidentes et nombreuses. Des relations métaux-oligochètes significatives ne sont pas des preuves, mais seulement des présomptions de toxicité (Rosso *et al.* 1994; PRYGIEL *et al.* 1999). En fait, de fortes concentrations en métaux augmentent la probabilité que leurs formes biodisponibles soient présentes (PRYGIEL *et al.* 1999). Les phénomènes de spéciation des métaux, les mécanismes de complexation (par la matière organique, les sels de Fe, d'Al et de Mn), les synergies ou antagonismes entre métaux et entre métaux et autres micropolluants (PCB, PAH) sont complexes et encore insuffisamment connus. En fait, tout ce qui concerne les relations entre facteurs physiques et facteurs physico-chimiques est encore insuffisamment connu dans le milieu naturel (LAFONT *et al.* 2010a; 2010b). Une autre limite de ce travail provient de l'absence de données saisonnières, une seule campagne de mesures ayant été effectuée. Enfin, les relations oligochètes – PEC-Q ne sont pas vraiment linéaires, mais suivent des logiques de seuils de toxicité. Les perspectives de ce travail viseront donc à acquérir de nouvelles données, à prendre en compte l'aspect saisonnier et à coupler les études de terrain avec des études de laboratoire pour vérifier la validité de nos propositions.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 2002. Détermination de l'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS) NF T 90-390. France: 11 p. + annexes
- BERVOETS L., R. BLUST, De WIT M. & VERHEYEN R., 1997. Relationships between river sediment characteristics and trace metal concentrations in tubificid worms and chironomid larvae. *Environmental Pollution* 95: 345-356.

- CHAPMAN P. M., 1990. The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. *The Science of the total environment* 97/98: 815-825.
- CULLEN, P., 1990. The turbulent boundary between water science and water management. *Freshwater Biology* 24: 201-209.
- GILBERTSON M., 1984. Need for development of epidemiology for chemically induced diseases in fish in Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 1534-1540.
- GUNN A. M., HUNT D. T. E. & WINNARD D. A., 1989. The effect of heavy metal speciation in sediment on bioavailability to tubificid worms. *Hydrobiologia* 188/189: 487-496.
- IHAKA R. & GENTLEMAN R., 1996. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical statistics* 5: 299-314.
- LAFONT M., BERNOUUD S. & ROSSO-DARMET A., 2003. La biosurveillance des sédiments dans les écosystèmes d'eau courante basée sur la structure des peuplements d'oligochètes. In: «Qualité et gestion des sédiments d'eau douce. Eléments physico-chimiques et biologiques», MONTUELLE B. (éd.), Cemagref, Collection Etudes, série Gestion des milieux aquatiques 17: 259-290.
- LAFONT M., GRAPENTINE L., ROCHFORT Q., MARSALEK J., TIXIER G. & BREIL P., 2007. Bioassessment of wet-weather pollution impacts on fine sediments in urban waters by benthic indices and the sediment quality triad. *Water, Science and Technology* 56: 13-20.
- LAFONT M., JÉZÉQUEL C., VIVIER A., BREIL P., SCHMITT L. & BERNOUUD S., 2010a. Refinement of biomonitoring of urban water courses by combining descriptive and ecohydrological approaches. *Ecohydrology and Hydrobiology* 10: 3-11.
- LAFONT M., JÉZÉQUEL C., TIXIER G., MARSALEK J., VIVIER A., BREIL P., SCHMITT L., POULARD C. & NAMOUR P., 2010b. From research to operational biomonitoring of freshwaters: a suggested conceptual framework and practical solutions. Proceedings of BALWOIS Conference, Water Observation and Information System for Decision Support, Ohrid, Republic of Macedonia, 25-29 May 2010: 11 p.
- MACDONALD D. D., IGERSOLL C. G. & BERGER T. A., 2000. Development and evolution of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39: 20-31.
- PRYGIEL J., ROSSO-DARMET A., LAFONT M., LESNIAK C., DURBEC A & OUDDANE B., 1999. Use of oligochaete communities for assessment of ecotoxicological risk in fine sediment of rivers and canals of the Artois-Picardie water basin (France). *Hydrobiologia* 410: 25-37.
- ROSSO A., 1995. Description de l'impact des micropolluants sur les peuplements d'Oligochètes des sédiments de cours d'eau du bassin versant de l'Ill (Alsace). Elaboration d'une méthode biologique de diagnostic de l'incidence des micropolluants. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, France: 176 p. + annexes
- ROSSO A., LAFONT M. & EXINGER A., 1994. Impact of heavy metals on benthic oligochaete communities in the River Ill and its tributaries. *Water, Science and Technology* 29: 241-248.
- SLOOF W., 1983. Benthic macroinvertebrates and water quality assessment: some toxicological considerations. *Aquatic Toxicology* 4: 73-82.
- VIVIEN R., 2009. Bioindication de la qualité des sédiments de cours d'eau genevois par les oligochètes. Travail de master en sciences naturelles de l'environnement, Université de Genève, Suisse: 119 p. + annexes
- WANG W., 1987. Factors affecting metal toxicity to (and accumulation by) aquatic organisms – overview. *Environment international* 13: 437-457.

*Manuscrit reçu le 27 juin 2011*