

***LES PIEGES A PARTICULES: PRINCIPES, ETAT DE L'ART ET
PERSPECTIVES POUR LA SURVEILLANCE DES MILIEUX
AQUATIQUES***

FOCUS SUR LES COURS D'EAUX

**S. LARDY-FONTAN et N. GUIGUES (LNE),
A. DABRIN et M. MASSON (Irstea)**

Août 2017

Document final

En partenariat avec



Avec le soutien de



Avec le soutien de



Contexte de programmation et de réalisation

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du programme d'activité AQUAREF pour l'année 2016 dans le cadre du partenariat ONEMA – AQUAREF 2016, au titre de l'action G- Valider et transférer des méthodes et technologies innovantes.

Auteur (s) :

Sophie Lardy-Fontan
LNE
sophie.lardy-fontan@lne.fr

Nathalie Guigues
LNE
nathalie.guigues@lne.fr

Aymeric Dabrin
Irstea
aymeric.dabrin@irstea.fr

Mathieu Masson
Irstea
mathieu.masson@irstea.fr

Approbateur :

Sophie Vaslin-Reimann
LNE
Sophie.vaslin-reimann@lne.fr

Vérification du document :
Anice Yari
Irstea
Anice.yari@irstea.fr

Jean-Philippe Ghestem
BRGM
jp.ghestem@brgm.fr

Les correspondants

Onema : Pierre François Staub (pierre-francois.staub@afbiodiversite.fr)

LNE : Sophie Vaslin-Reimann (sophie.vaslin-reimann@lne.fr)

Référence du document : S. LARDY-FONTAN et N. GUIGUES, A. DABRIN et M. MASSON, Les pièges à particules: principes, Etat de l'art et perspectives pour la surveillance des milieux aquatiques - focus sur les cours d'eaux, Rapport AQUAREF 2016 – 35p.

Droits d'usage :	<i>Accès libre</i>
Couverture géographique :	International
Niveau géographique :	National
Niveau de lecture :	Professionnels, experts
Nature de la ressource :	Document

Sommaire

1. INTRODUCTION	9
1.1 <i>Contexte</i>	9
1.2 <i>Objectifs</i>	11
2. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES MASSES D'EAU	12
2.1 <i>Intercomparaison de méthodes d'échantillonnage des matières en suspension en milieu fluvial : application à la mesure de la concentration en micropolluants métalliques (Ciffroy et al., 1999)</i>	12
2.2 <i>Surveillance de contaminants dans les MES comme alternative aux sédiments (Shubert et al., 2012)</i>	13
2.3 <i>Etude des MES dans le cadre du programme PIREN-SEINE (Estebe et al., 1996)</i>	14
2.4 <i>Effets des techniques d'échantillonnage sur les paramètres physiques et les concentrations en polluants organiques persistants des matières en suspension (Pohlert et al., 2011)</i>	16
2.5 <i>Projet Moerman - GISSeD (Issep)</i>	17
2.6 <i>Etude de faisabilité : le prélèvement des MES dans le cadre d'un réseau pérenne de surveillance des micropolluants (Jouglet, 2007)</i>	17
2.7 <i>RiverPOP 2010 : Mesures de contaminants traces dans la rivière Glomma et recommandations issues du projet (Allan et al., 2011)</i>	18
2.8 <i>Evaluation des risques de sédiments en République Tchèque : niveaux de POPs et profils de toxicité (Bláha L. et al., communication personnelle)</i>	19
2.9 <i>Harmonisation et Evaluation des techniques d'échantillonnage dans les systèmes aquatiques (HESTIA) : évaluation des tendances en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques et métaux lourds dans le Danube (Environment Agency Austria and Water Research Institute Slovakia)</i>	20
2.10 <i>Variabilité spatio-temporelle des métaux labiles, dissous total, solides : Evaluation par échantillonnage discret et passif dans le cadre de la surveillance des métaux dans les rivières (Priadi et al., 2011)</i>	20
2.11 <i>Surveillance des antimicrobiens, triclosan et triclocarban, par des techniques d'échantillonnage actifs et passifs dans l'Arkansas et Fountain Creek (Gautam, 2012)</i> .	20
2.12 <i>Intérêt des pièges à particules dans des conditions orageuses (Furrer et al., 2009)</i>	21
3. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DE TENDANCES TEMPORELLES ET /OU SPATIALES	22
3.1 <i>Distribution de l'hexabromocyclododécane dans les particules de la rivière Detroit (Marvin, 2006)</i>	22
3.2 <i>Tendances dans la contamination des particules du système « rivière Detroit - Lac St. Clair - Corridor St. Clair » 2000 - 2004 (Jia et al., 2010)</i>	23
3.3 <i>Transport et caractérisation des MES dans le bassin versant de la Seine : identification de signatures naturelles et anthropiques (Tessier, 2003)</i>	23
3.4 <i>Stabilisants UV dans les MES, les sédiments et les poissons de rivières allemandes : occurrence, tendances temporelles et persistance (Wick et al., 2016)</i>	24
4. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DES MESURES DE LA BIODISPONIBILITE/TOXICITE DES POLLUANTS DANS LES SEDIMENTS	25
4.1 <i>Un nouveau piège à sédiment DGT pour la mesure in situ des éléments remobilisables des particules sédimentant dans la colonne d'eau et ses applications à l'analyse de métaux traces relargués par les oxydes de Mn et Fe (Hamilton et al., 1999)</i>	25

4.2	<i>Plateforme d'évaluation de l'écotoxicité de sédiments pour des mesures in situ de chimie, bioaccumulation et de toxicité. Partie 1: description du système et démonstration (Burton et al, 2012)</i>	26
4.3	<i>Plateforme d'évaluation de l'écotoxicité de sédiments pour des mesures in situ de chimie, bioaccumulation et de toxicité. Partie 2: application intégrée à un estuaire peu profond (Rosen et al, 2012)</i>	27
5.	PIEGES A PARTICULES POUR L'ESTIMATION DES FLUX	27
5.1	<i>Possibilités et limitations des pièges à particules à mesurer les sédiments et resuspension (Kozerski, 1994)</i>	27
5.2	<i>Nouveau piège à particules pour les systèmes d'eaux douces drainables (Banas et al., 2002)</i>	28
5.3	<i>Flux de MES, de mercure et de PCB particuliers dans le Rhône : du Léman à la Méditerranée (Launay et al., 2014)</i>	28
6.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	29
7.	BIBLIOGRAPHIE	31

Liste des Annexes

ANNEXE 1 : Transports sédimentaires	33
ANNEXE 2 : Principes théoriques des pièges à particules (sédiments / MES)	34

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de principe du piège à particules - LABAM.....	12
Figure 2 : Schéma de principe du décanteur émergé EDF.....	13
Figure 3 : Illustration du BISAM.....	14
Figure 4 : Illustration du piège à particules (Standard box of the German Environmental Specimen Bank (ESB)). Extrait de Schubert et al., 2012)	14
Figure 5 : Illustration du dispositif de prélèvement de particules en surface (Estebe, 1996)	15
Figure 6 : Illustration du système de piège à particules pour des prélèvements à différentes profondeurs de la colonne d'eau (Estebe et al., 1996).	15
Figure 7 : Illustration des comparaisons entre les mesures acquises à l'aide des pièges à particules et les mesures acquises avec les méthodes conventionnelles (filtration et centrifugation) : Cas des métaux (Estebe et al., 1996).....	16
Figure 8 : Exemple de piège à particules et conditions de déploiement sur la Samme à Ronquières (photo ISSeP)	17
Figure 9 : Exemple de pièges à particules- Agence de l'eau Seine Normandie (Jouglet 2007)	18
Figure 10 : Illustration graphique de la corrélation entre les mesures de PCB, OCP, PBDE et HAP dans les particules obtenues par centrifugation et piège à particules (Allan et al., 2010)	19
Figure 11 : Corrélation entre les mesures de PCB, OCPs, PBDE et HAP dans les particules par piège à particules et par prélèvement de sédiments de fond (Blaha et al., 2010).	19
Figure 12 : Illustration des concentrations (ng/L) en triclosan et triclocarban par les approches intégratives (a) phase aqueuse-POCIS en (b) particules-pièges à particules : variabilité saisonnière et spatiale.....	21
Figure 13 : Illustration du déploiement de pièges à particules dans les réseaux canalisés (Fuller et al., 2009)	21
Figure 14: Illustration du dispositif « Schematic of a single-point sediment trap mooring » (Marvin et al., 2002)	22
Figure 15 : Illustration des résultats de l'évolution spatiale et temporelle de la contamination en HBCDD à l'aide de pièges à particule dans la rivière Detroit (Marvin, 2006)	23
Figure 16 : Exemples de pièges a particules - Tessier (2003).....	24
Figure 17 : Illustration de tendances temporelles sur l'UV-328, UV-327, UV-360 et la somme des 9 Benzotriazoles dans les particules des sites de Koblenz (Rhin) et de Rehlingen (Sarre, km 54,2) sur la période 2005-2013.	24

Figure 18 : Illustration schématique du piège à particules - Hamilton-Taylor et al. (1999).....	25
Figure 19 : Illustration et principe de fonctionnement de la plate-forme « Sea ring » (Burton et al., 2012)	27
Figure 20 : Exemple de piège à particules- Banas et al. (1992)	28
Figure 21 : Modes de transport des particules dans un courant	33
Figure 22 : Diagrammes de Hjulström.....	33
Figure 23: Différentes formes de pièges à particules classées selon leur efficacité de prélèvement - Rosa et al. (1994)	34
Figure 24 : Schémas montrant le cheminement des particules autour de différents pièges pour des régimes calmes et turbulents - Rosa et al. (1994)	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des systèmes de prélèvement de particules pour les analyses physico-chimiques (d'après Launay, 2014)	11
Tableau 2 : Bilan des avantages et inconvénients des approches pièges à particules selon les objectifs de surveillance visés.....	29

LISTE DES ABREVIATIONS

COP : Carbone Organique Particulaire
DCE : Directive loi Cadre sur l'Eau
DGT : Diffusive Gradient in Thin films
EIP : Echantillonneur Intégratif Passif
ESB : Environmental Specimen Banking
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HBCDD : HexaBromoCycloDoDécane
Hg : Mercure
MES : Matières en suspension
NQE : Norme de Qualité Environnementale
OCP : Pesticides Organo Chlorés
PCB : PolyChloroBiphényles
POP(s) : Polluant(s) Organique(s) Persistant(s)
PBDE : PolyBromoDiphénylEthers

LES PIÈGES À PARTICULES (MES/SEDIMENT) : PRINCIPES, ÉTAT DE L'ART ET PERSPECTIVES POUR LA SURVEILLANCE DES MILIEUX AQUATIQUES

S. LARDY-FONTAN ET N. GUIGUES (LNE), A. DABRIN ET M. MASSON (IRSTEA)

RESUME

La prise en compte des particules est un point central de l'évaluation des masses d'eaux.

Un large éventail de techniques est disponible pour l'échantillonnage des particules (MES/Sédiments) dans les systèmes aquatiques. La pertinence de chaque technique est déterminée par les flux et dynamiques des particules, les exigences sur les données (limite de quantification, exactitude, incertitude, représentativité, ...) et les ressources disponibles. Ces facteurs déterminent la méthode d'échantillonnage à adopter et la manière dont l'échantillon devra être manipulé (transporté et stocké) après la collecte. Il est donc indispensable de porter une attention particulière à la question suivante : quelle(s) approche(s) d'échantillonnage fournira (ont) l'échantillon le plus représentatif ?

Les pièges à particules sont des collecteurs, boîtes, ou paniers, placés dans la colonne d'eau et qui capturent les particules en continu par décantation. Une fois déployé, l'eau passe au travers du système au sein duquel une diminution de la vitesse du débit s'opère, provoquant la décantation des particules dans l'outil.

L'objectif de cette action est d'évaluer le potentiel des pièges à particules dans le cadre de la surveillance de la contamination chimique des milieux aquatiques.

Les principales observations démontrent que les pièges à particules peuvent être intégrés dans des stratégies de surveillance de la contamination chimique des milieux aquatiques, notamment pour :

- Intégrer la variabilité des concentrations en contaminants dans les particules;
- Suivre en tendance la contamination chimique des masses d'eau ;
- Améliorer la représentativité de l'évaluation de la contamination chimique des milieux aquatiques par une mesure intégrée, en complément d'échantillonneurs intégratifs ;
- Répondre aux exigences de surveillance de l'état chimique NQE et fraction eau totale ; en complément d'échantillonneurs intégratifs passifs ;
- Estimer des flux de contaminants particuliers.

Mots clés (thématique et géographique) : surveillance, tendances, pièges à particules, matières en suspension, sédiments, échantillonnage ; représentativité

SEDIMENT TRAP: PRINCIPLES, STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES FOR AQUATIC SYSTEM MONITORING

S. LARDY-FONTAN ET N. GUIGUES (LNE), A. DABRIN ET M. MASSON (IRSTEA)

ABSTRACTS

Particulate matters are a central point in the assessment of water bodies.

A wide range of techniques is available for sampling of particulate matters (TSS / Sediment) in aquatic systems. The relevance of each technique is determined by the flows and dynamics of the particulate matters, the data requirements (limit of quantification, accuracy, uncertainty, representativity ...) and available resources. These factors determine the sampling strategy and method to be adopted and how the sample should be handled (transported and stored) after collection. It is therefore essential to pay particular attention to the following question: Which sampling approach (s) will provide the most representative sample?

Sediment traps are collectors, boxes, or baskets, placed in the water column and which capture the particulate matters continuously by decantation. Once deployed, the water passes through the system in which a decrease in the velocity of the flow occurs, causing the particulate matters to decant in the tool.

The objective of this action is to evaluate the potential of sediment traps in the monitoring of chemical contamination of aquatic environments.

The main observations show that sediment traps can be integrated into strategies for the chemical monitoring of aquatic environments' contamination, in particular to:

- Integrate the variability of contaminant concentrations in particulate matter;
- Track chemical contamination of water bodies;
- Improve the representativeness of the assessment of chemical contamination of aquatic environments by an integrated measure, in addition to integrative samplers;
- Meet chemical monitoring requirements for EQS and whole water; in addition to passive integrative samplers;
- Estimate flows of particulate contaminants.

Key words (thematic and geographical area): sediments, suspended solids, monitoring, sediment trap, sampling, representativity

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

CYCLE NATUREL DES PARTICULES DANS LES MILIEUX AQUATIQUES

Les sédiments sont des particules constituées de sable, de vase, d'argile ou de matières organiques, déposées au fond d'une masse d'eau (cours d'eau, plans d'eau) et susceptibles d'être transportées par les eaux de surface (Stronkhorst et al., 2004). Les sédiments sont une partie intégrante, essentielle et dynamique des bassins hydrographiques, des estuaires et des eaux côtières. La plupart des sédiments sont issus de l'érosion mécanique et de l'altération chimique des minéraux, de la matière organique et des sols au niveau de la zone amont des bassins hydrographiques, mais aussi de l'érosion mécanique des berges des rivières (Stronkhorst et al., 2004 ; Brils, 2008). Quand le débit des eaux de surface diminue, les particules transportées sédimentent le long du lit de la rivière ainsi que sur les berges. L'hydrodynamique naturelle des rivières, de par ses variations de débit, entretient un équilibre entre la remise en suspension des sédiments et leur re-sédimentation (Brils, 2008) (Annexe 1). Les sédiments ont une valeur écologique forte car ils sont le support d'une variété d'habitats et d'espèces vivantes. Par ailleurs, les sédiments sont une source importante de nutriments pour les organismes benthiques, et par conséquent pour les espèces de rang plus élevé dans la chaîne alimentaire. La dynamique sédimentaire et les variations de gradient (hautes et basses eaux) sont des conditions favorisant la biodiversité. Les sédiments sont aussi bénéfiques d'un point de vue socio-économique. En effet, pendant des siècles, les hommes ont exploité les sédiments fertiles des rivières pour l'agriculture, ou encore comme source de minéraux et de matériaux (Stronkhorst et al., 2004). Depuis le début de la révolution industrielle, les émissions et rejets anthropiques de produits chimiques dans les eaux ont engendré une rapide détérioration de la qualité des sédiments. Dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, un nouveau type de management est né : la gestion de la qualité des sédiments. Ainsi, sous l'influence de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE), les sédiments, jadis considérés comme de simples déchets, ont vu leur rôle dans le fonctionnement des bassins hydrographiques reconnus (Stronkhorst et al., 2004).

Aujourd'hui, les sédiments sont donc considérés comme des sources de pollution car ils agissent comme des pièges à polluants et peuvent ainsi potentiellement relarguer ces polluants lors de la remise en suspension des particules ou lors de changements physico-chimiques dans la qualité de l'eau. Par ailleurs, les sédiments représentent une matrice de choix pour le suivi des composés hydrophobes comme les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), etc.

CONTEXTE EUROPEEN DE LA SURVEILLANCE DES MILIEUX AQUATIQUES

Quatre grands objectifs de surveillance liés, d'une part, à la matrice eau (incluant les matières en suspension ou MES) et, d'autre part, aux sédiments (d'après Brils, 2008 ; Stronkhorst et al., 2004 ; Schubert et al., 2012) peuvent être cités :

- 1) L'évaluation de la qualité chimique, c'est-à-dire le respect des normes de qualité environnementale ;
- 2) L'évaluation des tendances temporelles et spatiales ;
- 3) L'évaluation et la caractérisation des expositions indispensables à l'évaluation des risques ;
- 4) L'estimation des flux de MES ;
- 5) L'estimation des flux de contaminants associées aux MES.

Afin de prendre en compte le problème de la contamination des particules (sédiments notamment) et de la source de polluants qu'ils peuvent représenter pour les milieux aquatiques, la DCE prévoit des dispositions spécifiques. Il est évident, dans la DCE, que le suivi de la qualité des sédiments joue un rôle non négligeable par rapport à l'estimation des impacts sur la qualité environnementale, ou pour suivre les tendances du niveau de concentration de certains polluants, ou pour répondre aux objectifs de non détérioration de la DCE, ou encore lors de l'étude du devenir et du comportement des polluants dans l'environnement (Stronkhorst et al., 2004).

Les sédiments sont des matrices recommandées pour l'évaluation de l'état chimique pour certains métaux et composés hydrophobes dans les milieux marins et les milieux lenticules (plans d'eau). L'article 3 de la DCE laisse la possibilité aux états membres de dériver des NQE dans des matrices alternatives pertinentes tant que ceux-ci démontrent qu'ils aboutissent à un niveau de

protection équivalent. Ces éléments sont repris dans le guide CIRCA n°27, toutes les substances ne nécessitent pas d'évaluation dans le sédiment. Les critères de déclenchement d'une telle évaluation sont conformes à ceux définis règlement REACH. En général, les substances ayant un coefficient d'adsorption du carbone organique (Koc) $< 500 - 1000 \text{ l kg}^{-1}$ ne risquent pas d'être adsorbées dans les sédiments. Par conséquent, un $\log Koc$ ou $\log Kow \geq 3$ est utilisé comme valeur de déclenchement pour l'évaluation des effets des sédiments. Certaines substances peuvent se trouver dans les sédiments même s'ils ne répondent pas à ces critères, de plus, des preuves d'une toxicité élevée pour les organismes aquatiques ou les organismes vivant dans les sédiments ou l'accumulation dans les sédiments de la surveillance pourraient également déclencher la détermination d'une NQE. Il est à noter cependant que très peu d'Etats Membres ont initiés de dériver des NQE pour cette matrice, c'est le cas notamment de la France.

Au contraire, dans les milieux lotiques (dynamiques), les sédiments ne fournissent pas souvent une matrice appropriée pour vérifier la conformité en raison d'une très grande variabilité de la quantité, de la nature et de la composition granulométrique, minéralogique et chimique des sédiments déposés. En outre, dans ces milieux, les sédiments peuvent être soit trop perturbés (lors de remise en suspension lors des crues par exemple) pour être représentatifs, soit absents. Dans ces cas, cette évaluation pourrait être faite par la mesure des concentrations en contaminants dans les matières en suspension (MES) (Shubert et al., 2012).

Pour les analyses de tendances, les stratégies d'échantillonnage et les procédures d'examen et d'analyse des sédiments devraient idéalement assurer la continuité des programmes de surveillance préexistants ; notamment au travers de l'utilisation de matières en suspension (MES) ou de sédiments fraîchement déposés recueillis par des pièges à particules comme alternative à la surveillance plus conventionnelle des sédiments notamment dans les grandes rivières de plaines. (Guide CIRCA n°25).

STRATEGIES ET METHODES DE SURVEILLANCE DES PARTICULES DANS LES MILIEUX AQUATIQUES

Un large éventail de techniques est disponible pour l'échantillonnage des particules (MES/Sédiments) dans les rivières. La pertinence de chaque technique est déterminée par les flux et dynamiques des particules, les exigences sur les données (limite de quantification, exactitude, incertitude, représentativité, ...) et les ressources disponibles. Ces facteurs déterminent la méthode d'échantillonnage à adopter et la manière dont l'échantillon devra être manipulé (transporté et stocké) après la collecte.

Il est donc indispensable de porter une attention particulière - avant le déploiement de pièges à particules - aux questions suivantes en raison de la variabilité temporelle naturelle du système :

- variations des flux,
- variations transversales dans le transport des sédiments,
- quantité de matériaux nécessaire pour une analyse ultérieure,

quelle(s) approche(s) d'échantillonnage fournira (ont) l'échantillon le plus représentatif ?

Il existe plusieurs types de stratégie d'échantillonnage des particules. Chacune de ces approches peut être utilisée de façon très efficace de manière indépendante ou combinée (par exemple Perks et al. 2013). Elles peuvent être classées en:

(1) Dispositifs d'échantillonnage manuel capables de capturer une masse de matière qui est représentative du flux de particules à un instant donné.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées : la filtration tangentielle, la centrifugation en continu, la décantation (modèle MIM – EDF, cf. figure 2) et enfin le prélèvement ponctuel au moyen de carottiers, dragues ou bouteilles de Hansel (Rosa et al., 1994 ; Thévenot, 2000). Ces dispositifs nécessitent la présence d'un agent sur le terrain.

(2) Dispositifs capables de recueillir des échantillons discrets lors d'événements particuliers (une crue par exemple).

Ces dispositifs, qui peuvent être passifs ou contrôlés, sont capables de collecter des échantillons représentatifs lorsque l'appareil est disposé de manière appropriée. Ils peuvent également être configurés de manière à capturer une masse suffisante de matière pour conduire des analyses physico-chimiques (Baborowski et al., 2005).

(3) Dispositifs capables de collecter un matériau représentatif du flux ambiant au cours de la période de surveillance.

Ces dispositifs permettent de pallier au manque d'intégration temporelle associée aux dispositifs évoqués en (1) et de fournir un échantillon composite pour l'analyse.

Les échantillonneurs intégratifs dans le temps appelés pièges à particules prennent ainsi en compte cette dimension en moyennant les variations temporelles de la concentration en particules sur une période de temps donnée.

Le Tableau 1 présente une synthèse comparative des systèmes de prélèvement de particules pour les analyses physico-chimiques.

Tableau 1 : Comparaison des systèmes de prélèvement de particules pour les analyses physico-chimiques (d'après Launay, 2014)

Technique de prélèvement	Quantité prélevée	Taille des particules échantillonnées (μm)			Position dans la section	Représentativité temporelle	Coûts		Technicité	Conditionnement au laboratoire
		1-10	10-27	27-80			achat	usage		
Manuel	*	***	***	***	suspension	instant à qqs jours	*	*	*	***
Centrifugation en continu	**	***	***	*	suspension	1-5 h	***	***	***	*
Piège à sédiments	***	*	**	***	suspension et fond	1 à 15 j	**	*	*	**
Prélèvement automatique	*	**	**	**	suspension	instant à qqs jours	***	**	**	***
Filtration grand volume	*	**	**	*	suspension	instant	***	**	***	***
Sédiments superficiels	***	*	**	***	fond	mois à année	**	**	**	*
Dépôts de crue	***	*	**	***	suspension et fond	décru	*	*	*	*
Carottage	**	*	*	***	fond	années	***	***	***	***

Le nombre d'étoiles indique qualitativement la performance ou l'importance relative de chaque critère d'évaluation, du moins satisfaisant (*) au plus efficace (***)

PRINCIPES DES PIEGES A PARTICULES

Dans la bibliographie une très grande hétérogénéité de vocabulaire est utilisé : pièges/ trappes à MES/sédiments/sédiments en suspension/particules. Ainsi, par exemple, les MES recueillies avec des pièges sont également appelées " sédiments frais issus de matières solides en suspension ".

En conséquence, afin de faciliter la lecture de ce document le terme piège à particules sera utilisé, indépendamment des contextes de mise en œuvre.

Les pièges à particules sont des collecteurs, boîtes, ou paniers, placés dans la colonne d'eau et qui capturent les particules en continu par décantation. Une fois déployé, l'eau passe au travers du système au sein duquel une diminution de la vitesse du débit s'opère, provoquant la décantation des particules dans l'outil. Les principes théoriques ont été définis par Bloesch et Burns (1980).

Afin qu'un piège à particules puisse prélever efficacement et correctement les particules qui sédimentent à la fois pour des régimes calmes et turbulents, les deux conditions suivantes doivent être respectées à tout instant :

1. La concentration en particules doit être égale entre le milieu (extérieur) et la zone de turbulence du piège (partie supérieure)
2. Les particules qui ont sédimenté au fond du piège ne doivent pas être remises en suspension sous l'effet de la turbulence.

Des précisions supplémentaires sont également disponibles en Annexe 2.

1.2 OBJECTIFS

L'objectif de cette synthèse est d'évaluer le potentiel des pièges à particules dans le cadre de la surveillance de la contamination chimique des milieux aquatiques, notamment :

- le potentiel des outils d'échantillonnages, notamment les pièges à particules afin de mieux intégrer la variabilité des concentrations en contaminants dans ces supports;

- le potentiel de ce type d'approche dans le suivi en tendance de la contamination chimique des masses d'eau ;
- la complémentarité de ce type d'approche par rapport aux échantillonneurs intégratifs pour améliorer la représentativité de l'évaluation de la contamination chimique des milieux aquatiques ;
- la complémentarité de ce type d'approche par rapport aux échantillonneurs intégratifs pour répondre aux exigences de surveillance de l'état chimique NQE et fraction eau totale.

Ce rapport est donc un état de l'art bibliographique et documentaire sur les différents outils permettant d'échantillonner les MES et les sédiments. Il inclut un bilan des méthodologies de mise en œuvre de ces pièges pour le suivi de la contamination chimique des masses d'eau.

2. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES MASSES D'EAU

En s'appuyant sur quelques exemples issus de la bibliographie, différents points sont abordés et illustrés :

- Des aspects méthodologiques sur la représentativité des échantillons obtenus par pièges à particules par rapport à d'autres approches conventionnelles ;
- L'intérêt d'une approche complémentaire par échantillonneur intégratif passif (EIP) et par échantillonnage par piège à particules ;
- L'intérêt des pièges à particules pour l'évaluation des apports en conditions extrêmes (par exemple par temps de pluie).

2.1 INTERCOMPARAISON DE METHODES D'ECHANTILLONNAGE DES MATIERES EN SUSPENSION EN MILIEU FLUVIAL : APPLICATION A LA MESURE DE LA CONCENTRATION EN MICROPOLLUANTS METALLIQUES (Ciffroy et al., 1999)

Ciffroy et al. (1999) présentent les résultats d'une étude visant à comparer plusieurs méthodes de prélèvement de MES (centrifugation, prélèvement séquentiel d'eau et filtration, filtration sur cartouches, pièges immergés et décanteur émergé, dit MIM), afin d'évaluer la représentativité de l'échantillonnage et la faisabilité des techniques testées pour l'évaluation des concentrations en micropolluants métalliques particulaires. Deux exemples de dispositifs sont présentés ci-dessous dans la Figure 1 et la Figure 2.

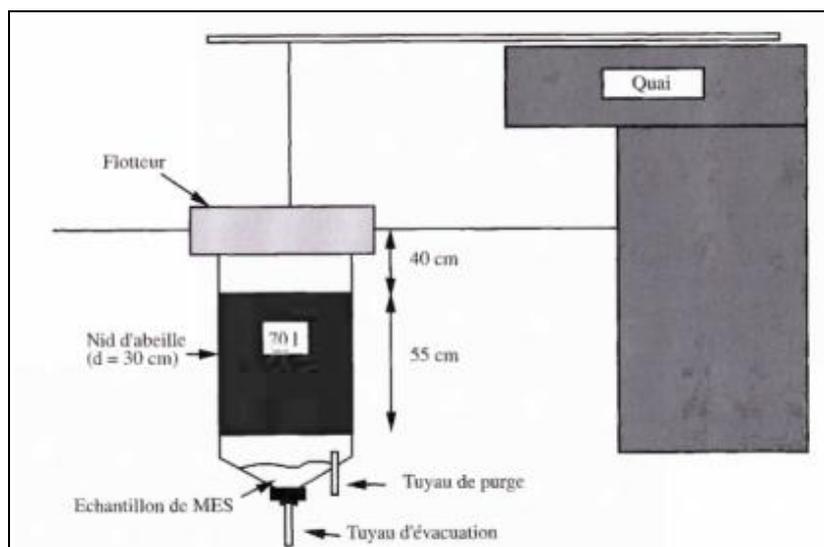


Figure 1 : Schéma de principe du piège à particules - LABAM

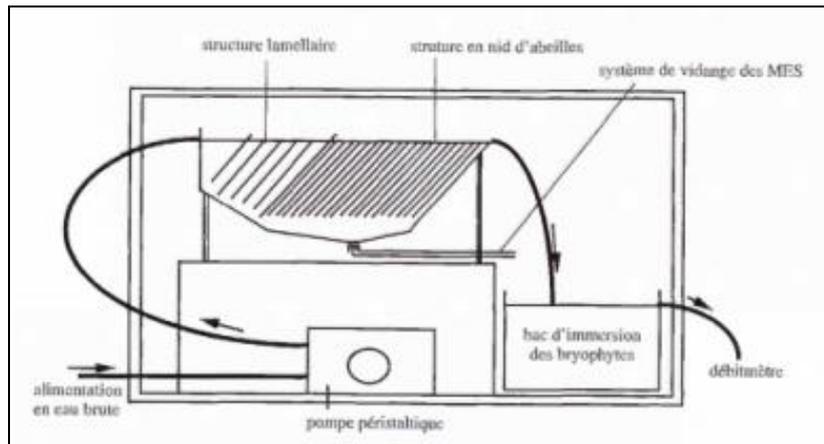


Figure 2 : Schéma de principe du décanteur émergé EDF

Les résultats obtenus ont permis de formuler des recommandations pour l'amélioration de la qualité des données, à savoir :

- L'emploi de filtres qui doivent être soumis à des procédures de lavage et de contrôle préalables strictes en raison des risques de contamination plus importants qu'avec des approches conventionnelles d'échantillonnage (centrifugation, prélèvement ponctuel, filtration sur cartouche).
- La mesure systématique des spectres granulométriques des échantillons collectés par les pièges afin de corriger les biais provoqués par les conditions locales d'écoulement. Des études ultérieures sont par ailleurs nécessaires afin de définir une procédure de normalisation granulométrique des concentrations métalliques mesurées dans les échantillons de pièges (Etudes non disponibles à notre connaissance).
- La mise en place d'études complémentaires visant à définir la spéciation biogéochimique des métaux particuliers sur les méthodes de prélèvement des MES, (en effet, l'étude a montré que les échantillons prélevés par le MIM sont plus riches en métaux associés aux matières oxydables. Le MIM collecterait plus de matières organiques que les autres méthodes, ou, du moins, que les matières organiques qu'il pré lève présentent une plus grande affinité pour les métaux que celles extraites par les trappes ou la centrifugeuse) et non pas seulement sur les schémas d'extraction proprement dits.

2.2 SURVEILLANCE DE CONTAMINANTS DANS LES MES COMME ALTERNATIVE AUX SEDIMENTS (Shubert et al., 2012)

Dans leurs travaux, Shubert et al. (2012) discutent de l'intérêt des MES comme alternative à l'échantillonnage des sédiments. Ces aspects ont été présentés dans le paragraphe 1.

Les auteurs présentent deux types d'échantillonneurs intégrés. Le BISAM est un dispositif passif in situ d'échantillonnage (Figure 3). L'eau circule en continu dans le corps de l'échantillonneur par l'intermédiaire d'une buse d'entrée et de deux canaux de sortie. La vitesse d'écoulement diminue dans la section d'entrée plus large, et les MES se déposant sont recueillies dans un flacon de 2 litres. Ce type d'échantillonneur est généralement déployé en sub-surface 0,5-1 m. Une efficacité de séparation de 20 à 40% a été estimée. La perte de fractions fines peut varier selon les conditions. A titre d'exemple, une mesure comparative a montré que la fraction fine <20 µm a été sous-estimée de 15% avec le BISAM par rapport à un échantillon de godet. Une comparaison de quatre échantillons obtenus par BISAM et centrifugation a révélé une perte de 35 ±15% de la fraction <20 µm et de 15±4% de la fraction <63 µm.

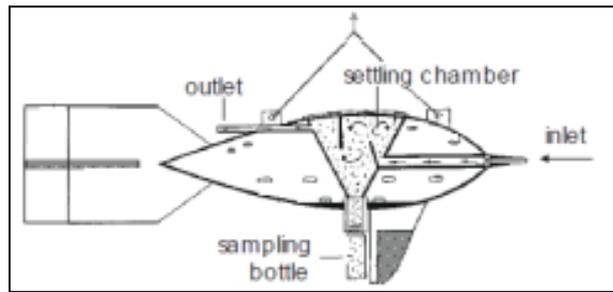


Figure 3 : Illustration du BISAM

Les pièges à particules développés par l'Environmental Specimen Banking (ESB) en Allemagne sont un autre exemple. Ce dispositif est constitué d'une boîte en acier inoxydable, où les lames réduisent la vitesse de l'eau pour provoquer la sédimentation des particules. Avec l'amélioration récente de ce type de piège, comprenant trois chambres et cinq lames, l'efficacité de séparation est supérieure à 80%. Les trappes de sédimentation sont habituellement logées dans une station de mesure sur le terrain et les échantillons sont proportionnels au temps. La quantité prélevée est généralement assez grande (supérieure à celle qui pourrait être obtenue par un prélèvement ponctuel de 1 litre d'eau) et l'analyse (une prise d'essai importante autorise de meilleures limites de quantification et une meilleure reproductibilité des mesures) de l'ensemble des paramètres physiques et chimiques fiable, ce qui représente un avantage important par rapport aux approches conventionnelles (filtration d'un volume souvent égal à 1 L pour une famille de paramètres).

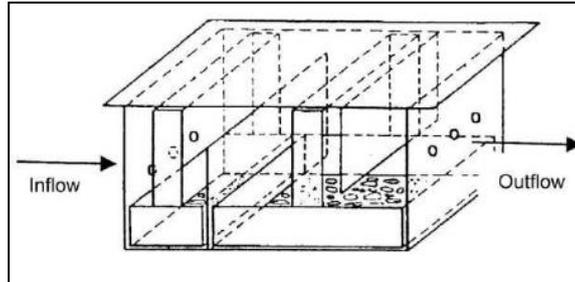


Figure 4 : Illustration du piège à particules (Standard box of the German Environmental Specimen Bank (ESB)). Extrait de Schubert et al., 2012)

2.3 ETUDE DES MES DANS LE CADRE DU PROGRAMME PIREN-SEINE (Estebe et al., 1996)

Dans le cadre du programme PIREN-SEINE, différents modèles de pièges à particules ont été développés et mis en œuvre.

➤ Piège à particules pour les prélèvements de surface

Le piège (Figure 5) est constitué :

- d'un flotteur de 48 L (20 * 40 * 60 cm), permettant de maintenir l'ensemble du dispositif à 40 centimètres en dessous de la surface de l'eau ;
- d'un support métallique plastifié, maintenant le flotteur sur le collecteur de particules ;
- d'un récipient de 70 L en polyéthylène contenant un nid d'abeille en polypropylène de 55 cm de hauteur, dont les mailles font, selon les cas, 1 ou 2,5 cm de diamètre, un système de purge pour vider l'eau du réceptacle et enfin, un système d'évacuation pour prélever l'échantillon de particules ;
- d'un système de 2 cordes reliées à une planche. La première est destinée à maintenir la trappe en place à 1 ou 2 m du quai, la seconde a pour rôle de stabiliser le collecteur en position verticale, et éviter les mouvements de basculement ou de rotation qui pourraient entraîner un mauvais échantillonnage, surtout en période de forts débits.

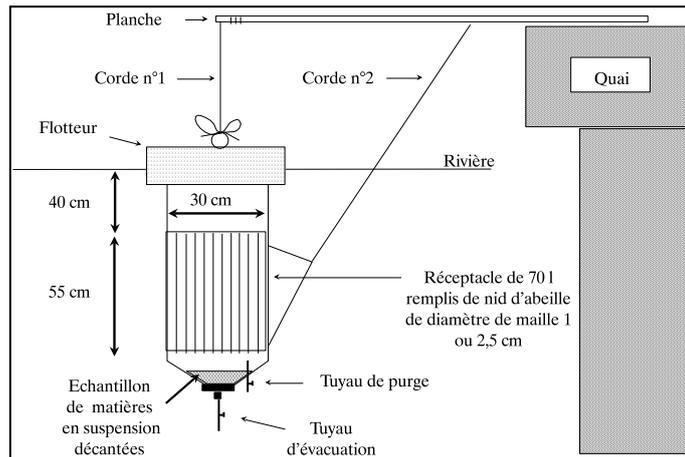


Figure 5 : Illustration du dispositif de prélèvement de particules en surface (Estebe, 1996)

➤ Piège à particules pour les prélèvements à différentes profondeurs dans la colonne d'eau

Le système est constitué (Figure 6):

- d'un flotteur de 64 cm de haut et de 40 cm de diamètre (bouée de balisage normalisée, Marque chenal tribord, AG PLUS Nautique);
- de trois trappes de 25 L, identiques en tout point, distantes de 1,5 m;
- de trois lests, le premier (10,6 kg) ne touche pas le fond de la rivière et permet de maintenir le dispositif vertical, les deux suivants (25 kg) sont posés sur le fond de la rivière et assurent l'ancrage de l'ensemble du flotteur et des trappes sans risque d'entraînement par le courant ou de gêne pour la navigation.

Les trois pièges, en PVC d'épaisseur égale à 3 mm, ont un diamètre de 20 cm, et une hauteur de 55 cm, soit un volume d'environ 25 L, voisin du tiers de celui du premier modèle. Ces préleveurs sont munis d'un nid d'abeille dont les mailles ont un diamètre de 2,5 cm, et dont la longueur est de 45 cm.

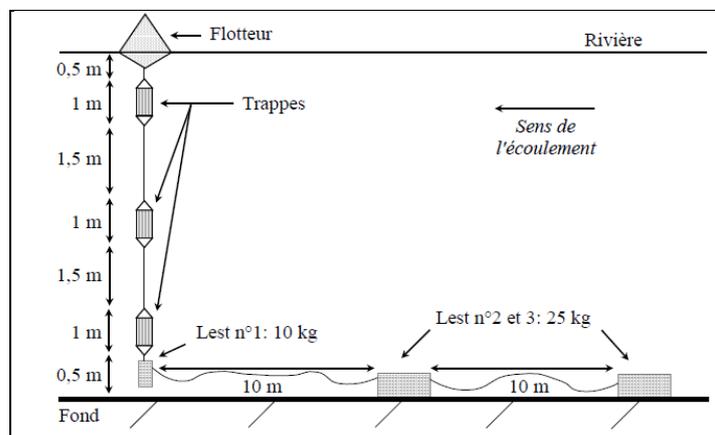


Figure 6 : Illustration du système de piège à particules pour des prélèvements à différentes profondeurs de la colonne d'eau (Estebe et al., 1996).

Afin de valider la méthode de prélèvement des particules au moyen de ces pièges, une comparaison avec deux méthodes plus classiques de prélèvement des particules, que sont la filtration et la centrifugation en continu, a été réalisée sur les concentrations en métaux (Figure 7).

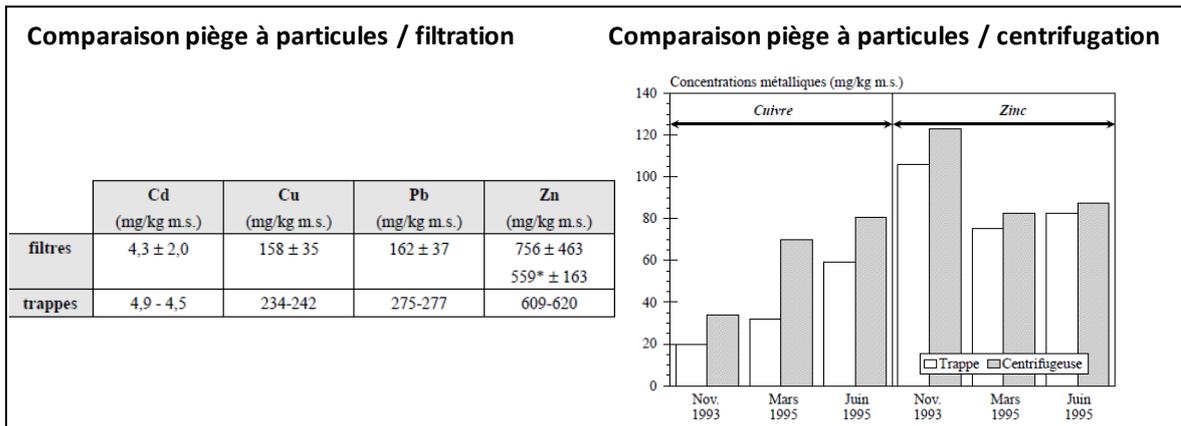


Figure 7 : Illustration des comparaisons entre les mesures acquises à l'aide des pièges à particules et les mesures acquises avec les méthodes conventionnelles (filtration et centrifugation) : Cas des métaux (Estebe et al., 1996)

- Dans le cas de la comparaison pièges à particules /filtration :
 - la variabilité des concentrations en métaux est plus importante dans le cas de particules recueillies sur filtres que dans le cas de particules prélevées par pièges ;
 - une bonne adéquation est obtenue pour les concentrations en cadmium et en zinc alors que les concentrations en plomb et en cuivre sont surestimées lors du prélèvement par les pièges à particules.

Ces observations peuvent être en partie expliquées par le fait que cette comparaison ne repose que sur des échantillonnages ponctuels d'eau brute alors que les pièges ont été immergés durant sept jours. L'hypothèse d'une ségrégation sur la taille des particules ne peut être exclue.

- Dans le cas de la comparaison pièges à particules/ centrifugation :
 - Dans le cas du zinc, quel que soit le débit, les concentrations particulières sont semblables, que les prélèvements soient réalisés avec un piège ou avec une centrifugeuse en continu,
 - Dans le cas du cuivre, les concentrations mesurées au sein des particules sont significativement plus élevées dans les échantillons prélevés par la centrifugeuse que dans ceux prélevés par les pièges.

Les auteurs concluent en émettant certains points de vigilance sur l'approche prélèvements de particules par pièges.

Bien qu'elle apparaisse comme une méthode d'échantillonnage relativement fiable pour la mesure du cadmium, du plomb, et du zinc particulaire, il convient de rester prudent car une sous-estimation des concentrations acquises à l'aide des pièges à particules peut être notée, notamment pour le cuivre.

2.4 EFFETS DES TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE SUR LES PARAMÈTRES PHYSIQUES ET LES CONCENTRATIONS EN POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS DES MATIÈRES EN SUSPENSION (Pohlert et al., 2011)

Pohlert et al. (2011) ont étudié l'effet de différentes techniques d'échantillonnage (centrifugation, collecteur flottant, BISAM et décanteur de particules) de particules dans les cours d'eau sur la distribution granulométrique, les concentrations en carbone organique total (COT) et les concentrations de polluants organiques persistants (PCB, HCB). Les principales questions sont de savoir si les différences observées entre les différentes techniques d'échantillonnage sont dues au principe de séparation de phase de ces dernières ou à la différence de mode de prélèvement (prélèvement intégral versus prélèvement intégré dans le temps). Ainsi, les résultats indiquent que :

- Quelle que soit la méthode d'échantillonnage employée, les concentrations en PCB dans les particules sont homogènes;
- des différences significatives sont notées sur la granulométrie des particules, le COT et les concentrations en hexachlorobenzène. Ces différences sont « site-dépendantes ». Ainsi, pour quantifier les contaminants dans les particules, les auteurs suggèrent qu'il conviendrait :
 - pour les cours d'eau où les particules sont principalement constituées de particule fines (limon

et argile), d'effectuer un échantillonnage intégral par collecteur flottant et décanteur de particules est approprié ;

- dans les autres cas (particules constituées de particules non argileuses / limoneuses), de préférer un échantillonnage proportionnel au temps à l'aide de centrifugation ;
- pour les cours d'eau où les particules sont principalement constituées de particules très grossières (sables), le choix de la méthode d'échantillonnage à mettre en œuvre apparaît comme beaucoup moins critique

Ces observations sont en accord avec des travaux méthodologiques publiés par Ciffroy et al. (1999).

2.5 PROJET MOERMAN – GISSSED (ISSEP)

Le projet GISSeD a pour objectif principal de développer des outils d'évaluation des flux de particules et de polluants associés dans les cours d'eau navigables et non navigables en Belgique. Ce dispositif a été conçu pour analyser la qualité des particules pour répondre à l'un des objectifs de la Directive 2008/CE/105 : réaliser des études d'évolution des tendances de leur qualité.

Un prototype de piège à particules (Time Integrated Sampler, Figure 8) permettant de récolter des particules en quantité suffisante de manière à réaliser une mesure de la concentration en micropolluants (PCB, Hg, ...) a été construit et déployé au niveau de stations pilotes. Ce projet est en cours et les conclusions opérationnelles de cette étude ne sont pas encore connues.



Figure 8 : Exemple de piège à particules et conditions de déploiement sur la Samme à Ronquières (photo ISSeP)

2.6 ETUDE DE FAISABILITE : LE PRELEVEMENT DES MES DANS LE CADRE D'UN RESEAU PERENNE DE SURVEILLANCE DES MICROPOLLUANTS (Jouglet, 2007)

L'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN) a réalisé une étude sur les techniques de prélèvement des particules dans le cadre de la mise en place d'un réseau pérenne de surveillance de micropolluants. Les critères de sélection des pièges étaient la discrétion et la facilité de mise en œuvre (conception, construction, entretien) ainsi que l'adaptabilité à des rivières de morphologie et de profondeur différentes.

Jouglet (2007) a testé en milieu naturel des pièges verticaux (profondeur du cours d'eau > 1m) et horizontaux (profondeur du cours d'eau < 1m) en triple exemplaires sur 5 stations du réseau national de bassin (RNB) de l'AESN pendant des périodes de 2 semaines (Figure 9). L'objectif était de récolter une quantité suffisante de particules représentatives du cours d'eau pour effectuer des analyses de micropolluants (environ 50 g sont nécessaires).



Figure 9 : Exemple de pièges à particules- Agence de l'eau Seine Normandie (Jouglet 2007)

Les résultats de cette étude montrent que les pièges horizontaux sont moins efficaces que les pièges verticaux en termes de masses de particules récoltées. Les tailles des particules piégées sont comprises entre 2 et 2000 μm avec une valeur moyenne autour de 50-60 μm .

2.7 RIVERPOP 2010 : MESURES DE CONTAMINANTS TRACES DANS LA RIVIERE GLOMMA ET RECOMMANDATIONS ISSUES DU PROJET (Allan et al., 2011)

Dans le cadre du projet RIVERPOP2010 (projet piloté par le NIVA : institut de recherche norvégien pour les milieux aquatiques), l'objectif était d'évaluer la performance d'une gamme de techniques pour la mesure de la concentration des contaminants organiques (PCB, PBDE, HAP) et des métaux au niveau de traces et leur potentiel pour améliorer la fiabilité des mesures. Ces outils et techniques incluent :

- pour la phase aqueuse : des échantillonnages de larges volumes d'eau et une gamme d'échantillonneurs passifs pour les contaminants organiques et métalliques,
- pour les phases solides : la centrifugation en flux continu et des pièges à sédiments.

Comme l'illustre la Figure 10, il existe une forte corrélation entre les mesures réalisées par centrifugation et les mesures par piège à sédiments. Il est cependant à noter le déficit d'un facteur 2 ou 3 observé typiquement pour les concentrations mesurées avec piège par rapport à celles mesurées par centrifugation pour certains paramètres. Quelques hypothèses peuvent ici être avancées :- les échantillons n'ont pas été acquis sur la même période de temps (1-7 jours pour la centrifugation, 1 mois pour les pièges) ; - les auteurs soulignent les besoins de renforcer les contrôles qualité pour ce type de prélèvement

Ces observations démontrent l'applicabilité des approches d'échantillonnage par pièges à particules pour soutenir les besoins de l'évolution de la qualité chimique des milieux et leurs tendances.

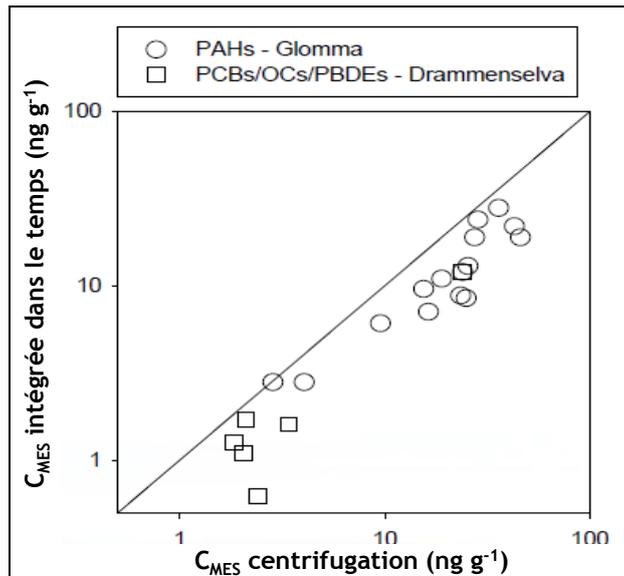


Figure 10 : Illustration graphique de la corrélation entre les mesures de PCB, OCP, PBDE et HAP dans les particules obtenues par centrifugation et piège à particules (Allan et al., 2010)

2.8 EVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX SEDIMENTS EN REPUBLIQUE TCHEQUE : NIVEAUX DE POPS ET PROFILS DE TOXICITE (Bláha L. et al., communication personnelle)

Dans une communication personnelle, Bláha et al. présentent les résultats d'une étude d'évaluation des risques liés aux sédiments en République Tchèque. Différents cas d'études sont présentés et discutés. Un suivi environnemental des phases aqueuses (eau totale, eau filtrée, échantillonnage passif) et particules a été conduit pendant une année sur 5 sites. Ainsi 15 échantillonnages ont été réalisés (période 28 jours) au cours de cette étude. Les auteurs concluent à l'adéquation des mesures réalisées sur les particules de fond et les particules fraîchement déposées à l'exception d'une station soumise à une très forte pression agricole (pesticides, représentée par le cercle)).

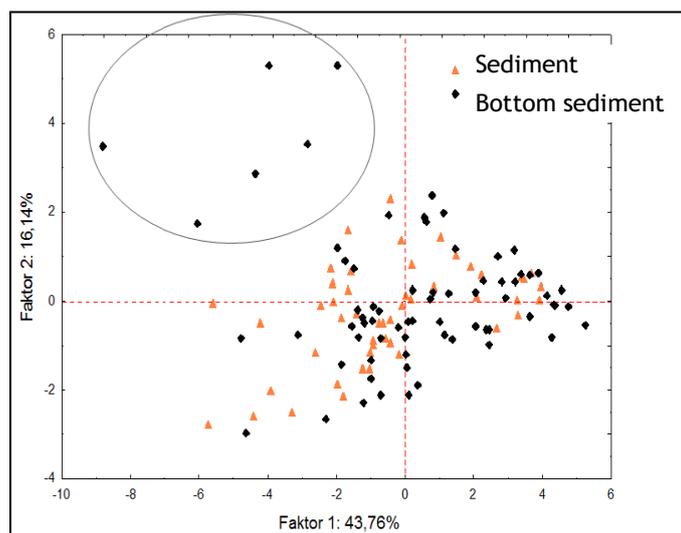


Figure 11 : Corrélation entre les mesures de PCB, OCPs, PBDE et HAP dans les particules par piège à particules et par prélèvement de sédiments de fond (Blaha et al., 2010).

ACP : Analyse en composante principale

2.9 HARMONISATION ET EVALUATION DES TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE DANS LES SYSTEMES AQUATIQUES (HESTIA) : EVALUATION DES TENDANCES EN HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES ET METAUX LOURDS DANS LE DANUBE (Environment Agency Austria and Water Research Institute Slovakia)

L'objectif du projet HESTIA est de comparer différentes stratégies et techniques d'échantillonnage afin d'améliorer l'évaluation de la qualité chimique des masses d'eaux et de leur évolution. L'étude a ciblé, à titre d'exemples, des polluants organiques hydrophobes (HAP) et des métaux lourds (Ni, Cd, Pb, Hg). Différentes approches ont été testées : échantillonnage d'eau proportionnel au temps, échantillonnage de sédiments de fond, échantillonnage intégratif passif (EIP) et échantillonnage de particules intégré dans le temps. Ces techniques ont été déployées en parallèle sur différentes stations instrumentées sur le Danube entre Vienne et Bratislava.

L'étude met en avant que les pièges à particules fournissent une mesure de la teneur en contaminants liés aux particules en suspension dans la colonne d'eau, tandis que les EIP permettent de mesurer la concentration dissoute. La somme des résultats des deux méthodes est comparable aux concentrations totales obtenues à partir de l'approche conventionnelle. Des conclusions similaires avaient également été observées dans le projet SWIFT.

L'étude conclut que le déploiement simultané d'EIP et de pièges à particules apparaît comme une stratégie pertinente pour améliorer l'évaluation de la contamination des milieux et la compréhension des sources et du devenir des contaminants.

2.10 VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES METAUX LABILES, DISSOUS TOTAL, SOLIDES : EVALUATION PAR ECHANTILLONNAGE DISCRET ET PASSIF DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES METAUX DANS LES RIVIERES (Priadi et al., 2011)

Les objectifs de l'étude étaient de caractériser d'une part la variabilité temporelle de la répartition des métaux dans la colonne d'eau (particulaire, dissous, labile) et d'autre part l'impact de la région parisienne sur la spéciation (dissout/particulaire) et la mobilité des métaux.

Les particules ont été collectées dans des pièges suspendus installés sur les 3 sites de l'étude (selon Tessier, 2003). Des EIP de type DGT (Diffusive Gradient in Thin films) étaient exposés pendant la même durée que les pièges à particules. Depuis décembre 2008 jusqu'en octobre 2009, ces pièges et DGT ont été prélevés chaque mois. Lors des relevés des pièges et des DGT, 20 litres d'eau brute étaient prélevés et deux échantillons étaient filtrés et acidifiés sur site. Les concentrations de métaux dans les particules recueillies par échantillonnage discret étaient beaucoup plus variables que celles mesurées à l'aide des pièges à particules. Les valeurs médianes entre les deux ensembles étaient comparables.

Les auteurs concluent sur l'intérêt des approches intégrées (EIP et piège à particules) dans le temps pour mieux appréhender les variations spatiotemporelles intrinsèques des milieux étudiés.

2.11 SURVEILLANCE DES ANTIMICROBIENS, TRICLOSAN ET TRICLOCARBAN, PAR DES TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE ACTIFS ET PASSIFS DANS L'ARKANSAS ET FOUNTAIN CREEK (Gautam, 2012)

L'objectif global de ce projet de recherche est d'étudier l'occurrence et le devenir de contaminants émergents - triclosan (TCS) et triclocarban (TCC) - dans les milieux aquatiques et de déterminer les mécanismes de transport primaires dans un système impacté par des rejets de stations d'épuration.

L'étude repose sur la mise en œuvre de techniques actives et passives (EIP de type POCIS, piège à particules) d'échantillonnage pour quantifier leur occurrence dans les eaux de surface, les particules en suspension et les particules de fond, dans des conditions hydrologiques contrastées.

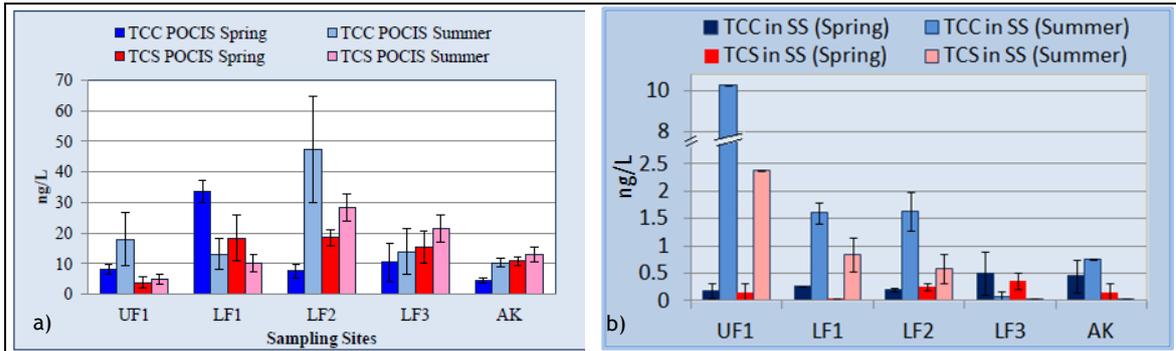


Figure 12 : Illustration des concentrations (ng/L) en triclosan et triclocarban par les approches intégratives (a) phase aqueuse-POCIS en (b) particules-pièges à particules : variabilité saisonnière et spatiale.

En comparant les données acquises à partir des eaux de surface et des particules, l'étude a permis de démontrer que le triclosan et le triclocarban étaient principalement transportés en phase dissoute, avec cependant une variabilité temporelle avérée (Figure 12). Dans les conditions printanières, environ 91-99% du triclocarban et environ 96-99% du triclosan ont été transportés par phase dissoute dans les eaux de surface alors qu'en conditions estivales ces valeurs mettent en évidence que environ 64-99% du triclocarban et 68-99% du triclosan ont été transportés par la phase dissoute dans les eaux de surface.

2.12 INTERET DES PIEGES A PARTICULES DANS DES CONDITIONS ORAGEUSES (Furrer et al., 2009)

Plusieurs agences de protections environnementales (EPA, notamment) reconnaissent l'intérêt du déploiement des pièges à sédiments dans les réseaux afin de mieux estimer les flux de contaminants vers les milieux naturels qui sont susceptibles de se produire en conditions extrêmes telles que les conditions d'orages.

Pour démontrer l'applicabilité de ce dispositif en conditions de routine, le département de l'environnement du district de Washington a élaboré une procédure pour la mise en œuvre de pièges à sédiments dans leurs réseaux canalisés. Une illustration en est donnée dans la Figure 13.



Figure 13 : Illustration du déploiement de pièges à particules dans les réseaux canalisés (Fuller et al., 2009)

3. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DE TENDANCES TEMPORELLES ET /OU SPATIALES

Dans le cadre du programme AQUAREF 2014-2015, Irstea a conduit une action visant à étudier les méthodologies envisageables pour l'évaluation des tendances spatiales et temporelles des teneurs en contaminants dans les sédiments (Lionard et al., 2015). Dans ce document ont été présentées les différentes techniques pour échantillonner les sédiments afin d'évaluer les tendances spatiales et temporelles. Ainsi, en complément des approches via le prélèvement de sédiments de surface ou la réalisation de carotte sédimentaire, il a été montré l'intérêt de l'utilisation de systèmes intégratifs (ex. pièges à particules) en privilégiant la collecte de la fraction fine des sédiments, à savoir les MES. Cette partie de ce rapport se propose de compléter/actualiser le travail initialement conduit par Irstea.

3.1 DISTRIBUTION DE L'HEXABROMOCYCLODODECANE DANS LES PARTICULES DE LA RIVIERE DETROIT (Marvin, 2006)

L'objectif est d'étudier l'occurrence et la distribution spatiale des HBCDD (hexabromocyclododécane) dans les sédiments en suspension de la rivière Detroit (Etats-Unis). Des pièges à sédiments ont été déployés afin de recueillir des échantillons intégrés sur des périodes d'un mois sur différentes stations de la rivière Detroit. Les résultats de cette étude ont été comparés à des études antérieures pour déterminer la distribution de nouvelles substances POP caractéristiques d'activités industrielles contemporaines, par rapport aux contaminations historiques, notamment en PCB.

Le dispositif d'échantillonnage est illustré dans la Figure 14.

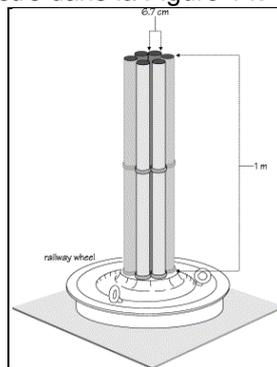


Figure 14: Illustration du dispositif « Schematic of a single-point sediment trap mooring » (Marvin et al., 2002)

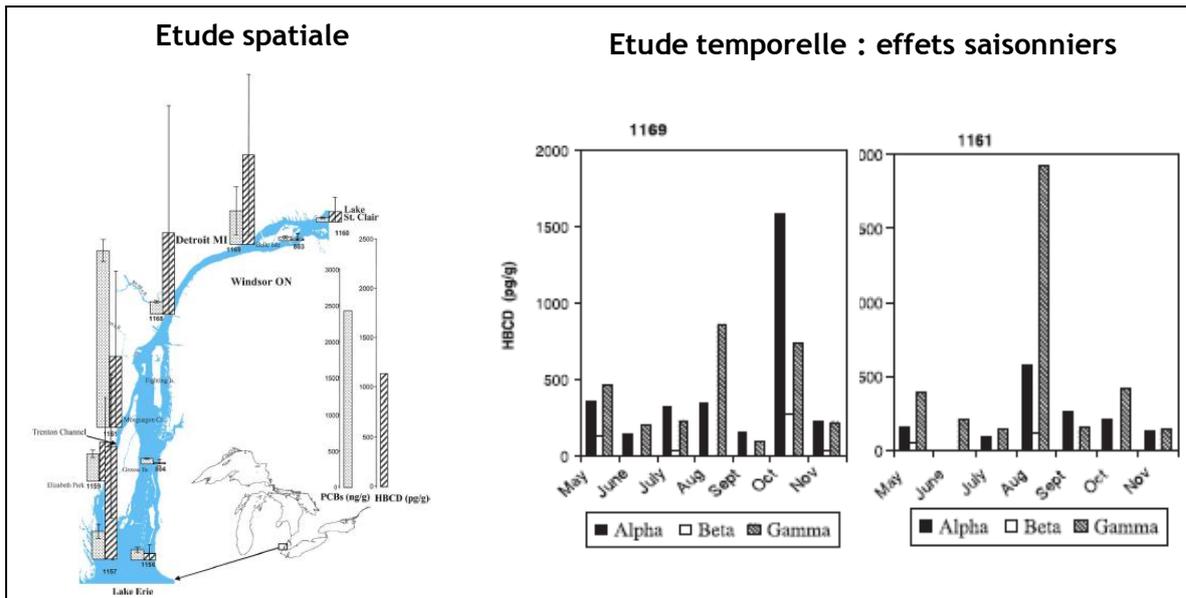


Figure 15 : Illustration des résultats de l'évolution spatiale et temporelle de la contamination en HBCDD à l'aide de pièges à particule dans la rivière Detroit (Marvin, 2006)

Comme le met en avant la Figure 15, le déploiement des pièges à particules a permis de :

- définir une image spatiale de l'empreinte de contamination du système étudié par l'hexabromocyclododécane
- conduire une évaluation temporelle, effets saisonniers de la contamination en hexabromocyclododécane

3.2 TENDANCES DANS LA CONTAMINATION DES PARTICULES DU SYSTEME « RIVIERE DETROIT - LAC ST. CLAIR - CORRIDOR ST. CLAIR » 2000 - 2004 (Jia et al., 2010)

Afin d'étudier les variations temporelles et la distribution spatiale de contamination du système « rivière Detroit - Lac St. Clair - corridor St. Clair » aux Etats-Unis par les PCB, les HAP et le mercure ; des échantillons de MES ont été prélevés à l'aide du dispositif schématisé en Figure 10, sur différentes stations et sur la période 2000 à 2004. Les résultats de l'étude ont permis de mettre en évidence que :

- les distributions spatiales des contaminants étaient similaires au cours de la période d'étude,
- les concentrations mesurées variaient considérablement entre les sites d'échantillonnage.

3.3 TRANSPORT ET CARACTERISATION DES MES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA SEINE : IDENTIFICATION DE SIGNATURES NATURELLES ET ANTHROPIQUES (Tessier, 2003)

L'objet de ce travail était de développer une méthodologie permettant de préciser l'origine des particules et de suivre leur transfert sur le bassin de la Seine. Cette méthodologie combine :

- l'identification d'une large palette d'éléments métalliques et terres rares,
- un échantillonnage par trappes à particules sur l'ensemble du bassin et avec un suivi régulier sur la période 1999-2002 (33 stations exploitées),
- un traitement statistique de l'information recueillie (analyse en composantes principales).

Afin d'étudier les variations spatio-temporelle de la composition élémentaire des particules sur le bassin de la Seine, différents modèles de pièges (Figure 16) ont été utilisés pour les cours d'eau de morphologie différente (hauteur d'eau et forme du lit).

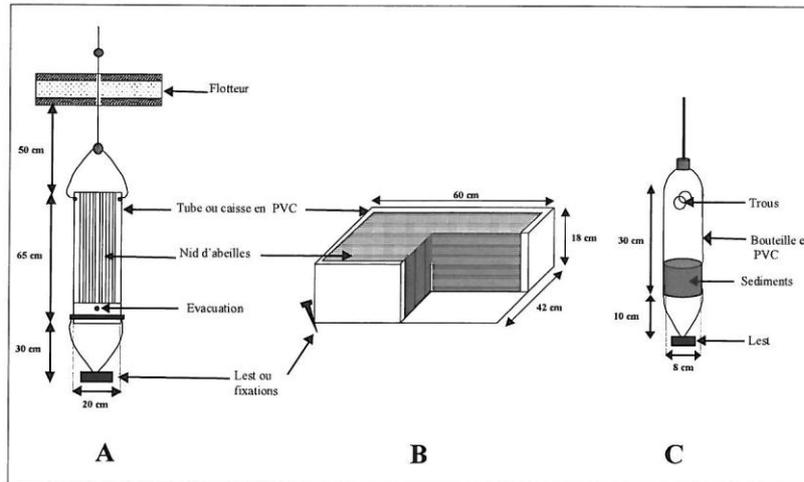


Figure 16 : Exemples de pièges a particules – Tessier (2003)

L'étude a permis de préciser :

- à quelle échelle les signatures multi-élémentaires portées par les particules se différencient les unes des autres, et
- à quelle logique obéissent les différences observées.

Les signatures naturelles et anthropiques ont pu être distinguées. Grâce à cette méthodologie, il est donc possible de préciser l'origine des particules et de suivre leur transfert de l'amont vers l'aval. Ces résultats offrent donc la possibilité d'un meilleur contrôle des transferts de particules, outil indispensable aux gestionnaires et usagers de l'eau.

3.4 STABILISANTS UV DANS LES MES, LES SEDIMENTS ET LES POISSONS DE RIVIERES ALLEMANDES : OCCURRENCE, TENDANCES TEMPORELLES ET PERSISTANCE (Wick et al., 2016)

Cette étude décrit la présence de 9 stabilisants lipophiles appartenant à la famille des Benzotriazoles (UV-326, UV-320, UV-329, UV-350, UV-328, UV-327, UV-928, UV-234 et UV-360) dans des échantillons de particules et dans le foie de daurades dans des écosystèmes aquatiques côtiers en Allemagne. Des échantillons de particules acquis par l'ESB (Environmental Specimen Banking) à l'aide de leur modèle de pièges (cf. figure 4) ont fait l'objet d'une analyse rétrospective pour évaluer les tendances de l'imprégnation de l'environnement par ces 9 molécules (Figure 17). Deux sites ont été étudiés : un site sur le Rhin entre 2005 et 2013 et un site sur la Sarre entre 2006 et 2013).

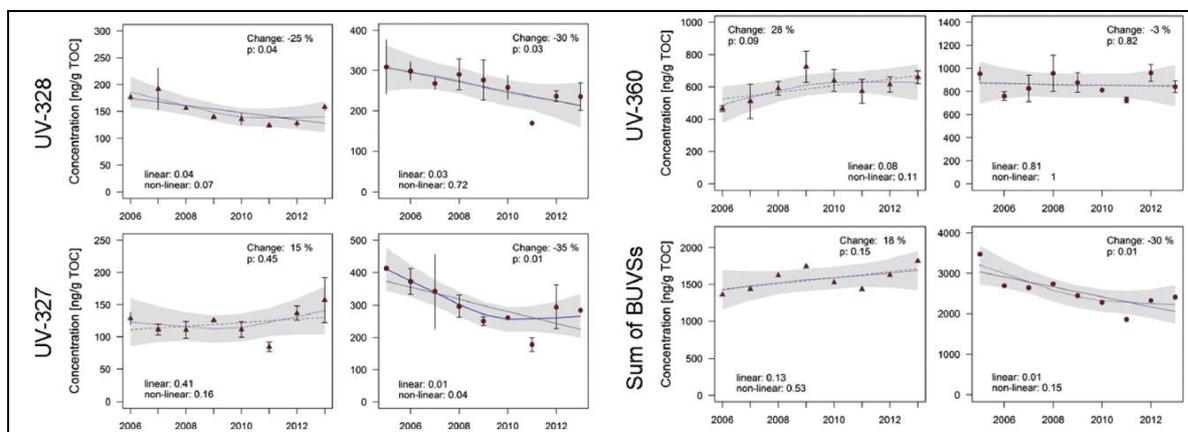


Figure 17 : Illustration de tendances temporelles sur l'UV-328, UV-327, UV-360 et la somme des 9 Benzotriazoles dans les particules des sites de Koblenz (Rhin) et de Rehlingen (Sarre, km 54,2) sur la période 2005-2013.

Les données présentées mettent en évidence que le *specimen banking* est une excellente base pour distinguer des tendances temporelles et des distributions spatiales, fournissant ainsi également des informations cruciales pour la réglementation des produits chimiques. Dans cette stratégie le recours à des approches d'échantillonnage basées sur des pièges à particules apparaît comme pertinent.

4. PIEGES A PARTICULES POUR L'EVALUATION DES MESURES DE LA BIODISPONIBILITE/TOXICITE DES POLLUANTS DANS LES SEDIMENTS

4.1 UN NOUVEAU PIEGE A SEDIMENT DGT POUR LA MESURE IN SITU DES ELEMENTS REMOBILISABLES DES PARTICULES SEDIMENTANT DANS LA COLONNE D'EAU ET SES APPLICATIONS A L'ANALYSE DE METAUX TRACES RELARGUES PAR LES OXYDES DE MN ET FE (HAMILTON ET AL., 1999)

Un piège à particules équipé d'échantillonneurs intégratifs de type DGT (Diffusive gradient in Thin films) a été développé par Hamilton et al. (1999) (Figure 18). L'objectif de l'étude était double :

- mesurer la biodisponibilité des métaux dans les sédiments,
- mettre en évidence la remobilisation des métaux dans les sédiments lors de changements physico-chimiques.

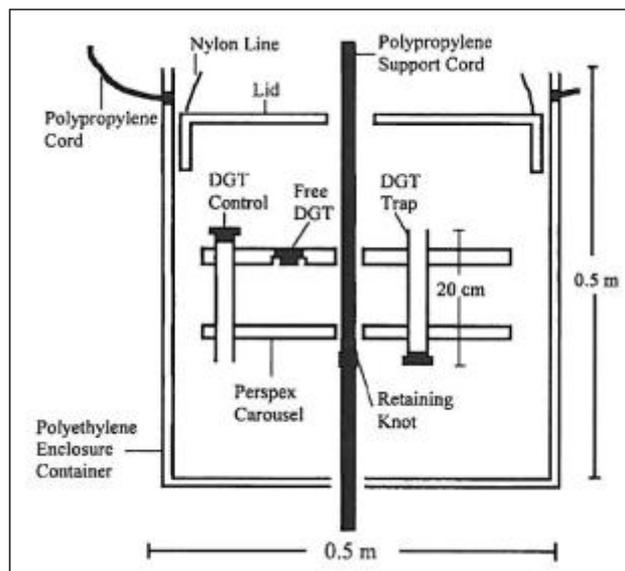


Figure 18 : Illustration schématique du piège à particules – Hamilton-Taylor et al. (1999)

Une DGT est positionnée, le gel de la DGT vers le haut, au fond d'un cylindre en PVC ayant un rapport hauteur sur diamètre de 5. Un cylindre identique renversé permet de mesurer la variation de la concentration en métaux dans l'eau sans contact avec les sédiments, servant ainsi de contrôle interne. Enfin une DGT libre permet de comparer les résultats obtenus avec le piège avec ceux obtenus sans utilisation de piège à particules (lors d'études antérieures par exemple sur la mesure des métaux biodisponibles dans la colonne d'eau).

Ce piège a été testé en laboratoire et *in situ* dans un lac (Esthwaite Water, Royaume-Uni) au niveau de la limite des zones aérobie et anaérobie. Les principales observations sont les suivantes :

- la reproductibilité des mesurés en métaux par les dispositifs sur le terrain était généralement inférieure 20% pour les pièges ;
- les apports de Mn, Co, Al, Ba et Ni étaient significativement et constamment plus élevés dans les pièges que dans les témoins ;

- la dissolution réductrice de l'oxyde de Mn semble être la source des quatre métaux trace remobilisés, alors que les oxydes de Fe n'ont pas apporté de contribution significative ;
- les comparaisons des rapports métal/Mn obtenus à partir des données du piège DGT avec celles calculées à partir des concentrations dans la colonne d'eau indiquent que les concentrations élevées de Co dissous proviennent uniquement de la dissolution de l'oxyde de Mn, alors que Ba, Al et Ni semblent également provenir d'autres processus.

4.2 PLATEFORME D'ÉVALUATION DE L'ÉCOTOXICITÉ DE SÉDIMENTS POUR DES MESURES IN SITU DE CHIMIE, BIOACCUMULATION ET DE TOXICITÉ. PARTIE 1: DESCRIPTION DU SYSTÈME ET DÉMONSTRATION (Burton et al, 2012)

L'objectif de l'étude était :

- 1/d'améliorer la précision lors de l'évaluation des risques écologiques et l'efficacité des programmes de remédiation au niveau des sites présentant une forte dégradation ;
- 2/d'améliorer la compréhension du lien entre exposition et effets en s'affranchissant des méthodes conventionnelles de laboratoire, les facteurs de stress variant dans le temps ;
- 3/d'améliorer la prise en compte d'événements brutaux/ponctuels/aigus (rejets d'eaux pluviales, interactions entre eau de surface et eaux souterraines, déversement de pétrole, relargage d'explosifs, etc.) et par conséquent la réactivité pour une prise de décision rapide.

Pour y répondre, une plate-forme dite «Sea ring» a été développée et repose sur :

- le déploiement simultané de plusieurs espèces marines et estuariennes (amphipodes, polychètes, mysidacés et bivalves) exposées à trois compartiments (eau, interface sédiment-eau et sédiments) pour évaluation de la toxicité et la biodisponibilité des contaminants,
- le déploiement d'échantillonneurs passifs (DGT et SPME) ;
- le déploiement d'un dispositif de collecte de sédiments (piège) ;

La plateforme intègre également des capteurs de mesure en continu pour acquérir les mesures de paramètres de qualité de l'eau nécessaires pour interpréter les résultats in situ.

Une illustration de la plateforme et de son fonctionnement est donnée dans la Figure 19.

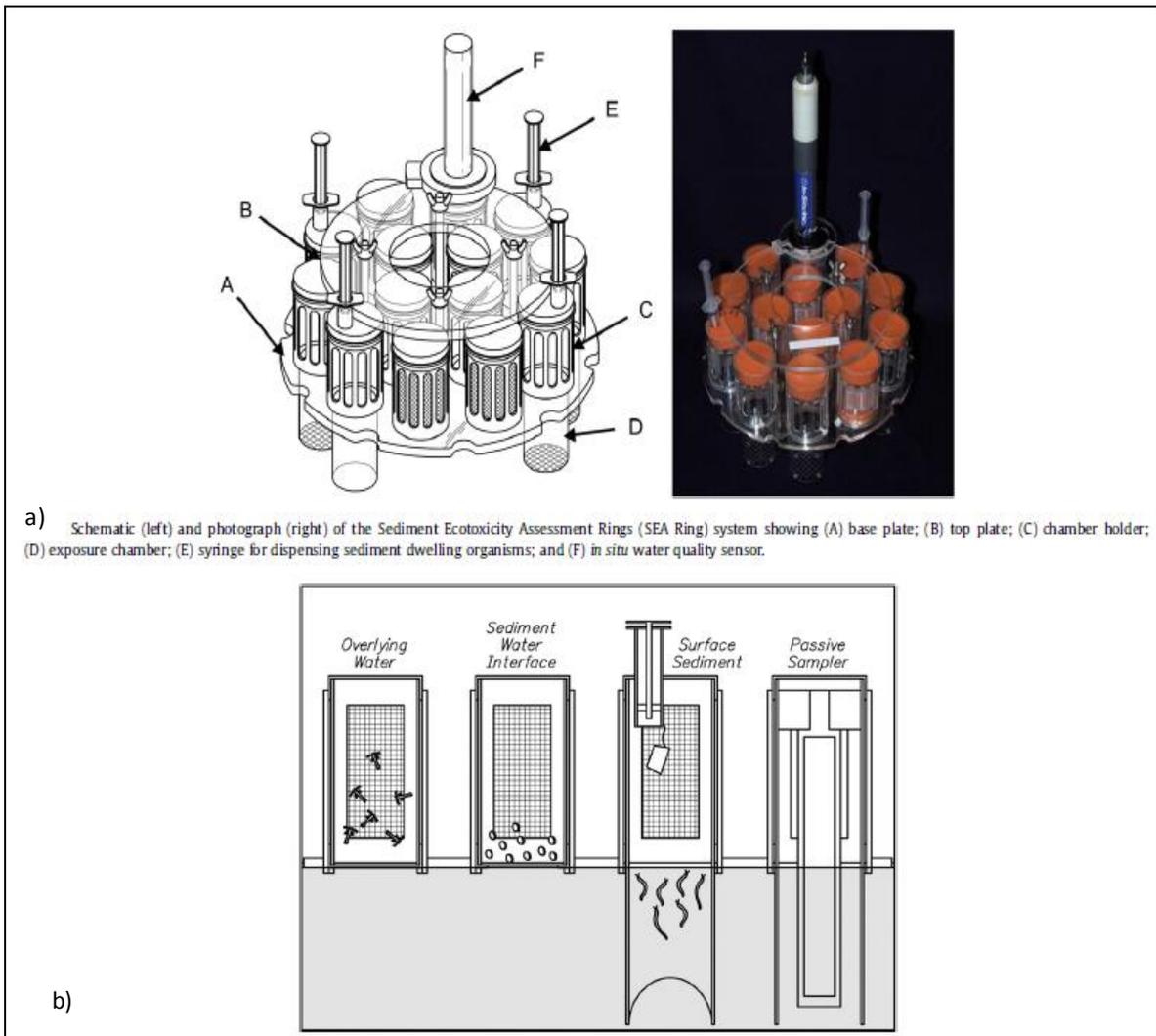


Figure 19 : Illustration et principe de fonctionnement de la plate-forme « Sea ring » (Burton et al., 2012)

4.3 PLATEFORME D'ÉVALUATION DE L'ÉCOTOXICITÉ DE SEDIMENTS POUR DES MESURES IN SITU DE CHIMIE, BIOACCUMULATION ET DE TOXICITÉ. PARTIE 2: APPLICATION INTÉGRÉE À UN ESTUAIRE PEU PROFOND (Rosen et al, 2012)

La publication présente et discute les résultats issus de la mise en œuvre de la plateforme SeaRing. Le travail illustre notamment le besoin de conduire des études in situ pour améliorer l'évaluation des risques écologiques. Les auteurs rappellent (cf. Burton et al 2012) la pertinence de cette plateforme notamment 1/ dans des contextes de contaminations ponctuelles ou difficilement évaluable en laboratoire (rejets d'eaux pluviales, marées noires, remédiation) et 2/ pour des études d'expositions longues durées (bioaccumulation).

5. PIEGES A PARTICULES POUR L'ESTIMATION DES FLUX

5.1 POSSIBILITÉS ET LIMITATIONS DES PIEGES A PARTICULES A MESURER LES SEDIMENTS ET RESUSPENSION (Kozerski, 1994)

Des trappes à sédiments ont été développées et installées afin de mesurer le taux de sédimentation totale (particules qui sédimentent et celles remises en suspension lors de crues) sur la Spree, le Sawaller Altarm (affluent de la Spree) ainsi que dans les lacs Müggelsee et Tegeler See près de Berlin en Allemagne. Les trappes sont constituées de cylindres de 35 cm de long et 4,7 cm de diamètre.

Une série de 4 trappes a été mise en place pendant une journée à 20 cm de la surface dans la Spree qui avait une profondeur moyenne de 62 cm au moment du déploiement.

Une comparaison des quantités mesurées avec une estimation théorique du flux de sédiments a été réalisée dans cette étude.

Une surestimation du taux de particules qui sédimentent a été mise en évidence au moyen des trappes. Elle est probablement due à la remise en suspension des particules mais aussi à la création artificielle d'une zone de sédimentation favorable à l'intérieur des trappes. Les particules qui sédimentent rapidement sont largement dominantes en proportion dans les matières récupérées alors que les petites particules de matière organique par exemple, qui ont des vitesses de sédimentation plus faibles, sont moins représentées. Ainsi, les trappes sont le reflet des propriétés de sédimentation de chaque particule. Les auteurs concluent que les trappes permettent de mesurer un taux de sédimentation maximum, dans des conditions de sédimentation idéales.

5.2 NOUVEAU PIEGE A PARTICULES POUR LES SYSTEMES D'EAUX DOUCES DRAINABLES (Banas et al., 2002)

Des pièges à particules destinés aux milieux peu profonds vidangeables ont été développés par Banas et al. (2002).

Les pièges développés sont constitués d'une structure amovible équipée de 7 cylindres ayant un rapport hauteur sur diamètre de 10. Cette structure s'insère dans un réceptacle permanent mis en place dans les sédiments durant la phase d'assèchement des étangs et solidarisé au substrat par des pieux métalliques. Le fond du réceptacle est muni d'un guide de positionnement vertical (corde gainée d'un tube PVC). Un 8^{ème} cylindre lesté dans sa partie inférieure constitue l'axe central de la structure et permet le coulisement sur le guide de positionnement (Figure 20).

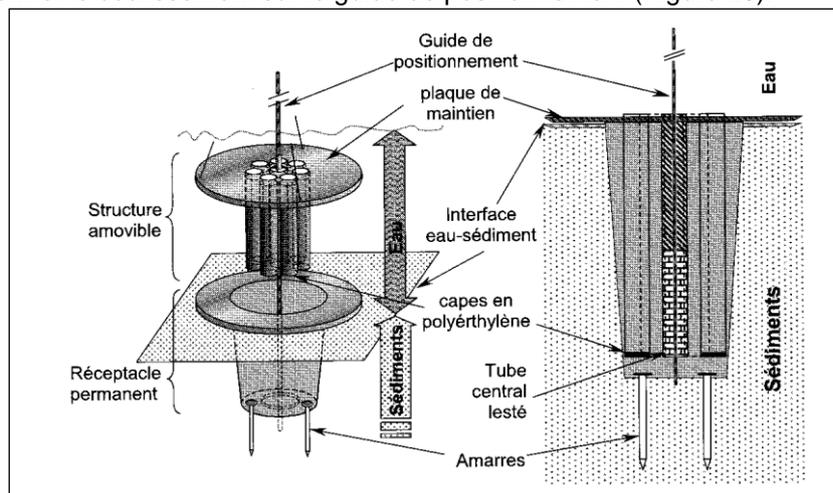


Figure 20 : Exemple de piège à particules– Banas et al. (1992)

Ces pièges ont été immergés pendant 30 jours dans 2 étangs de pisciculture en Moselle (France). Le sommet des tubes de la structure se situant à moins de 5 cm du fond de l'étang. L'utilisation de tubes de diamètre important permet de récupérer suffisamment de matière pour les analyses.

Des pièges classiques de diamètre 57 mm et de rapport hauteur sur diamètre de 5 ont été installés pour comparaison à 28.5 cm du fond.

Les pièges classiques permettent d'estimer le flux sédimentaire primaire (production autochtone et apports allochtones) alors que les pièges développés permettent d'estimer le flux sédimentaire total, primaire et secondaire (incluant la remise en suspension des sédiments de fond).

5.3 FLUX DE MES, DE MERCURE ET DE PCB PARTICULAIRES DANS LE RHONE : DU LEMAN A LA MEDITERRANEE (Launay et al., 2014)

Depuis 2010, l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR¹) vise, entre autres, à déterminer avec précision et de façon pérenne les flux de particules et de contaminants particulaires véhiculés par le Rhône et ses principaux affluents depuis le Lac Léman jusqu'à la Mer Méditerranée. Pour atteindre cet objectif ambitieux, le Rhône à Jons (en amont de Lyon) et à Arles, ainsi que de nombreux affluents (Saône, Arve, Ain, Bourbre, Isère, Giers, Durance,...) sont équipés de façon à obtenir quotidiennement, les données de débit et de charge en particules et à collecter de manière continue des particules. Ainsi, il a été choisi d'utiliser les pièges à particules utilisés par l'Environnemental Specimen Banking (ESB) (Figure 4). Ces pièges sont utilisés de façon continue sur le Rhône et ses affluents en les déployant sur des périodes d'environ 15 jours, permettant d'obtenir une quantité importante de particules pour l'analyse de divers paramètres (granulométrie, COP, métaux, radionucléides, Hg, PCB, HAP,...) et permettant de stocker ces MES pour des analyses ultérieures (par exemple : contaminants émergents).

Les premières données obtenues via les pièges à particules ont montré que ces outils étaient très bien adaptés pour collecter de façon continue des particules à moindre coût sur un grand nombre d'affluents. Ils permettent un échantillonnage d'une quantité importante de particules nécessaire pour l'analyse des contaminants et une intégration des pics de particules (crue), ce qui est difficilement réalisable par un échantillonnage ponctuel. Des comparaisons ont également été effectuées entre les particules collectées par ces pièges et les particules collectées par des techniques classiques (centrifugation de gros volume).

Les résultats ont montré que la granulométrie des particules collectées par les pièges était légèrement plus grossière sans toutefois modifier les concentrations en Hg ou PCB. Grâce à la collecte en continu de ces MES sur le Rhône et ses affluents, il est désormais possible de calculer (via la Base de données des observatoires en hydrologie, BDOH) un bilan précis des flux de contaminants particulaires (Hg et PCB) à l'échelle du fleuve du Rhône de façon annuelle, mais aussi à l'échelle d'évènements hydrologiques majeurs (crue, chasse de barrages, ...).

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La prise en compte des particules est un point central de l'évaluation des masses d'eaux.

Au travers de cette étude bibliographique, il est apparu que la grande majorité des travaux mettant en œuvre des pièges à particules se focalisent en premier lieu sur les aspects méthodologiques et notamment la représentativité des particules échantillonnées (distribution granulométrique, composition, etc.).

Cette étude bibliographique illustre que les pièges à particules peuvent être intégrés dans des stratégies de surveillance de la contamination chimique des milieux aquatiques, notamment pour :

- Intégrer la variabilité des concentrations en contaminants dans les particules;
- Suivre en tendance la contamination chimique des masses d'eau ;
- Améliorer la représentativité de l'évaluation de la contamination chimique des milieux aquatiques par une mesure intégrée, en complément d'échantillonneurs intégratifs ;
- Répondre aux exigences de surveillance de l'état chimique NQE et fraction eau totale ; en complément d'échantillonneurs intégratifs passifs ;
- Estimer des flux de contaminants particulaires.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des avantages et inconvénients pour répondre aux principaux objectifs de mise en œuvre de ces outils.

Tableau 2 : Bilan des avantages et inconvénients des approches pièges à particules selon les objectifs de surveillance visés

OBJECTIFS DE SURVEILLANCE	Avantages	Inconvénients
Evaluation de la contamination chimique	✓ Meilleure représentativité temporelle par rapport à un	✓ Représentativité des fractions échantillonnées : ségrégation

¹ <http://www.graie.org/osr/>

	<p>échantillonnage ponctuel ou par centrifugation</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration performances analytiques (augmentation de la quantité de prise d'essai) pour les pièges à particules par rapport à un échantillonnage ponctuel d'un litre d'eau ✓ Alternative en l'absence de sédiments ✓ Approche complémentaire aux EIP pour évaluer la contamination totale des eaux intégrée dans le temps ✓ Permet de mieux comprendre le devenir des polluants dans les milieux ✓ Evaluation des rejets urbains par temps de pluie ✓ Aide aux diagnostics : recherche de sources de contamination, évaluation des programmes de mesures (gestion/remédiation) 	<p>granulométrique</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de métadonnées : mesure de particules en continu, turbidité et débit pour remonter à des C en ng/L ✓ Peu de recul en routine en France ✓ Certains points méthodologiques doivent être précisés ✓ Peu d'application sur des nouveaux contaminants de l'environnement. A ce jour ciblé sur contaminants historiques POP, métaux mais d'autres travaux en cours sur OSR
<p>Evaluation des tendances spatiales et temporelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Représentativité temporelle ✓ Performances analytiques ✓ Mise en évidence de variabilité spatiale ✓ Support pertinent pour ESB ✓ Analyse rétrospective possible 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rupture dans les chroniques
<p>Evaluation de biodisponibilité/toxicité</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Meilleure représentativité de l'exposition des organismes par l'intégration dans le temps de l'exposition et possible couplage avec des outils ecotox in situ par comparaison aux prélèvements ponctuels 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu d'application
<p>Estimation des flux</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration des performances des méthodes d'analyses (augmentation de la quantité de prise d'essai) par rapport à un échantillonnage ponctuel d'un litre d'eau ✓ Bilan précis des flux de contaminants particuliers ✓ Amélioration des mesures des taux de sédimentation 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu d'application en cours d'eaux ✓ Nécessite des mesures de débit et turbidité en parallèle

7. BIBLIOGRAPHIE

- Alcock S., Barcelo D., Hansen P.-D. (2003). *Biosens and Bioelectron*, 18 (8), p.1077.
- Allan I.J., Sissel B. Ranneklev & Christopher Harman Tools for Measuring contaminant partitioning in rivers. Communication personnelle.
- Allan I. J, Bæk K., Kringstad A., Bratsberg E., Høgfeldt A. S., Ranneklev S. B, Harman C. and Garmo Ø. (2011) RiverPOP 2010 Measurement of trace contaminants in the Glomma River and some recommendations from RiverPOP projects (2008-2011) TA 2760/2011 .
- Baborowski M., Claus E., Friese K., von der Kammer F., Kasimir P., Pelzer J., Heiningen P., (2005) *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 33,p. 404.
- Bloesch J. (1988) Sediment trap design and vertical flux studies. — In: Wassmann P., Heiskanen A.S. (eds.), *Sediment trap studies in the nordic countries, Workshop Proceedings*, Tvarminne Zoological Station, Finland; 207pp.
- Bloesch J. and Burns N.M. (1980). *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 42, p.15.
- Brils J. (2008) *Ann Ist Super Sanità* 44 (3): 218-223.
- Burton G. A. Jr., Rosen G., Chadwick D.B., Greenberg M.S., Taulbee W.K., Lotufo G.R., Reible D. D. (2012). *Environ Pollut*, 162, p.449.
- Ciffroy P., Vazelle D., Mataix V., Taconnet J., Estèbe A., Thévenot D., Bourguignon O., Idlafkih Z., Meybeck M. (1999) *Hydroécol. Appl.*, Tome 1/2 (11), p. 71.
- Estebe A. (1996) Impact de l'agglomération parisienne et de ses rejets de temps de pluie sur les concentrations en métaux des matières en suspension et des sédiments en Seine en période estivale. Thèse de doctorat, Université Paris XII-Val de Marne, 348 p.
- Fuller R., Lowe J., Standard Operating Procedure for Collection of Stormwater Sediments Using In-Line Sediment Traps Version 1.0. Washington State Department of Ecology ECY 003
- Gautam P. (2012) Monitoring Antimicrobials, Triclosan and Triclocarban, using Active and Passive Sampling Techniques in Fountain Creek and Arkansas River, CO. Master Thesis.
- Hamilton-Taylor J., Smith E.J., Davison W., Zhang H. (1999) *Limnol. Oceanogr.*, 44, p.1772.
- Jougllet M. (2007) Etude de faisabilité : Le prélèvement des MES dans le cadre d'un réseau pérenne de surveillance des micropolluants. Stage de master, Université Paris Sud 11
- Jia J., Thiessen L., Schachtschneider J., Waltho J., Marvin C. (2010). *Water Qual. Res. J. Can.*, 45, 1, p.69.
- Kozerski H-P. (1994) *Hydrobiologia*, 284, p. 93.
- Launay M. Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulaires dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I, 2014. French. <NNT : 2014LYO10004>. <tel-01128294>
- Lepper P. (2005) Manual on the Methodological Framework to Derive Environmental Quality Standards for Priority Substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC).
- Lionard E., Dabrin A., Coquery M. (2015) – Méthodologies d'évaluation de tendances spatiales et temporelles des teneurs en contaminants dans les sédiments – Rapport Irstea-AQUAREF 2015 – 68 p.
- Marvin C. H., Tomy G. T., Alae M, MacInnis G. (2006). *Chemosphere*, 64, p. 268.
- Marvin C., Waltho J., Jia J., Burniston D. (2013). *Chemosphere*, 91, p. 778.
- Pohlert T., Hillebrand G, Breitung V. (2011). *J Environ Monit.*, 13(6), p. 1579.
- Priadi C., Bourgeault A., Ayrault S., Gourlay-Francé C., Tusseau-Vuillemin M.-H., Bonté P., Mouchel J.-M. (2011). *J Environ Monit.*, 13, p. 1470.
- Rosen G., Chadwick D.B., Burton G.A., Taulbee W.K., Greenberg M.S., Lotufo G.R., D.D. Reibl (2012) *Environ Pollut*, 162, p. 457.

Schubert B., Heininger P., Keller M., Ricking M., Claus E. (2012). Trends Anal. Chem., 36, p. 58.

Tessier L. (2003) Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine : identification de signatures naturelles et anthropiques. Thèse de doctorat, Ecole des Ponts, ParisTech, 2003. French. <tel-00005746>.

Technical Report - 2010. 3991 Guidance document No. 25 On chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive.

Thévenot D., Tassin B. & Héduit A. Cours DEA STE Module TC.2 Mesures et Environnement. Communication personnelle.

Wick A., Jacobs B., Kunkel U., Heininger P., Ternes T. A (2016). Environ Pollut, 212, p. 401.

ANNEXE 1 : Transports sédimentaires

Plusieurs modes de transport ont été observés (Figure 21): il s'agit du roulement et de la traction le long du fond ou du substrat, de la saltation (transport par bonds, suite à des chocs successifs) et du transport en suspension. La charge en suspension est surtout constituée d'argile et de silt (ceci étant vrai à la fois pour les écoulements d'air et d'eau). La charge en suspension des écoulements turbulents est beaucoup plus importante que celle des écoulements laminaires.

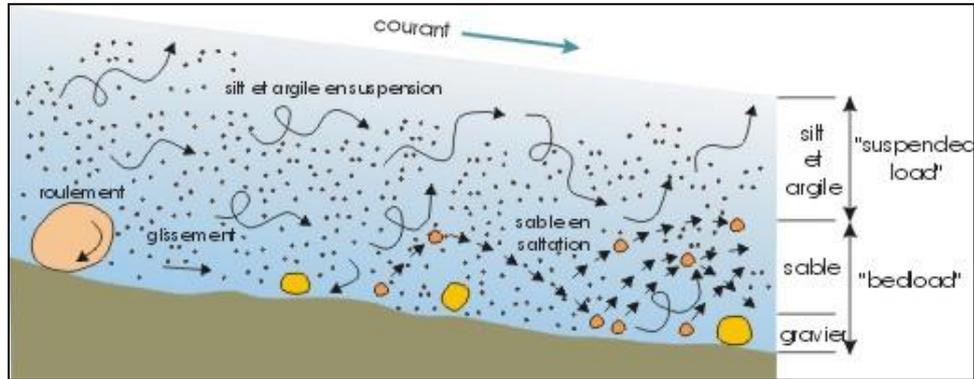


Figure 21 : Modes de transport des particules dans un courant

La granulométrie des particules sédimentaires a donc une influence majeure sur leur transport (et sur leur vitesse de sédimentation). Ces relations sont synthétisées par le diagramme de Hjulström (Figure 22). Ce graphe montre la vitesse minimale d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains de quartz de granulométrie variable.

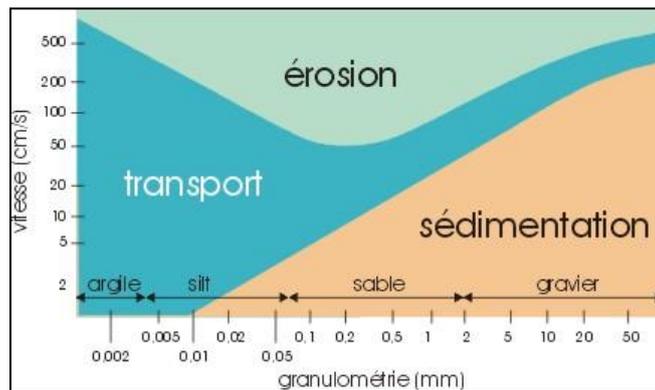


Figure 22 : Diagrammes de Hjulström

D'après <http://www2.ulg.ac.be/geosed/processus/processus.htm>

ANNEXE 2 : Principes théoriques des pièges à particules (sédiments / MES)

Des considérations théoriques ainsi que des études expérimentales ont montré que seuls les pièges cylindriques ayant un rapport hauteur sur diamètre supérieur à 5:1 remplissent ses 2 conditions (Figure 23). Ainsi, les bouteilles ont tendance à surestimer le taux de particules qui sédimentent car la condition 1 n'est pas respectée, alors que les pièges en forme d'entonnoir et les récipients plats ont tendance à sous-estimer le taux de particules qui sédimentent car aucune des deux conditions n'est respectée (Figure 24).

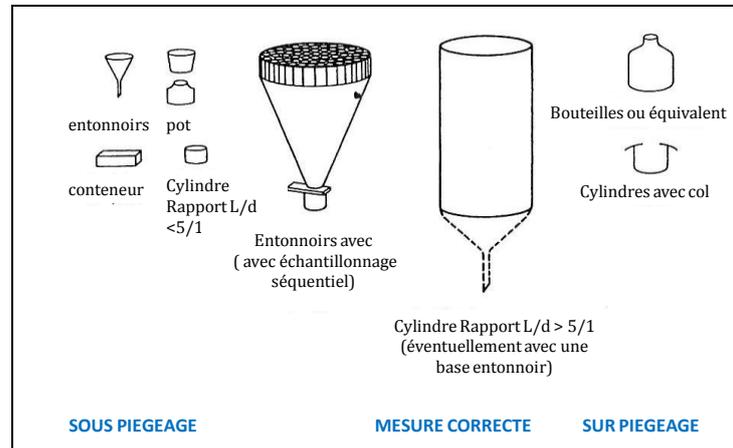


Figure 23: Différentes formes de pièges à particules classées selon leur efficacité de prélèvement – Rosa et al. (1994)

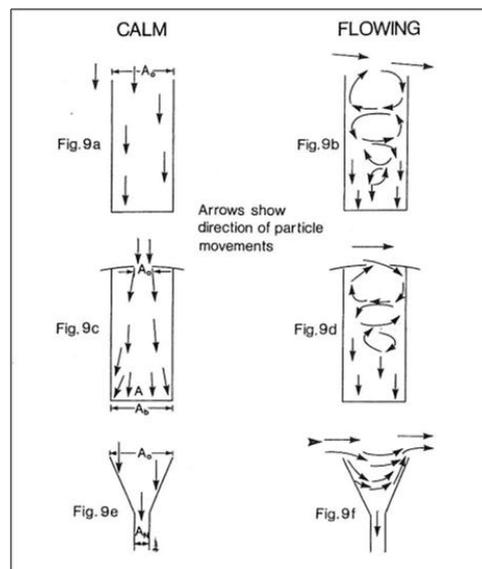


Figure 24 : Schémas montrant le cheminement des particules autour de différents pièges pour des régimes calmes et turbulents – Rosa et al. (1994)

Le choix des dimensions du piège dépend des conditions de turbulence du milieu. Un piège idéal doit avoir un rapport hauteur sur diamètre compris entre 5:1 et 10:1. Ceci implique que le diamètre varie entre 5 et 20 cm et que la hauteur est comprise entre 25 et 200 cm.

Les pièges sont généralement fabriqués en PVC transparent, ou opaque, ou en plexiglas. Cependant, afin de limiter le risque de contamination pour l'analyse des composés organiques tel que les organochlorés et les hydrocarbures, il est préférable d'utiliser un revêtement intérieur en téflon. De même, pour l'analyse des métaux, toute pièce en métal doit être évitée (piège et

système d'amarres). Il est fortement recommandé d'effectuer des blancs matériels au laboratoire avant déploiement sur site.

Toute perturbation provenant de la turbulence autour de l'ouverture du piège doit être évitée ou du moins minimisée, lors de la conception du système d'amarres du piège. Par ailleurs, le piège doit toujours être orienté perpendiculairement au courant, car une inclinaison peut engendrer une surestimation significative du taux de particules qui sédimentent, par l'accroissement de la surface de prélèvement.