

# SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES SÉDIMENTS

## ÉTAT ACTUEL DES MÉTHODES DISPONIBLES ET MISE EN PLACE DE RECOMMANDATIONS

**Le sédiment constitue un compartiment dynamique et essentiel dans les écosystèmes aquatiques. Il joue un rôle important pour de nombreux animaux et végétaux en tant qu'habitat ou site de ponte. Cependant, il présente la caractéristique d'adsorber des polluants, pouvant être toxiques pour les organismes, et agissant alors comme un réservoir et une source secondaire de contamination à long-terme. Sa surveillance est donc nécessaire pour protéger l'intégrité écologique des écosystèmes aquatiques.**

*Rébecca Flück; Sophie Campiche, Centre Ecotox Eawag/EPFL*

*Luiz Felipe De Alencastro; Luca Rossi, EPF Lausanne*

*Benoît J. D. Ferrari, Irstea Lyon*

*Sergio Santiago, Soluval Santiago*

*Inge Werner, Oekotoxzentrum Eawag/EPFL*

*Nathalie Chèvre, Université de Lausanne*

### QUALITÄTSÜBERWACHUNG VON SEDIMENTEN

#### STAND DER VERFÜGBAREN METHODEN UND EMPFEHLUNGEN

Sedimente spielen eine Schlüsselrolle im aquatischen Ökosystem. Nach der Schweizer Gewässerschutzverordnung dürfen sich dort zum Schutz der Biozönose keine Schadstoffe anreichern. Allerdings mangelt es nicht nur an Zahlenmaterial, sondern es fehlt auch ein nationaler Konsens bezüglich der Sedimentüberwachungsmethoden zur Ermittlung des toxischen Risikos. In diesem Zusammenhang stellen Experten des schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie (Oekotoxzentrum) aus den Kantonen und der Forschung Langzeitüberlegungen bezüglich einer Methodologie zur schweizweit einheitlichen Bewertung und Quantifizierung der Sedimentbelastung an. Dieses Vorhaben zielt darauf ab, eine nationale Anleitung zur Bewertung der Sedimentqualität zur Verfügung zu stellen, die auf einem dreiteiligen Ansatz basiert: chemische Aspekte, biologische Ansätze und ökotoxikologische Tests [1]. In diesem Artikel wird der erste Teil der Untersuchung vorgestellt, der sich mit den Qualitätskriterien zur Bewertung des toxischen Risikos und den Probeentnahmemethoden befasst.

### INTRODUCTION

En Suisse, les sédiments sont impactés par différentes sources de pollution: activités agricoles, décharges, sites industriels, pollution urbaine, etc. En zones urbaines ou à trafic routier important, par exemple, les eaux de ruissellement ainsi que celles provenant des déversoirs du réseau unitaire, transportent des polluants métalliques (par ex. Cu, Zn) et organiques (par ex. hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAPs]) qui peuvent s'accumuler au fond des cours d'eau. Dans le cadre du projet STORM [2], des analyses de contamination et des biotests d'éco-toxicité ont été réalisés sur des sédiments à l'amont et à l'aval de déversoirs d'orage de trois cours d'eau suisses [3, 4]. Ces études ont montré que les déversoirs et les rejets pluviaux de l'autoroute avaient un impact significatif sur la qualité des sédiments, du fait d'une accumulation importante de substances toxiques. Des contaminations conséquentes ont aussi été relevées dans les sédiments accumulés par des barrages hydroélectriques. Par exemple, l'analyse des sédiments de la retenue de Verbois, principal ouvrage du Rhône genevois, démontre une

accumulation significative de métaux lourds, HAPs et polychlorobiphényles (PCBs) [5, 6].

La contamination des sédiments existe donc et présente des risques pour l'environnement aquatique car elle peut engendrer des effets négatifs sur la faune et la flore. Ce risque existe aussi pour l'Homme par le biais d'expositions directes et indirectes (par ex. consommation de poissons contaminés). L'absence de valeurs numériques d'effet (critères de qualité) et de recommandations harmonisées en Suisse pour la surveillance de la qualité des sédiments apparaît comme une problématique significative face à des cas avérés de pollutions.

## DISPOSITIONS LÉGALES ET RECOMMANDATIONS EXISTANTES

### LA MÉTHODE SUISSE

En Suisse, l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux [7]) précise que la qualité des eaux superficielles doit être telle que «[...] les sédiments ne contiennent pas de substances de synthèse persistantes» (OEaux, Annexe 1.3.b), et que «[...] d'autres substances pouvant polluer les eaux et y aboutir par suite de l'activité humaine [...] ne s'accumulent pas dans les végétaux, les animaux, les micro-

organismes, les matières en suspension ou les sédiments [...], n'entravent pas les processus biologiques qui permettent aux végétaux et aux animaux de couvrir leurs besoins physiologiques fondamentaux, tels que les processus du métabolisme, la reproduction et le sens olfactif de l'orientation» (OEaux, Annexe 1.3.c). À ces principes manquent cependant des valeurs quantitatives définies (critères de qualité) à ne pas dépasser dans les sédiments pour les contaminants. En outre, il n'existe pas de recommandations harmonisées pour les méthodes d'analyse et l'évaluation du risque des sédiments contaminés pour l'environnement et pour l'Homme. Pourtant, d'après la législation en vigueur, les sédiments devraient être soumis à un programme de suivi de leur contamination.

### LA MÉTHODE EUROPÉENNE

Les sédiments ont fait l'objet d'études depuis plusieurs décennies en Amérique du Nord, pionnier dans l'évaluation du risque écotoxique des sédiments. À l'échelle européenne, en revanche, c'est au début des années 2000, que le sédiment a pris une place importante dans l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau. En effet, après l'avoir longtemps ignoré, la Directive cadre sur l'eau (DCE),

qui a pour objectif «le bon état écologique des cours d'eau» d'ici 2015, préconise, dans son approche par bassin versant, de ne pas négliger ni ignorer la contamination des sédiments en place, même si elle est complexe, car le statut écologique des eaux de surface en dépend [8-10].

Afin de prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations dans le milieu doivent être comparées à une Norme de Qualité Environnementale (NQE) définie comme la «concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement». La détermination de ces normes pour des substances prioritaires suit une méthodologie spécifique qui a été élaborée au niveau européen [11] et varie selon l'objectif de protection. La méthodologie pour le calcul de critères de qualité environnementale pour la protection des organismes benthiques ( $NQ_{sed}$ ) est résumée dans la figure 1.

De plus, des documents méthodologiques européens ont été publiés pour faciliter l'implémentation de la DCE, tout en améliorant le degré d'harmonisation. C'est le cas du guide consacré au monitoring des sédiments [12]. Ce guide pourra être adapté aux circonstances régionales et

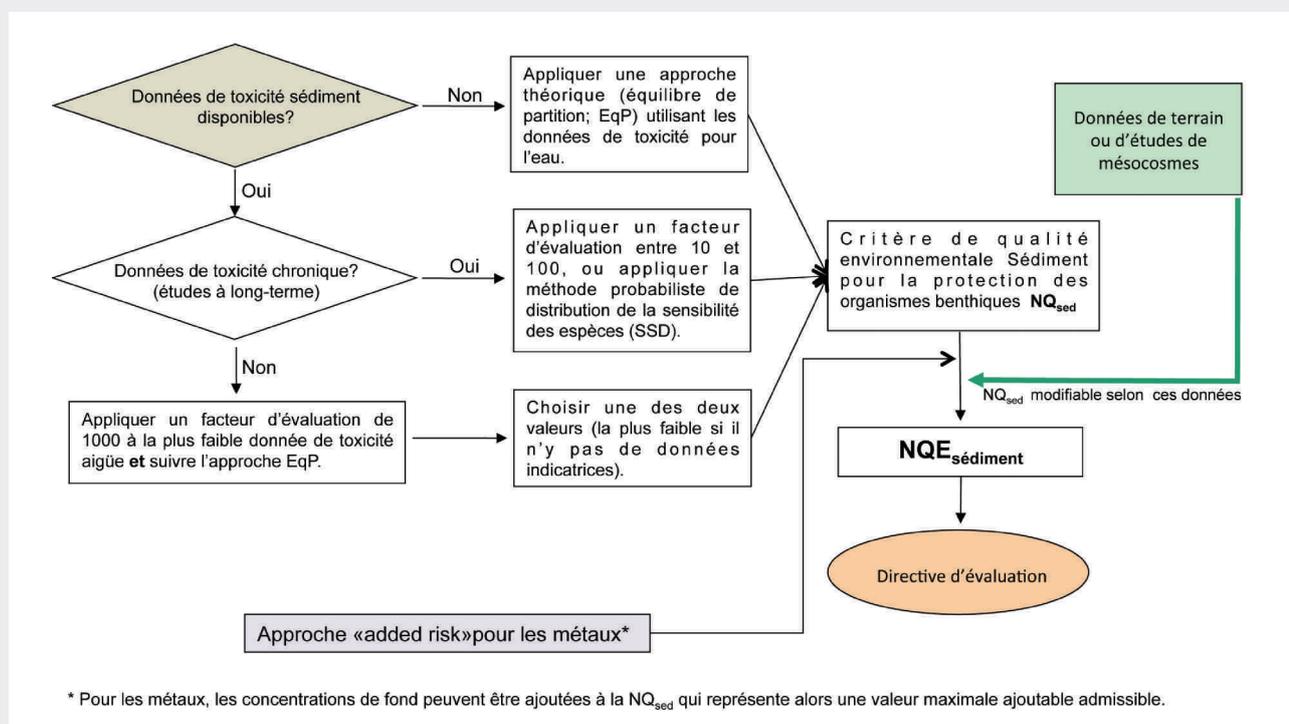


Fig. 1 Méthode de calcul des critères de qualité environnementale pour la protection des organismes benthiques  $NQE_{sed}$  (adapté du document technique de la Commission Européenne pour le calcul des normes de qualité [11])

Ermittlung der Umweltqualitätskriterien zum Schutz der benthischen Organismen  $NQE_{sed}$  (abgeleitet vom technischen Dokument der Europäischen Kommission bezüglich Berechnungen in Qualitätsnormen [11])

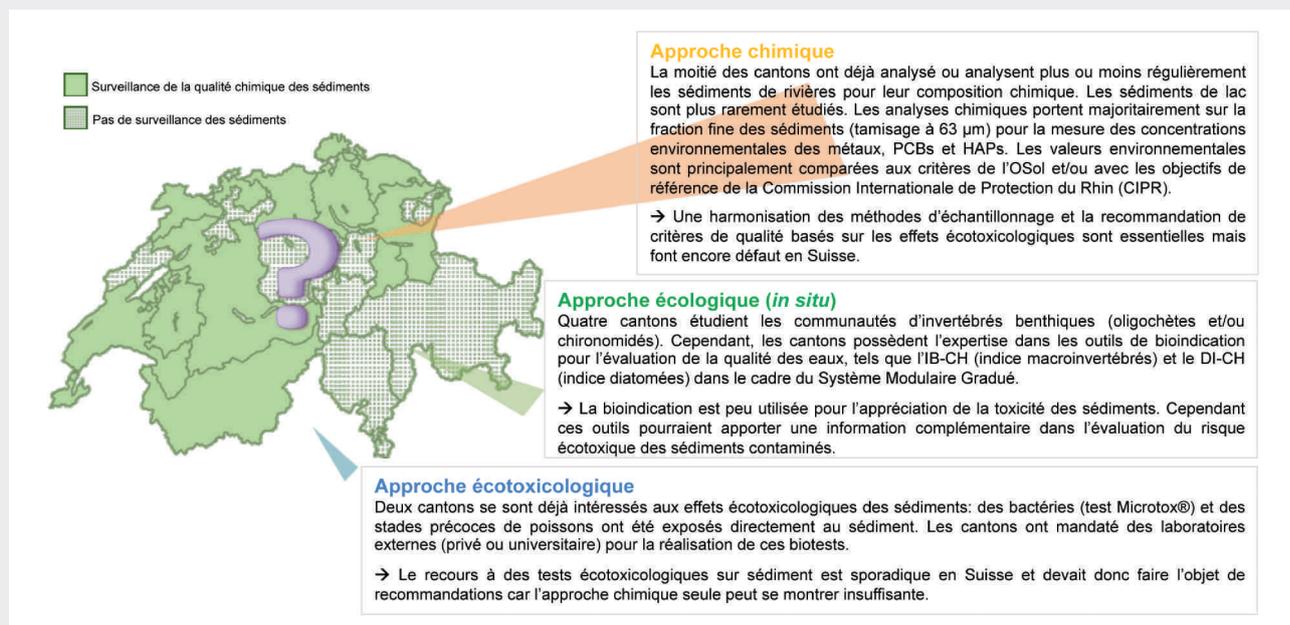


Fig. 2 Résultats de l'enquête sur les méthodes d'évaluation de la qualité des sédiments auprès des vingt-six offices cantonaux de protection de l'environnement en Suisse. Les trois aspects, chimie, écologie et écotoxicologie ont été abordés [15]

Ergebnisse aus der bei sechszwanzig schweizerischen kantonalen Umweltschutzämtern durchgeführten Umfrage zu den Bewertungsmethoden der Sedimentqualität. Es wurden dabei die drei Aspekte Chemie, Ökologie und Ökotoxikologie angesprochen [15]

locales. Finalement, la directive d'évaluation des sédiments prévoit une première étape avec la comparaison des concentrations mesurées aux normes de qualité, suivie d'une deuxième approche basée sur des études écologiques in situ, des biotests ou l'appréciation de la biodisponibilité, si les normes sont dépassées, soit une approche s'apparentant à l'approche Triade décrite plus haut.

## CONNAISSANCES ACTUELLES DANS L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS

S'intéresser aux expertises disponibles dans les cantons suisses est une étape préalable indispensable dans l'élaboration de recommandations harmonisées. Par le biais d'un questionnaire, les vingt-six cantons ont été contactés et leurs réponses ont fourni des informations clés pour la priorisation des opérations à mener et des indications sur les recommandations attendues. Les objectifs de ce questionnaire ont été a) de prendre en compte les différentes méthodes d'étude de surveillance des sédiments, actuellement utilisées et/ou disponibles dans les cantons (pour les trois approches chimique, écologique et écotoxicologique) et b) de pouvoir valider l'établissement de recommandations en interrogeant les gestionnaires sur leurs intérêts et attentes dans ce domaine. Par ailleurs, le contact avec les cantons a permis de compiler des

données existantes de concentrations, afin de compléter la réflexion sur l'utilisation de critères de qualité des sédiments en Suisse [13, 14]. La figure 2 résume les résultats de cette enquête.

### IDENTIFICATION DES LACUNES ET BESOINS

L'intérêt des cantons pour la surveillance des sédiments dans l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface a été confirmé par les résultats de l'enquête. Le fait de pouvoir disposer de critères de qualité s'est avéré être un intérêt prioritaire pour classer les sédiments selon leur potentiel écotoxique. En l'absence de telles recommandations officielles en Suisse, les cantons se réfèrent majoritairement aux valeurs indicatives de l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol [16]), qui sont également souvent utilisées conjointement aux objectifs fixés par la Commission Internationale de Protection du Rhin (CIPR) [17, 18], la majorité des cantons suisses se trouvant dans le bassin versant du Rhin.

Le questionnaire a permis de lister les méthodes d'analyse chimique disponibles et les critères de qualité utilisés dans les cantons suisses. Les résultats montrent qu'il n'y a clairement pas d'homogénéité au niveau des méthodes d'échantillonnage ou des critères de qualité employés. De plus, seuls quatre cantons ont recours à des outils de bioindication pour l'étude des sédiments.

L'utilisation de tests écotoxicologiques est encore rare (figure 2).

## PERSPECTIVES

Dans un premier temps, il semble donc que des critères de qualité pour les sédiments en Suisse doivent être définis afin d'aider les gestionnaires dans l'interprétation des concentrations mesurées. C'est ce que nous présentons plus loin. L'harmonisation des méthodes et des stratégies d'échantillonnage représente également une étape primordiale dans l'établissement des recommandations. Enfin, dans un deuxième temps, comme préconisé dans les approches de type Triade, des outils de bioindication et des tests écotoxicologiques spécifiques adaptés aux sédiments sont également nécessaires pour une évaluation complète du risque écotoxique des sédiments.

### RECOMMANDATIONS DE CRITÈRES DE QUALITÉ SÉDIMENT POUR LA SUISSE

Des critères de qualité basés sur des données écotoxicologiques permettent l'estimation d'un risque de toxicité sur les organismes benthiques. Les valeurs TEC et PEC proposées par MacDonald [19] semblent correspondre le mieux à l'objectif de protection fixée par l'OEaux [7]. La TEC («Threshold Effect Concentration») correspond à une concentration en dessous de laquelle on ne se s'attend

pas à observer des effets. La PEC («Probable Effect Concentration») correspond à une concentration à partir de laquelle une forte probabilité d'avoir des effets est attendue. Des valeurs de TEC et de PEC ont été définies de manière consensuelle pour 28 substances. Certaines d'entre elles sont présentées dans le tableau 1 et comparées à d'autres critères existants. Mais d'autres propositions de critères de qualité sont en cours de développement en Europe ( $QS_{sed}$ ), et plus spécifiquement en Belgique (BF-NQE<sub>sed</sub> [20]). Dans un premier temps, l'utilisation des critères TEC et PEC est donc recommandée pour l'évaluation de la qualité écotoxicologique des sédiments. Une adaptation de ces valeurs pourra néanmoins être envisagée en incluant des données de concentrations mesurées en Suisse, ou en mettant éventuellement à jour ces valeurs avec

de nouvelles données de toxicité sur les organismes benthiques, tout en suivant les avancées en Europe (tableau 1).

D'autre part, l'étude des communautés de macroinvertébrés benthiques peut aussi permettre de déterminer des seuils de toxicité in situ, en corrélant les analyses chimiques avec le résultat d'indices biologiques. Des seuils de toxicité ont par exemple pu être proposés par l'étude des communautés de vers oligochètes dans plusieurs cours d'eau suisses [21].

Notons enfin que la détermination de critères de qualité pour l'évaluation des sédiments requiert par ailleurs l'énumération des substances prioritaires pour ce compartiment en Suisse.

#### POUR UNE HARMONISATION DES MÉTHODES

Les protocoles d'échantillonnage varient entre les cantons, qu'il s'agisse de la frac-

tion granulométrique analysée, du mode de prélèvement ou encore des méthodes de séchage. Or, pour obtenir des valeurs comparables sur le territoire suisse, l'harmonisation de ces méthodes est primordiale. La création d'un groupe de travail permettra la réalisation de cet objectif. Il s'agira d'établir un état actuel de la technique dans ce domaine et un document d'aide à l'exécution pour les gestionnaires. Notons que des méthodes harmonisées existent déjà au niveau européen [12] et ont été publiées récemment en France [22]. Les méthodes américaines, canadiennes ainsi que celles de différents pays européens seront également considérées.

#### IMPORTANCE DES OUTILS BIOLOGIQUES ET ÉCOTOXICOLOGIQUES

Dans l'approche de type Triade, les études in situ des communautés d'orga-

	TEC	PEC	QS <sub>sed</sub> <sup>1</sup>	BF-NQE <sub>sed</sub> <sup>2</sup>	OSol <sup>3</sup>	CIPR <sup>4</sup>
<b>Métaux (mg/kg poids sec)</b>						
Arsenic	9.79	33.00	À venir	19.00	-	40.0
Cadmium	0.99	4.98	2.3	1.00	0.8	1.0
Chrome	43.40	111.00	X	62.00	5.0	-
Cuivre	31.60	149.00	0.8	20.00	40.0	50.0
Mercure	0.18	1.06	3.6	0.55	0.5	0.5
Nickel	22.70	48.60	À venir	16.00	50.0	50.0
Plomb	35.80	128.00	53.4	40.00	50.0	100.0
Zinc	121.00	459.00	37.0	147.00	150.0	190.0
<b>PCBs (µg/kg poids sec)</b>						
Somme de 7 PCBs*	59.80	676.00	X	0.1 – 0.9 / PCB	-	28.0
<b>HAPs (µg/kg poids sec)</b>						
Somme 16 USEPA-HAPs**	1.61	22800.00	X	100 – 370 / HAP	1000	-

Tab. 1 Concentration seuil d'effet TEC et Concentration d'effet probable PEC pour 8 métaux, la somme de polychlorobiphényles (PCBs) et la somme des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) pour les sédiments d'eau douce, développées par MacDonald [18], comparées aux premières valeurs européennes  $QS_{sed}$  et celles développées en Belgique (Flandres) BF-NQE<sub>sed</sub>. Les valeurs OSol et CIPR, très souvent utilisées par les cantons pour l'interprétation des données environnementales sont aussi indiquées

Schwelleneffektkonzentration TEC und Wahrscheinliche Effektkonzentration PEC für 8 Metalle, Summe der polychlorierten Biphenyle (PCBs) und Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) für Süßwassersedimente, von MacDonald entwickelt [18], verglichen mit den ersten europäischen  $QS_{sed}$  und den belgischen (Flandern)-BF-NQE<sub>sed</sub>-Werten. Die VBBo- und IKSR-Werte, welche sehr oft von den Kantonen zur Interpretation der Umweltdaten herangezogen werden, sind ebenfalls angegeben

\* Somme des PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 et PCB-180. Pour les critères BF-NQE<sub>sed</sub>, les valeurs minimales – maximales que l'on peut trouver les congénères sont indiquées

\*\* Somme des 16 HAPs recommandés par l'agence américaine de protection de l'environnement (USEPA, Naphtalène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Indéno(1,2,3-c,d)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène et Benzo(g,h,i)perylène). Pour les critères BF-NQE<sub>sed</sub>, les valeurs minimales – maximales que l'on peut trouver selon les HAPs sont indiquées

<sup>1</sup> Source: <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9> – au 20.01.2012

<sup>2</sup> Critère écologique et écotoxicologique (selon l'approche Triade) [19]

<sup>3</sup> Valeurs indicatives de l'Ordonnance sur les atteintes portées au sol [16]

<sup>4</sup> Normes de qualité environnementale pour les substances prioritaires du Rhin, exceptées pour cadmium, plomb et somme des PCBs, qui sont des objectifs de gestion [17; 18].

- Aucune valeur indicative

X Substance(s) non listée(s) comme prioritaire(s)

nismes benthiques représentent des outils complémentaires aux analyses chimiques, de même que les tests écotoxicologiques. Un grand nombre de tests existent et représentent la méthode la plus pertinente pour évaluer le risque écotoxique des sédiments, notamment du fait de la complexité de la matrice sédimentaire. Une revue de l'état de l'art des biotests pour sédiments (tests par contact direct ou sur des extraits), sur différents niveaux trophiques (bactéries, algues, macro-invertébrés, plantes, etc.) sera menée par le Centre Ecotox en partenariat avec le groupe de travail déjà formé. En outre, la recommandation d'outils biologiques et écotoxicologiques complémentaires devront être en accord avec les modules du système modulaire gradué ([www.systeme-modulaire-gradue.ch](http://www.systeme-modulaire-gradue.ch)), déjà utilisés en Suisse pour l'évaluation des cours d'eau.

Des sites de référence seront identifiés, en collaboration avec les cantons, qui pourront également proposer des sites contaminés, permettant une évaluation de la méthode et son transfert vers les gestionnaires.

## CONCLUSION

Même si la qualité des eaux de surface s'est bien améliorée ces dernières années, par exemple grâce aux nouvelles technologies mises en place dans les stations d'épuration ou par la construction de bassins de récupération des eaux pluviales, des études montrent que la contamination des sédiments, actuelle ou passée, dans certains sites en Suisse, existe et peut poser problème.

Les cantons ont pour responsabilité d'assurer la surveillance de la qualité des sédiments et de mettre en application la législation. De ce fait, ils ont besoin d'outils pour intégrer les sédiments dans les programmes de surveillance globale des milieux aquatiques. Des méthodes adaptées et harmonisées devraient donc être proposées afin d'évaluer la qualité et l'écotoxicité des sédiments et d'assurer le maintien ou le rétablissement d'écosystèmes aquatiques en bonne santé. Le groupe de travail «Sédiment» mené par le Centre Ecotox continuera ses efforts dans ce sens, en proposant un schéma de type Triade pour la surveillance des sédiments, qui jouent un rôle primordial dans l'état écologique global des cours d'eau.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les membres du groupe de discussion «Sédiment»:

Rico Ryser (canton de Berne), Frank Lang (canton de Schaffhouse), les représentants des cantons de Vaud et de Genève, les acteurs privés et les intervenants académiques, de même que les personnes responsables dans les 26 offices cantonaux de l'environnement pour leur collaboration.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Chapman, P.M. (1990): *The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. Science of the Total Environment* 97-98: 815-825
- [2] Rossi, L.; Krejci, V.; Kreikenbaum, S. (2004): *Projet «STORM: Assainissement par temps de pluie». «Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie». gwa, Nr. 6/04: 431-438*
- [3] Margot, J. (2008): *Impacts des déversoirs d'orage sur les cours d'eau. Application de la méthodologie STORM et validation par le biais d'analyses écotoxicologiques et chimiques. Projet de Master en Sciences et ingénierie de l'environnement. École polytechnique fédérale de Lausanne*
- [4] Curdy, R. (2010): *Proposition d'une méthode pour l'évaluation de la pollution et de la toxicité des sédiments: Application pour un site sur la rivière Urtenen dans le canton de Berne. Projet de Master en Sciences et ingénierie de l'environnement. École polytechnique fédérale de Lausanne*
- [5] Institut Forel (2007): *Aspects sédimentaires de la gestion du barrage de Verbois. Rapport établi sur mandat des services environnementaux de l'État de Genève et des Services Industriels de Genève (SIG)*
- [6] Institut Forel (2010): *Échantillonnage et analyse de sédiments du réservoir de Verbois: Complément d'investigations. Rapport établi sur mandat des services environnementaux de l'État de Genève et des Services Industriels de Genève (SIG)*
- [7] OFEV (1998): *Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux). RS 814.201. Office fédéral de l'environnement, Berne*
- [8] European Parliament and Council (2000): *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy*
- [9] European Parliament and Council (2001): *Decision No 2455/2001/EC of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC*
- [10] Förstner, U. (2007): *Environmental quality standards (EQS) applicable to sediment and/or biota. Journal of Soils and Sediments. 7(4): 270*
- [11] EC (2011): *Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards. Guidance Document No. 27. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE). Technical Report - 2011 - 055. European Commission*
- [12] EC (2010): *EU guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the water framework directive. Guidance Document No. 27. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/CE). Technical Report - 2010 - 041. European Commission*
- [13] Centre Ecotox (2010): *Use of sediment quality criteria for the assessment of sediment toxicity: Applicability to Switzerland. Rapport établi dans le cadre du projet «Évaluation de la qualité des sédiments en Suisse». Centre suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL, Lausanne. [www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index\\_FR](http://www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index_FR)*
- [14] Centre Ecotox (2012): *Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse: état actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations. Rapport établi dans le cadre du projet «Évaluation de la qualité des sédiments en Suisse». Centre suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL, Lausanne. [www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index\\_FR](http://www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index_FR)*
- [15] Centre Ecotox (2011): *Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse: Synthèse d'un questionnaire. Rapport établi dans le cadre du projet «Évaluation de la qualité des sédiments en Suisse». Centre suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL, Lausanne. [www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index\\_FR](http://www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/index_FR)*
- [16] OFEV (1998): *Ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). RS 814.12. Office fédéral de l'environnement, Berne*
- [17] CIPR (2007): *Comparaison de l'état du Rhin de 1990 à 2004. Rapport N° 159. Commission Internationale pour la Protection du Rhin, Coblenz*
- [18] CIPR (2009): *Détermination de normes de qualité environnementale pour les substances significatives pour le Rhin. Rapport N° 164 Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D-56068 Coblenz*
- [19] MacDonald, D.; Ingersoll, C.; Berger, T. (2000): *Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 39(1): 20-31*
- [20] de Deckere, E.; De Cooman, W.; Leloup, V.; Meire, P.; Schmitt, C.; von der Ohe, P.C. (2011): *«Development of sediment quality guidelines for freshwater ecosystems». Journal of Soils and Sediments 11(3): 504-517*
- [21] 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. Accepté*
- [22] Schiavone, S.; Coquery, M. (2011): *Guide d'échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. Cemagref, Lyon*