



**HAL**  
open science

# Guide opérationnel pour l'évaluation du danger des sédiments contaminés : Une démarche graduée pour estimer le danger

Marc Babut, E. Stamm, R. Garnier

## ► To cite this version:

Marc Babut, E. Stamm, R. Garnier. Guide opérationnel pour l'évaluation du danger des sédiments contaminés : Une démarche graduée pour estimer le danger. [Rapport de recherche] irstea. 2019, pp.60. hal-02608857

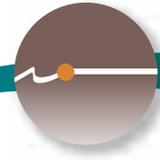
**HAL Id: hal-02608857**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02608857v1>**

Submitted on 16 May 2020

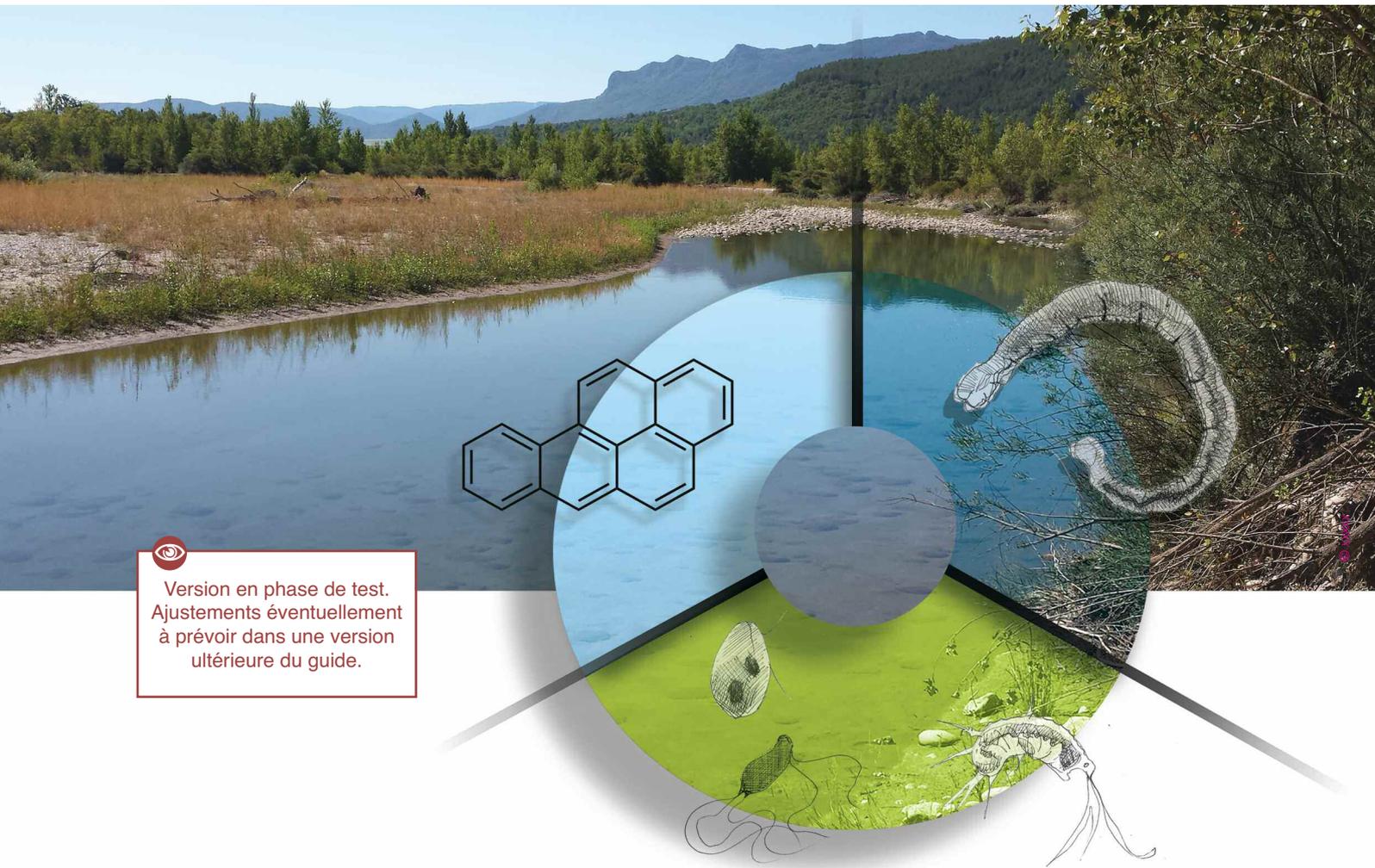
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

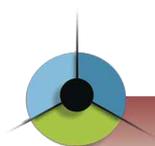


# Guide pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments contaminés en eau douce

Une démarche graduée pour estimer le danger



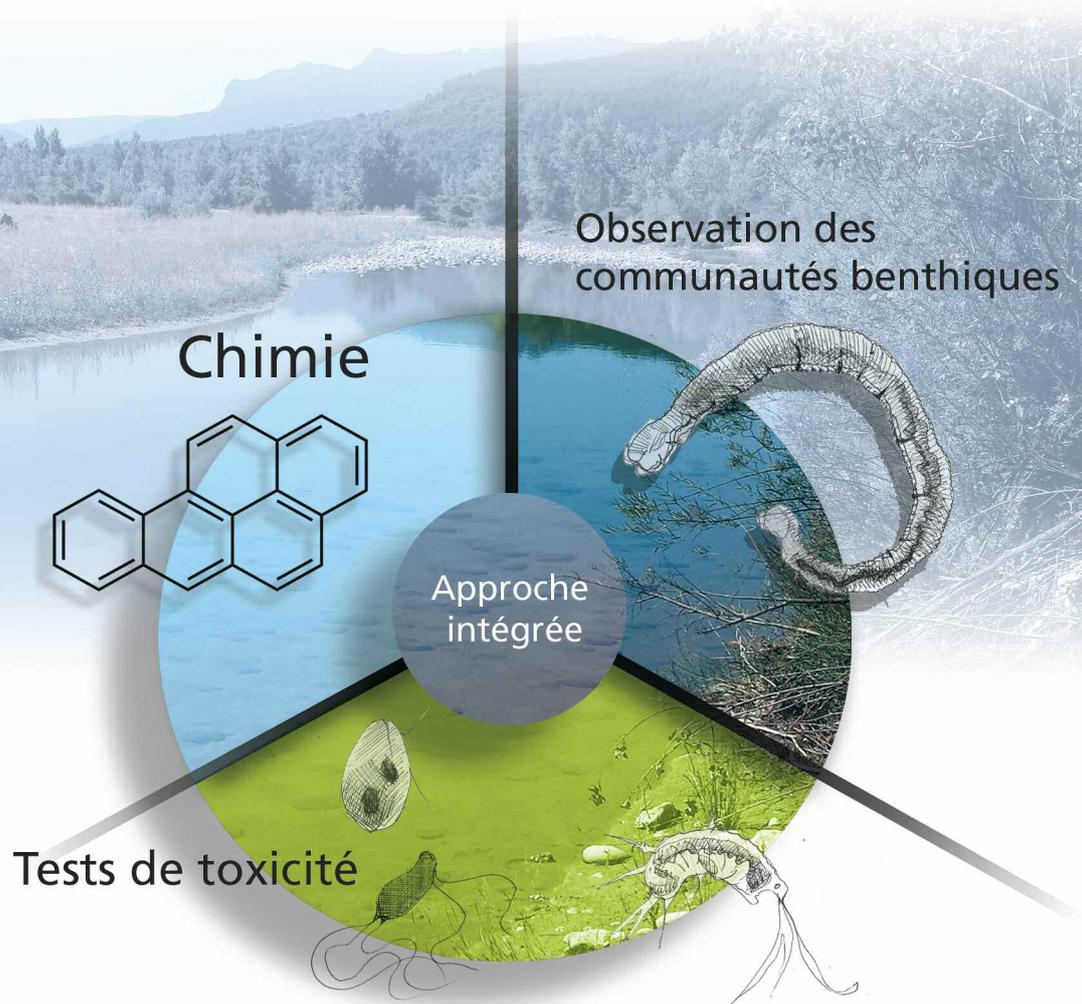
Version en phase de test.  
Ajustements éventuellement  
à prévoir dans une version  
ultérieure du guide.



Ce guide est accompagné d'un tableur et d'un document d'accompagnement téléchargeables sur le portail technique de l'Agence française pour la biodiversité :  
<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/589>

# Guide pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments contaminés en eau douce

Une démarche graduée pour estimer le danger



### **Auteurs**

Marc Babut (Irstea)  
Élodie Stamm (Irstea)  
Rémy Garnier (Irstea)

### **Contributeurs**

Philippe Bataillard (BRGM)  
Benoît Ferrari (Centre Ecotox)  
Olivier Gras (MTES)  
Nicolas Manier (Ineris)  
Brice Mourier (ENTPE)  
Pascal Pandard (Ineris)  
Emilie Prygiel (Cerema)  
Sylvain Reynaud (CNR)  
Florian Rognard (Cerema)  
Olivier Perceval (AFB)

### **Contact**

[olivier.perceval@afbiodiversite.fr](mailto:olivier.perceval@afbiodiversite.fr)

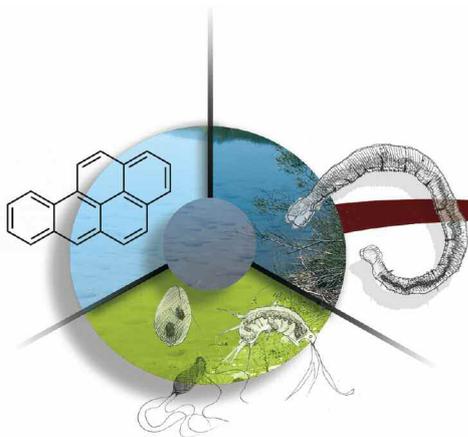
# Avertissement



Ce guide opérationnel est conçu sous la forme d'un document synthétique proposant une démarche graduée en plusieurs étapes, contenant des méthodes et outils permettant d'estimer le danger des sédiments.

La démarche est organisée en étapes (numérotées « étape 0 », « étape 1 » et « étape 2 ») et les opérations, à l'intérieur des étapes, sont décrites par des fiches opérationnelles (fiches de 1 à 6).

- Avant de lancer toute opération, nous conseillons au lecteur de bien maîtriser l'ensemble des étapes de la démarche.
- La bonne connaissance du territoire d'étude est un préalable indispensable à la mise en œuvre des opérations.
- Les outils utilisés dans la démarche ont été sélectionnés pour être techniquement et économiquement applicables, afin de garantir l'aspect opérationnel de ce document. Concernant les bioessais, des tests standardisés ont été préconisés, souvent normalisés pour faciliter la commande auprès des laboratoires et prestataires.
- Les coûts et durées des opérations sont donnés à titre indicatif. Ils seront variables selon l'ampleur du site d'étude et selon les laboratoires et prestataires choisis.
- Comme toute démarche d'évaluation environnementale, celle décrite ici n'est pas dénuée d'incertitude (à distinguer de la variabilité, inhérente aux phénomènes ou aux entités biologiques). Le choix d'une stratégie graduée a été fait dans l'idée de pouvoir limiter l'incertitude en enclenchant une étape 2 seulement si les informations recueillies en étape 1 conduisent à une conclusion incertaine. La gestion des incertitudes passe également par le choix du prestataire adéquat et par la mise en œuvre de procédures assurant la qualité de gestion des analyses et des résultats.
- Le présent guide est en phase de test ; la démarche proposée est donc perfectible, compte tenu des évolutions possibles de la réglementation et des recherches et développements continus sur ces problématiques.
- Pour les utilisateurs désireux d'en savoir plus, des références bibliographiques sont proposées à la fin du guide.



Ce guide propose une **démarche** permettant d'évaluer le **danger potentiel relatif aux sites d'accumulation de sédiments d'eau douce continentale** (ouvrages et voies navigables), notamment en amont de travaux ou d'opérations susceptibles d'impliquer un curage, un dragage ou une remise en mouvement de sédiments potentiellement contaminés. Il est également adapté au **diagnostic des causes de déclassement en mauvais état d'un site** lors de suivi de qualité dans un contexte DCE. Ce guide opérationnel est à destination des acteurs en lien avec des problématiques impliquant les sédiments d'eau douce (maîtres d'ouvrages et opérateurs de la gestion des sédiments, bureaux d'études, syndicats d'aménagement et gestion des milieux aquatiques, services instructeurs, et agences de l'eau). Il met à disposition des connaissances et des méthodes développées dans le cadre de travaux de recherche (notamment le projet scientifique Diese du programme **ANR-Precodd** et la littérature scientifique disponible sur le sujet). Le guide est en cohérence avec la **réglementation en vigueur** concernant la gestion des sédiments et des ouvrages. Il cible la **gestion des sédiments au sein de la voie d'eau**, à l'exception des opérations de chasse sédimentaire, et n'aborde pas non plus le cas de la gestion des sédiments à terre, ni celui du dragage à proprement parler.

Il prend la forme d'une **démarche d'évaluation graduée** (Tableau 1), comprenant :

- une **étape préliminaire de recueil d'informations (étape 0)** ;
- et deux **étapes d'évaluation du danger** lié à la contamination :
  - un **dépistage (screening) (étape 1)**,
  - et une **évaluation poussée (étape 2)**.

La démarche s'articule autour de trois **éléments de preuves** :

- la **toxicité vis-à-vis de la faune benthique** ;
- l'**accumulation des contaminants** dans le benthos ;
- et l'**impact sur les communautés de macroinvertébrés benthiques**.

La démarche d'évaluation ayant notamment pour objectif de **tester l'acceptabilité ou non d'une opération de gestion**, les données obtenues permettent de se positionner dans trois classes décisionnelles : **acceptable, inacceptable, ou incertaine** (Figure 2 p11).

Le guide comprend des « étapes » et des « fiches opérationnelles », décrivant l'évaluation du danger des sédiments sous différentes approches complémentaires basées sur des protocoles standardisés : « bioessais », « analyse chimique », « estimation de la bioaccumulation ». Pour faciliter le calcul d'indices, il est accompagné d'un tableur.

## Mots clés

Démarche graduée - Évaluation du danger - Toxicité - Sédiments - Cours d'eau - Eau douce - Opérateur - Gestion des ouvrages - Élément de preuve - Faune -benthique - Invertébrés aquatiques - Communauté de macroinvertébrés - Analyse chimique - Bioessais - Bioaccumulation - Bioamplification

Tableau 1. Résumé de la démarche d'évaluation graduée de la dangerosité des sédiments remplaçant les différents éléments de preuve utilisés dans le cadre de cette approche

	Analyses chimiques		Tests écotoxicologiques	Observations du benthos
	Éléments de preuve		Éléments de preuve	Éléments de preuve
	Bioaccumulation	Contamination	Écotoxicité sur la faune benthique	Impact sur la communauté de macrofaune benthique
<p><b>ÉTAPE 0</b> Phase préliminaire</p> <p>Revue des informations disponibles</p>	<p><b>Compilation et synthèse</b> des informations et données disponibles</p> <p><b>Ajustement</b> : prise en compte des options de gestion spécifiques au projet considéré et concertation en amont avec l'opérateur et les autorités administratives</p> <p><b>Plan d'analyses</b> : fixe les paramètres à mesurer (analyses de contaminants, bioessais), le nombre et la localisation des échantillons, et tient compte des données déjà disponibles</p>			
<p><b>ÉTAPE 1</b> Screening</p>	<p><b>Analyse de substances prioritaires</b> et contextuelles sur sédiment brut (<math>\leq 2</math> mm) → Fiches opérationnelles F1 et F3</p>		<p><b>Batterie de bioessais 1</b> Suivi du comportement de trois organismes différents (nématode, ostracode et bactérie). Permet de limiter les « faux négatifs » (plus exactement erreurs de type II) dus à des variations de biodisponibilité ou la présence de contaminants non analysés → Fiche opérationnelle F2</p>	
<p>Mis en regard par rapport aux...</p>	<p>... seuils « NQE » transposés pour le biote (Tableau 9 p 30)</p>	<p>... seuils de contamination prédictifs d'effets écotoxiques (Tableaux 5 et 6 p 22-23)</p>	<p>... valeurs seuils et indice d'écotoxicité H (p 27)</p>	
<p><b>ÉTAPE 2</b> Évaluation poussée</p>	<p><b>Analyse de contaminants bioaccumulables</b> dans des organismes locaux ou encagés (oligochètes, chironomes ou gammares) → Fiche opérationnelle F4</p>		<p><b>Batterie de bioessais 2</b> Mesure de différents traits relatifs à la survie et à la reproduction chez un diptère, un crustacé et un oligochète → Fiche opérationnelle F5</p>	
<p>Mis en regard par rapport aux...)</p>	<p>« NQE biote » ou seuils de toxicité tissulaires (CBR) (3.1 p 40)</p>		<p>Seuils de signification biologique (Tableau 12 p 34)</p>	
			<p>Indice IOBS Effets toxiques mesurés à l'échelle de la communauté d'oligochètes → Fiche opérationnelle F6</p>	
			<p>Classe de qualité (p 38)</p>	



# Sommaire



## 8 Introduction

### 14 ÉTAPE 0 - Revue des informations disponibles

FICHE « Fiche opérationnelle - échantillonnage et analyses »

### 18 ÉTAPE 1 – Screening

21 Fiche opérationnelle 1 – Prélèvement des sédiments pour les analyses

25 Fiche opérationnelle 2 – Bioessais de criblage

29 Fiche opérationnelle 3 – Analyses chimiques de substances bioaccumulables sur sédiment brut

### 31 ÉTAPE 2 – Évaluation poussée

33 Fiche opérationnelle 4 – Batterie de bioessais sur macroinvertébrés

37 Fiche opérationnelle 5 – Effets sur la communauté de macroinvertébrés benthiques *in situ*

39 Fiche opérationnelle 6 – Analyses chimiques de substances bioamplifiables dans le biote

42 Annexe A. Notice pour remplir le tableur

44 Annexe B. Protocole MLPA (Microtox® sur lixiviat de la phase solide)

46 Annexe C. Protocole standard du test Gammare

47 Annexe D. Indications relatives au test de toxicité sur *Lumbricus variegatus*

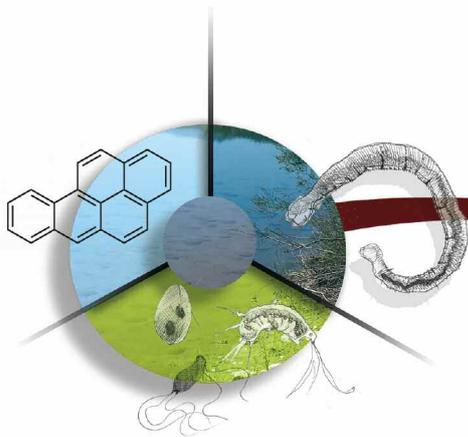
48 Annexe E. Qualité et gestion des données

49 Annexe F. Durées et coûts approximatifs des opérations

## 50 Glossaire

## 52 Bibliographie thématique

## 56 Listes des figures et tableaux



# Introduction

## 1. Contexte et objectif du guide

Ressource au service des écosystèmes fluviaux, les **sédiments** se présentent parfois comme une source de **perturbation** à l'usage de ces mêmes systèmes. Les **ouvrages** (écluses, ports, barrage, etc.) modifient la dynamique des sédiments, et leur fonctionnement est perturbé en retour par des **dépôts de particules fines**, éventuellement contaminées par des **substances chimiques** d'origine anthropique. Afin d'**optimiser l'exploitation des ouvrages** ou pour des raisons de sécurité, les maîtres d'ouvrage concernés doivent faire face à ces perturbations sans entraîner de dommages notables pour l'environnement. Des **options de gestion des sédiments accumulés** dans les ouvrages ou dans les voies navigables sont alors envisagées (exemples en Figure 1).

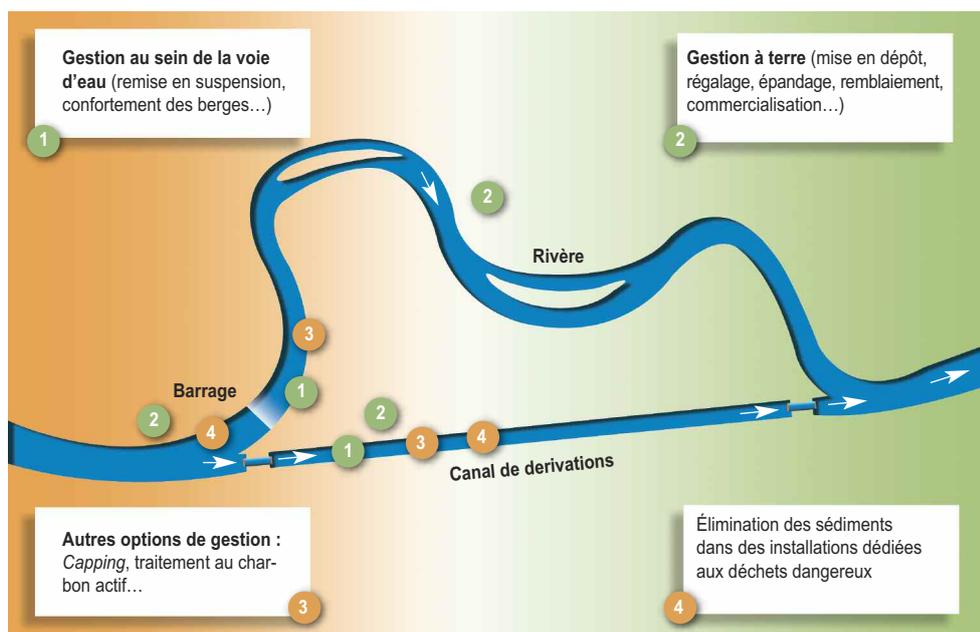


Figure 1. Différentes options de gestion des sédiments accumulés dans les ouvrages et voies navigables.

La plupart de ces options de gestion ne peuvent être envisagées que si les sédiments accumulés ne constituent pas un danger pour l'environnement et pour les organismes du milieu récepteur (eau ou terre selon l'option envisagée). Ceci implique alors de **pouvoir évaluer le danger potentiel de ces sédiments avant toute opération**. Par ailleurs, lors de suivis d'état des eaux dans un contexte de directive cadre sur l'eau (DCE), un dépassement de NQE (normes de qualité environnementale) peut conduire à établir un **diagnostic sur**

les causes de dégradation, afin d'orienter des mesures de gestion appropriées. Ce diagnostic devra notamment chercher à déterminer si la contamination du sédiment est l'une des causes de dégradation au sens DCE, ce qui peut être fait en appliquant la démarche graduée décrite dans ce guide.

Dans ce cadre, ce guide pratique de la série « guides et protocoles » de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) présente une démarche d'évaluation écotoxicologique permettant de caractériser le danger relatif aux sites d'accumulation des sédiments en eau douce, en amont d'opérations d'entretien. Pour autant, ce guide n'a pour objectif de détailler les différentes options de gestion à disposition des opérateurs.

### 1.1. Périmètre ciblé par le guide

Les finalités opérationnelles de ce guide sont adaptées à la gestion des voies navigables et des ouvrages des systèmes fluviaux continentaux, mais également au diagnostic du ou des polluants responsables du déclassement en mauvais état d'un site.

Les eaux estuariennes et littorales sont confrontées à des problématiques qui ne sont pas prises en compte ici.

Ce guide cible uniquement la gestion des sédiments au sein de la voie d'eau. Il n'aborde donc pas le cas de la gestion des sédiments à terre, ni celui du dragage à proprement parler, cette thématique étant abordée dans un autre rapport réalisé par le BRGM en 2013, ni le cas des chasses sédimentaires.

### 1.2. Public visé par le guide

Ce guide est à destination des maîtres d'ouvrages et opérateurs de la gestion des sédiments, des bureaux d'études, des syndicats d'aménagement et gestion des milieux aquatiques, des services de police de l'eau, ainsi que des agences de l'eau.

### 1.3. Démarche d'évaluation graduée et procédures expérimentales

Ce guide prend la forme d'une démarche d'évaluation « graduée », comprenant une batterie d'analyses désignée comme éléments de preuve, qui sont ensuite utilisés dans un système de classement pondéré, permettant de valider ou non l'option de gestion envisagée, selon le danger (ex. : « danger négligeable », « danger avéré »). L'avantage de cette démarche est de permettre d'ordonner de manière logique les outils de diagnostic, et de faciliter l'interaction entre évaluateurs et parties prenantes dans la prise de décision en amont de la réalisation des projets.

Ce type d'évaluation par étapes graduées a déjà été développé dans différents contextes, avec des procédures expérimentales, principalement dans des pays industrialisés. On peut citer notamment :

- au Canada, la province de l'Ontario s'est appuyée sur ce concept pour construire un cadre décisionnel pour l'évaluation des sédiments contaminés, présents en de nombreux endroits des Grands Lacs ;
- en France, le projet ANR-Precodd Diese (outils de diagnostic de l'écotoxicité des sédiments) dont l'un des objectifs était d'élaborer et de tester un schéma d'évaluation par étape pour une gestion des sites d'accumulation de sédiments en milieu aquatique. Le BRGM a par ailleurs mis en place un protocole à base d'essais écotoxicologiques pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinés à une gestion à terre.

Ainsi, ce guide peut rentrer dans le **champ d'application de la DCE**, qui recommande la mise en place d'approches d'évaluation à plusieurs niveaux avec utilisation de différents éléments de preuve. Ceci dans une volonté de limiter l'impact des incertitudes liées aux NQE sédiment au cours du diagnostic d'évaluation.

#### 1.4. Cadre réglementaire

La démarche présentée dans ce guide est basée sur la **littérature** scientifique actuellement disponible sur le sujet, et sur la **réglementation en vigueur à ce jour** concernant la gestion des sédiments et des ouvrages, notamment :

- **l'arrêté du 30 mai 2008**, fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration. Il encadre les opérations de dragage et la gestion des sédiments dans la voie d'eau ou à terre ;
- **l'arrêté du 9 août 2006** relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux ;
- **CETMEF, 2011**. Dragages d'entretien des voies navigables. Aide à l'élaboration et au suivi d'un plan de gestion pluriannuel ;
- **les articles de droit français d'application de la DCE** :
  - **arrêté du 27 juillet 2015** relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface,
  - **arrêté du 7 août 2015** établissant le programme de surveillance de l'état des eaux.

## 2. Contenu du guide

Ce guide présente de manière accessible aux opérateurs, un **schéma d'évaluation graduée** construit principalement à partir des livrables et articles de synthèse du **projet ANR-Precodd Diese**. Certains éléments de la démarche Diese ont été complétés ou modifiés, en se basant notamment sur les **résultats d'études réalisées par l'Ineris**, dans le cadre de sa convention avec l'Onema (maintenant Agence française pour la biodiversité), concernant l'utilisation de bioessais, ainsi que sur une revue de littérature scientifique et sur les pratiques européennes en matière d'évaluation des sédiments. Toutes les références se trouvent en annexe du guide dans la bibliographie thématique.

La démarche graduée proposée ici (Figure 2) comprend **une étape préliminaire (étape 0)**, consistant à analyser les informations disponibles préalablement à l'évaluation proprement dite, et **deux étapes d'évaluation du danger** lié à la contamination : **un dépistage (étape 1)** et **une évaluation poussée (étape 2)**. Un approfondissement de diagnostic pourra être envisagé au cas par cas en fin d'étape 2. La démarche est limitée volontairement à **3 étapes maximum**, afin d'assurer l'efficacité du processus et limiter sa complexité.

Pour chaque étape de la démarche, le guide comprend, de manière ordonnée sous forme d'« étapes » et de « fiches opérationnelles », une présentation ou un renvoi à des **protocoles et outils** permettant l'évaluation du danger des sédiments sous différentes approches complémentaires. Certaines opérations nécessitant le calcul d'indices, **un outil d'aide au calcul** (tableur Libre Office) est également proposé.

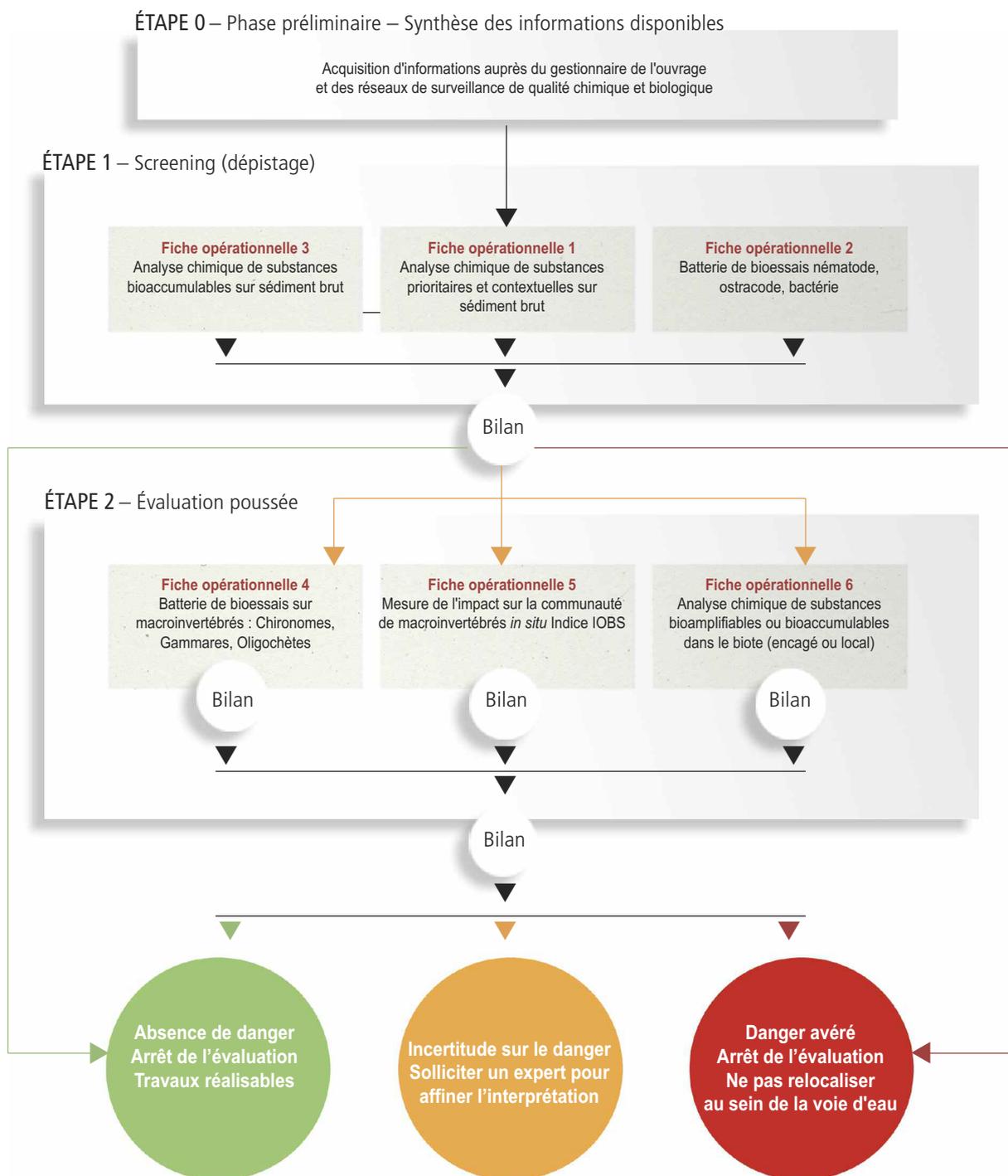


Figure 2. Logigramme de la démarche graduée pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments « en place ».

### 3. Cadrage de l'évaluation et recommandations

La démarche s'articule autour de deux ou trois éléments de preuves selon les étapes :

- la toxicité vis-à-vis de la faune benthique ;
- l'accumulation des contaminants dans le benthos (donc la toxicité pour les organismes des niveaux trophiques supérieurs se nourrissant de proies potentiellement contaminées) ;
- et l'impact sur les communautés de macroinvertébrés benthiques.

Chaque élément de preuve fait l'objet d'une ou deux fiches opérationnelles présentées ci-après, qui détaillent chacune une opération spécifique : « bioessais », « analyse chimique », etc.

La démarche d'évaluation ayant pour objectif d'évaluer l'acceptabilité ou non d'une option de gestion pour un site, les données obtenues permettent de se positionner dans 3 classes décisionnelles : acceptable, inacceptable, ou incertaine.

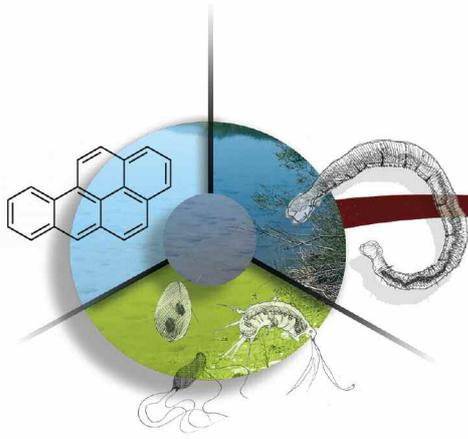
À l'exception de l'étape 0, chaque étape peut se conclure soit par l'arrêt de l'évaluation, si les résultats obtenus sont concluants (acceptable ou inacceptable), soit par une poursuite de l'évaluation à l'étape suivante, si l'incertitude reste trop élevée.

<b>Opération acceptable</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Pas de danger avéré</li><li>■ Projet de gestion au sein de la voie d'eau (remise en suspension) réalisable</li><li>■ Arrêt de l'évaluation</li></ul>
<b>Conclusion incertaine</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Approfondissement de l'évaluation nécessaire</li></ul>
<b>Opération inacceptable</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Danger avéré</li><li>■ Opération non réalisable au sein de la voie d'eau, autre option de gestion recommandée (ex. : gestion à terre...)</li><li>■ Précaution à prendre en cas de dragage pour gestion à terre</li><li>■ Arrêt de l'évaluation</li></ul>

## 4. Perspectives d'évolution du guide

La démarche d'évaluation développée dans ce guide présente un aspect **ouvert et perfectible**, compte tenu des évolutions possibles de la réglementation, des recherches continues sur ces problématiques et des développements méthodologiques associés.

Un aspect essentiel dans cette perspective serait de mettre en place un **retour d'expériences**, afin de consolider les outils, de valider ou de modifier certains choix méthodologiques, qu'il s'agisse des critères d'interprétation ou des indices utilisés.



# ÉTAPE 0

## Revue des informations disponibles

### 1. Objectifs

L'étape 0 (Figure 3), préliminaire au processus d'évaluation en tant que tel, consiste à passer en revue toutes les informations disponibles et à collecter des données, afin d'orienter l'évaluation à suivre et d'en assurer la pertinence. Toutes les données recueillies à cette étape seront valorisées et permettront la proposition d'un plan d'échantillonnage et d'analyse adapté au cas traité.

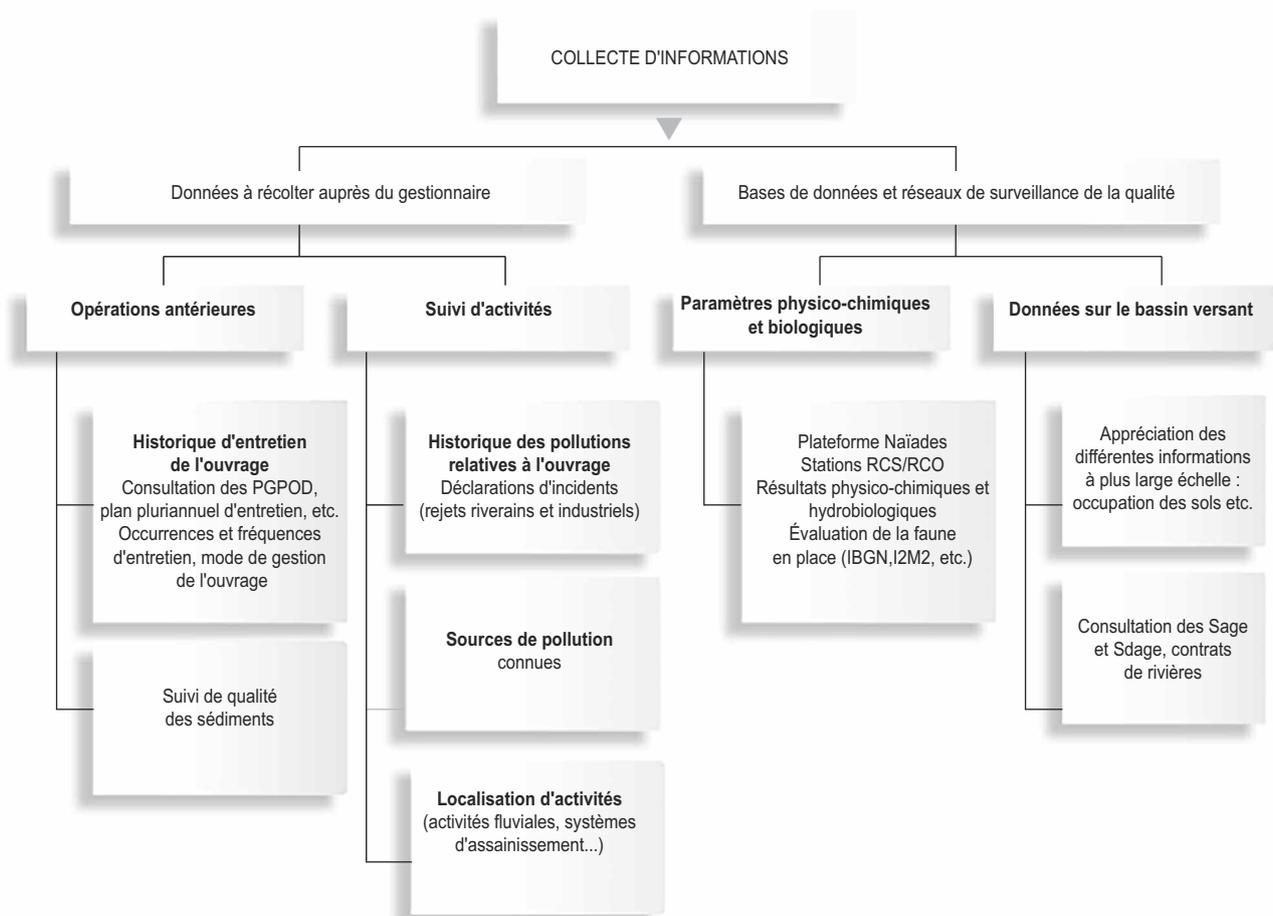


Figure 3. Déclinaison de l'étape 0 : revue des informations disponibles.

Il s'agit ici d'identifier toutes les sources de danger, telles que les pollutions riveraines au site, afin d'éventuellement compléter la liste des substances chimiques à appréhender par une liste de substances contextuelles.

## 2. Méthode

Les informations à passer en revue concernent notamment :

- la présence de **contaminants** ubiquitaires, généralement présents dans le sédiment et ciblés comme prioritaires par la DCE ;
- les **caractéristiques du système récepteur** ;
- les **voies de transferts des contaminants** ;
- **l'étendue du site**.

Afin d'identifier des secteurs où les sédiments sont susceptibles d'être contaminés, il faudra aussi considérer les informations concernant **l'historique du site**, ainsi que **le suivi d'activités et les opérations antérieures autour de la zone à évaluer** (Tableau 2 page suivante) :

- **déclarations d'incidents et de contaminations passées** ;
- **sources de pollution** dans le bassin versant amont du secteur considéré ;
- **historique de gestion** de l'ouvrage, etc.

Afin de compléter les informations transmises par le gestionnaire et d'identifier d'autres sites spécifiques, il convient de solliciter des **plateformes et des inventaires en ligne**.

Il est également important de consulter les **données hydro-écologiques** (hydrobiologie, physico-chimie, hydro-morphologie) du site : stations RCS et RCO du district hydrographique correspondant (stations de suivis mis en œuvre dans le cadre de la DCE), plateforme Naiades, etc.

## 3. Conclusion de l'étape 0

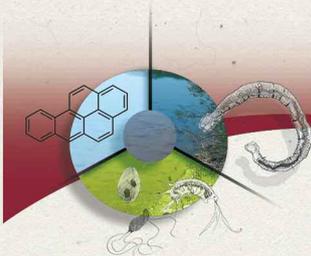
À l'issue de l'étape 0, un **plan d'échantillonnage et d'analyse** doit être établi, grâce à une synthèse de toutes les informations obtenues, et doit comprendre au moins :

- le **périmètre du site** ;
- le **nombre d'échantillons à analyser et leurs localisations** ;
- la **liste des substances chimiques prioritaires ou contextuelles susceptibles d'être retrouvées dans le sédiment**.

Avant de débiter les étapes 1 et 2, se référer à la fiche « **opérationnelle - Échantillonnage et analyses** » p. 17.

Tableau 2. Informations à rechercher pour élaborer le plan d'échantillonnage et d'analyse (liste indicative)

	Type de données	Exemples et Intérêts de la donnée pour l'évaluation
Suivi d'activités	<b>Incidents et pollutions accidentelles</b>	Base de données interne auprès du gestionnaire : localisation, étendue et nature de la pollution, actions entreprises pour y remédier
	<b>Localisation d'activités</b>	Activités portuaires, fluviales ou estuariennes (par ex., localisation d'apportements pour l'avitaillement, cales de mise à l'eau, dispositifs d'amarrage ou de réparation des bateaux) Zones confinées ou zones libres (circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000) Trafic des bateaux, rejets des systèmes d'assainissement, etc.
Opérations antérieures	<b>Données relatives aux dragages antérieurs</b>	Données améliorant la connaissance des sites et orientant le zonage : - lieux de dépôt préférentiel (bathymétrie et topographie) - localisations des points de prélèvement - méthodologie de prélèvement (ex. : nombre, épaisseur prélevée) - nature des sédiments prélevés (ex. : homogénéité, texture) - identification de secteurs de charges polluantes connues ou sans risque probable
	<b>Analyses chimiques ou environnementales et suivi de qualité des sédiments</b>	Résultats donnant des indications qualitatives qui permettent d'orienter l'évaluation
Base de données	<b>BASOL</b> Base de données de sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics	La présence d'un site dans cette base de données permet de suspecter une pollution des milieux (sols et/ou eau souterraine)
	<b>BASIAS</b> Inventaire historique urbain (IHU) et inventaire historique régional (IHR) des sites industriels et activités de service	La présence d'un site dans cette base de données permet d'identifier une activité potentiellement à risque pour le milieu
	<b>RSDE ICPE</b> Recherche de substances dangereuses dans l'eau des rejets des installations classées pour la protection de l'environnement	La présence d'un site dans cette base de données permet d'identifier les points de rejet pouvant impacter la qualité des sédiments
	<b>RSDE STEU</b> Recherche de substances dangereuses dans l'eau des rejets des stations d'épuration urbaine	La présence d'une station d'épuration dans cette base de données permet d'orienter l'évaluation



## opérationnelle Échantillonnage et analyses

### 1. Conditions idéales de prélèvement

- Se référer aux documents dédiés et paragraphes spécifiques pour chacune des méthodes d'essais pour le traitement des échantillons avant utilisation pour l'analyse.
- Veiller à prélever suffisamment de sédiment pour tester la toxicité de ce dernier vis-à-vis du benthos, ainsi que la présence de substances bioaccumulables ou bioamplifiables.

### 2. Recommandations pour l'échantillonnage

Il est conseillé de mutualiser l'échantillonnage de sédiment nécessaire aux différentes étapes de ce guide avec celui éventuellement imposé par la réglementation. Il faut donc prévoir de prélever une plus grande quantité de sédiment, permettant un gain de temps non négligeable.

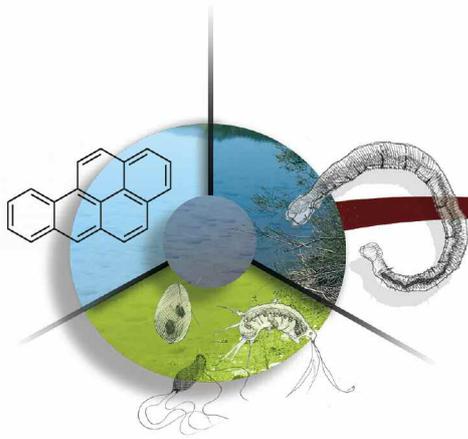
Afin de s'affranchir d'une éventuelle hétérogénéité du sédiment, il est recommandé de constituer un échantillon composite en considérant plusieurs points de la zone à étudier.



**Attention** - Pour les fiches opérationnelles 2 et 4 qui concernent les bioessais, les échantillons de sédiment à tester **ne doivent pas être congelés**, ce qui aurait pour effet de biaiser les résultats.

### 3. Références pour l'échantillonnage

- Opérations d'échantillonnage de sédiments en milieu continental (cours d'eau et plan d'eau) dans le cadre des programmes de surveillance DCE - Recommandations techniques - Aquaref - Édition 2017
- Échantillonnage des sédiments marins et fluviaux - Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire - Synthèse documentaire et recommandations (Septembre 2016) - Ceremà - Direction territoriale Centre Est
- Opérations d'analyse physico-chimique des eaux et des sédiments en milieu continental dans le cadre des programmes de surveillance DCE - Recommandations techniques - Aquaref - Édition 2016



# ÉTAPE 1

## Screening

### 1. Objectifs

À l'étape 1, on cherche à répondre à deux questions :

■ Les contaminants prioritaires présents dans les sédiments présentent-ils un danger probable pour les invertébrés benthiques (effets toxiques directs) ?

et

■ Les contaminants bioaccumulables ou bioamplifiables sont-ils présents à un niveau préoccupant ?

### 2. Méthodes

Deux éléments de preuve sont sollicités afin de répondre aux objectifs de cette étape 1 (logigramme de l'étape 1 en Figure 4) :

		Tests et paramètres à mesurer	Application
<b>Élément de preuve 1</b>	Écotoxicité du sédiment vis-à-vis de la faune benthique	Analyse chimique de substances sur sédiment brut	<b>Fiche opérationnelle 1</b>
		Batterie de trois bioessais	<b>Fiche opérationnelle 2</b>
<b>Élément de preuve 2</b>	Appréciation de la bioaccumulation et bioamplification	Recherche de substances chimiques bioaccumulables sur sédiment brut	<b>Fiche opérationnelle 3</b>

Les substances chimiques concernées par ces deux éléments de preuve étant différentes, celles-ci sont présentées ci-après dans des tableaux séparés. Il est cependant évident qu'une seule commande d'analyse regroupant toutes les substances sera faite au laboratoire prestataire.

### 3. Conclusion de l'étape 1

À l'issue de l'étape 1, selon les résultats des opérations de chaque élément de preuve, l'évaluation peut prendre fin si aucun danger n'est mis en évidence : aucun élément de preuve défavorable ou à l'inverse, si le danger est avéré : au moins 2 éléments défavorables, auquel cas il faudra s'orienter sur d'autres options de gestion. Si un seul élément de preuve est défavorable, il convient de poursuivre l'évaluation en **étape 2** afin de préciser les résultats. L'ensemble des résultats possibles est détaillé dans le Tableau 3.

Aucun élément de preuve défavorable	Un élément de preuve défavorable	Deux éléments de preuve défavorables
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Danger négligeable</li> <li>■ Arrêt de l'évaluation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Incertitude sur le danger</li> <li>■ Poursuite de l'évaluation en étape 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Danger avéré</li> <li>■ Arrêt de l'évaluation</li> </ul>

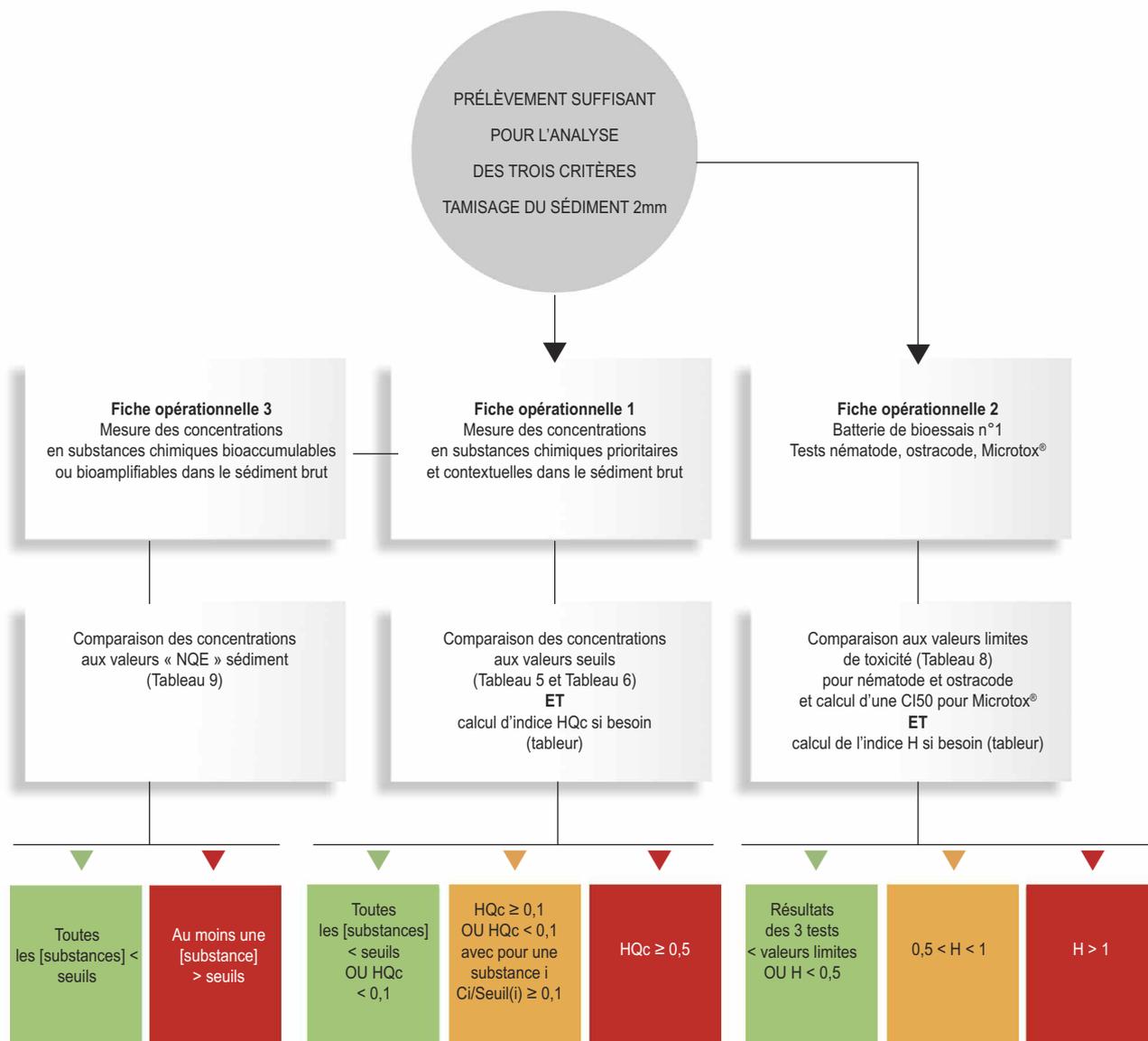
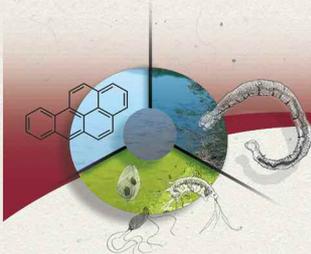


Figure 4. Logigramme de l'étape 1 avec liens vers les fiches opérationnelles et critères d'interprétation.

Tableau 3. Résultats possibles des 3 opérations de l'étape 1 (avec légendes) et conclusion opérationnelle correspondante

Critères d'interprétation en étape 1				
Élément de preuve 1 - Toxicité		Élément de preuve 2 - Bioaccumulation	Conclusion opérationnelle	
Fiche opérationnelle 1 Analyse chimique	Fiche opérationnelle 2 Bioessais	Fiche opérationnelle 3 Analyse chimique		
			Danger négligeable : arrêt de l'évaluation	
			Incertitude sur le danger : poursuite de l'évaluation en étape 2	
				Danger avéré : arrêt de l'évaluation

Légendes d'interprétation en étape 1		
Élément de preuve 1 - Toxicité		Élément de preuve 2 Bioaccumulation
Fiche opérationnelle 1	Fiche opérationnelle 2	Fiche opérationnelle 3
Toutes les [substances] < seuils	3 tests < valeurs limites ou $H < 0,5$	Toutes les [substances] < seuils
$HQc \geq 0,1$ ou $HQc < 0,1$ avec pour 1 substance $Ci/Seuil_i \geq 1$	$0,5 < H < 1$	
$HQc \geq 0,5$	$H > 1$	Au moins une [substance] > seuil



## opérationnelle 1 Prélèvement des sédiments pour les analyses

### 1. Objectifs

Définir le niveau de contamination du sédiment brut, qui permettra d'apporter une première évaluation concernant les effets toxiques potentiels des sédiments sur la faune benthique.

### 2. Méthodes et paramètres à mesurer

On cherche à analyser des substances chimiques dans le sédiment brut. La matrice à analyser est le sédiment brut tamisé à 2 mm. Pour les bonnes pratiques d'échantillonnage et de manipulation se référer à la fiche « opérationnelle - Échantillonnage et analyses ».

On considère en premier lieu une liste de substances chimiques pertinentes pour le sédiment en raison de leur caractère hydrophobe ou de leur affinité pour les sédiments. Ces substances figurent aussi pour la plupart sur la liste des substances prioritaires au titre de la DCE (Tableau 4). Les substances identifiées par une (\*) sont particulièrement susceptibles de se bioaccumuler dans les réseaux trophiques (Fiche opérationnelle 3).

Tableau 4. Substances prioritaires à analyser dans le sédiment au titre des directives issues de la DCE (Directive 2013/39/UE)

N°	Désignation de la substance prioritaire	N° CAS	Code SANDRE
5	Polybromodiphényl-éthers (PBDE) [*]	32534-81-9	7705
6	Cadmium et ses composés	7440-43-9	1388
16	Hexachlorobenzène (HCB) [*]	118-74-1	1199
18	Hexachlorocyclohexane	608-73-1	5537
20	Plomb et ses composés	7439-92-1	1382
21	Mercure et ses composés [*]	7439-97-6	1387
23	Nickel et ses composés	7440-02-0	1386
28	<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques</b>	<b>(HAP)</b>	
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	1115
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	1116
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	1117
	Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	1118
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	1204
2	Anthracène	120-12-7	1458
15	Fluoranthène	206-44-0	1191
22	Naphtalène	91-20-3	1517
35	Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS)	1763-23-1	6561
43	Hexabromocyclododécane (HBCDD) [*]	3194-55-6	7128

Le choix de cibler ces substances se justifie par leurs propriétés (affinité pour le sédiment), plutôt qu'en référence à la DCE, qui de fait ne considère pas cette matrice. En tout état de cause, les sédiments peuvent cependant constituer un réservoir de substances hydrophobes ou de cations métalliques, et être de ce fait une cause de dégradation de la qualité des masses d'eau.

### 3. Interprétation des résultats d'analyses chimiques

Afin de déterminer l'écotoxicité potentielle des sédiments, les concentrations en substances chimiques relevées dans le sédiment prélevé doivent être comparées à des valeurs seuils. Le Tableau 5 précise les valeurs seuils à employer pour les substances du Tableau 4, toxiques pour les invertébrés benthiques. Si l'ensemble des concentrations sont inférieures aux valeurs seuils, le sédiment ne présente pas de danger au regard de cet élément de preuve. Dans le cas contraire, le calcul d'un indice moyen de contamination est nécessaire afin d'établir un diagnostic opérationnel.

Toutes [substances] ≤ seuils	Au moins une [substance] > seuil
■ Pas de danger avéré	■ Calcul d'un indice moyen de toxicité

#### 3.1. Valeurs seuils

Les valeurs seuils inscrites dans le Tableau 5 et le Tableau 6 sont à considérer. Le Tableau 5 recense les substances prioritaires à analyser avec leurs valeurs seuils de qualité (valeurs les plus pénalisantes d'après les niveaux de référence S1 et N2 définissant la qualité des sédiments extraits dans l'arrêté du 09/08/2006).

Tableau 5. Liste des substances prioritaires à analyser et leurs valeurs seuils pour l'interprétation des effets toxiques directs par analyse chimique

	Substances prioritaires	Seuil en mg/kg de sédiment sec analysé	Source du seuil
<b>Écotoxicité</b>	Arsenic	30	S1
	Cadmium	2	S1
	Chrome	150	S1
	Cuivre	90	N2
	Nickel	50	S1
	Plomb	100	S1
	Zinc	300	S1
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (totaux)	22,8	S1

Selon les informations recueillies à l'étape 0, d'autres substances d'intérêt local ou substances contextuelles sont à analyser en complément de la liste standard, par exemple, si des sources ciblées de pollution ont été détectées au sein du bassin versant de la zone à évaluer. Le Tableau 6 présente une liste non exhaustive de substances susceptibles d'être analysées en supplément de la liste des substances prioritaires du Tableau 5.

Pour les substances dépourvues de seuils réglementaires, des valeurs de PEC (*Probable Effect Concentration*), concentration au-dessus de laquelle la toxicité vis à vis des invertébrés benthiques est probable, seront à considérer. Pour les substances non concernées par les seuils réglementaires S1 ou les PEC, plusieurs sources d'informations sont à considérer, notamment le [portail substances chimiques](#) de l'Ineris qui centralise différentes sources de seuils comme les NQE (Normes de qualité environnementale). Il est également possible d'avoir recours à des experts.

Tableau 6. Exemples de substances contextuelles à analyser et leurs valeurs seuils pour l'interprétation des effets toxiques directs par analyse chimique (seuils N2 de l'arrêté du 09/08/2006 et PEC par MacDonald, 2000)

	Substances contextuelles	Seuil en mg/kg de sédiment sec analysé	Source du seuil
Écotoxicité	Composés du tributyl-étain (TBT)	0,400	N2
	Hexachlorocyclohexane (lindane)	4,99	PEC
	Heptachlore	16,0	PEC
	Dieldrine	61,8	PEC
	Endrine	207	PEC
	...	...	...

### 3.2. Calcul d'un indice moyen (HQc) et critères d'interprétation

Dans le cas où les concentrations de certaines substances seraient supérieures aux valeurs seuils, le calcul d'un indice de contamination moyen (Équation 1) est indiqué pour établir un diagnostic. Un outil de calcul (tableur) est disponible pour cette étape.



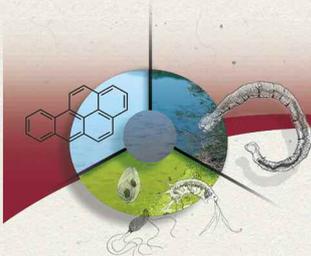
$$HQ_c = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{Seuil_i}}{n}$$

Équation 1 – Indice de contamination moyen  
Avec

$C_i$  est la concentration mesurée dans le sédiment pour la substance  $i$   
 $Seuil_i$  est la concentration limite en substance  $i$  ayant un effet toxique probable  
 $n$  est le nombre de substances mesurées

HQc < 0,1	HQc ≥ 0,1 ou HQc < 0,1 avec pour 1 substance $C_i/Seuil_i \geq 1$	HQc > 0,5
■ Danger négligeable	■ Incertitude sur le danger	■ Danger avéré





## opérationnelle 2 Bioessais de criblage

### 1. Objectifs

Les effets toxiques directs des sédiments vis-à-vis de la faune benthique peuvent également être évalués à l'aide d'une batterie de **bioessais**. La complémentarité des bioessais avec les analyses chimiques est justifiée par la prise en compte des **effets additifs potentiels des substances chimiques en mélange**, ainsi que par la **variabilité des contaminants et des sites étudiés**. Les bioessais permettent également de rendre compte des **effets de substances non recherchées** lors de l'analyse chimique ou non connues sur le site étudié.

### 2. Méthodes et intérêts des bioessais

La batterie choisie porte sur **trois organismes ayant des modes de vie différents et se situant à différents niveaux de la chaîne alimentaire** (Tableau 7). Ceci permet une meilleure représentativité des effets écotoxiques potentiels sur différentes fractions du sédiment (fraction solide, eau interstitielle, substances lixiviables), à travers le suivi de plusieurs effets biologiques (mortalité, croissance, reproduction).

De par leur abondance dans les habitats et leur rôle d'intermédiaires entre les micro-organismes et les niveaux trophiques supérieurs, les **nématodes** présentent un fort intérêt en tant que bioindicateurs. La facilité de culture, le corps transparent et le cycle de génération court des nématodes offrent des avantages dans le criblage de la toxicité *in vivo* de produits chimiques par rapport à divers paramètres de toxicité. Ce test de toxicité chronique est conçu pour mesurer la réponse à des substances dissoutes et liées aux particules du sédiment.

L'utilisation d'un test ostracodes permet d'obtenir des résultats complémentaires à ceux du test sur nématodes, les **ostracodes** étant des organismes **épibenthiques**. De plus, il s'agit d'un test simple, également commercialisé sous forme de kit, qui ne requiert que peu d'échantillons. Ce test vise à apprécier la toxicité des formes adsorbées des substances présentes dans le sédiment, qui sont susceptibles de se désorber et ainsi devenir biodisponibles pour les organismes.

Le troisième test choisi est le test Microtox® concernant une **bactérie : *Aliivibrio fischeri***. Le test proposé ici, intitulé **Microtox sur lixiviat de phase solide (MLPA)** est une version modifiée du test **Microtox® sur phase solide standard (MSPA)**, permet de s'affranchir des interférences possibles liées aux particules fines des sédiments pouvant fixer une partie des bactéries.

Tableau 7. Caractéristiques des bioessais de l'étape 1

Bioessai Etape 1	Test nématode	Ostracodtoxkit®	Microtox® sur lixiviat de phase solide (MLPA)
Espèce	 © Creative Commons <i>Caenorhabditis elegans</i>	 © Nicolas Manier - Ineris <i>Heterocypris incongruens</i>	 © PNAS 2005 <i>Aliivibrio fischeri</i>
Description	Vers rond endobenthique Bactérovore	Crustacé épibenthique Filtreur	Bactérie marine bioluminescente Décomposeur
Norme/Protocole	NF ISO 10872 :2010	NF ISO 14371 Protocole OstracodToxkit™	Fiche protocole MLPA : modifications par rapport au protocole standard Microtox® MSPA (Doe et al., 2005)
Type de toxicité	Chronique	Aiguë (létales et sublétales)	Aiguë
Critères d'effets suivis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détermination de la mortalité</li> <li>• Détermination de la croissance des larves</li> <li>• Reproduction des organismes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détermination de la mortalité</li> <li>• Détermination de la croissance des nauplius</li> </ul>	Inhibition de la luminescence
Temps d'exposition	4 jours	6 jours	5-15-30 minutes
Temps d'acquisition des résultats	4 jours	6 jours	1 jour
Paramètre retenu	% maximal d'inhibition de croissance atteint au cours du test	% maximal d'inhibition de croissance atteint au cours du test	Concentration inhibitrice 50 % (CI50) en g de sédiments secs par litre (g/L)

À noter : les tests doivent être réalisés sur des échantillons de sédiments frais et non congelés.

### 3. Interprétation des résultats et recommandations

#### 3.1. Seuils d'interprétation : valeurs limites de toxicité

La caractérisation de l'écotoxicité des matrices sédimentaires nécessite de disposer de valeurs fixant la limite entre un état de référence et l'apparition d'un effet toxique significatif lié à la présence de contaminants (valeurs appelées dans la suite du document « valeurs limites de toxicité »). La granulométrie et la composition géochimique des sédiments peuvent avoir une influence sur certains effets écotoxicologiques et peuvent expliquer en partie les écarts observables entre résultats chimiques et résultats des bioessais.

Concernant les tests nématodes et ostracodes, la limite de toxicité peut être définie en considérant un coefficient de variation sédiment (CVs) qui reflète à la fois la variabilité biologique du critère suivi, mais aussi la variabilité entraînée par les propriétés intrinsèques des sédiments. Un indice complémentaire « IMT » (inhibition maximale tolérable) a aussi été proposé, correspondant à la somme de la valeur moyenne d'inhibition calculée sur un ensemble de sédiments non contaminés et de son écart type. La valeur limite de toxicité est définie sur la base de la valeur la plus importante des deux indices calculés (CV et IMT). L'interprétation de ces deux tests vise à comparer les résultats aux valeurs limites de toxicité (Tableau 8).

Tableau 8. Valeurs limites de toxicité pour les critères de mortalité, d'inhibition de la croissance et la reproduction (d'après Manier et al., 2015, Höss et al., 2010 et Casado-Martinez, 2016)

	Nématode			Ostracode	
	Survie	Croissance	Reproduction	Survie	Croissance
Limite de toxicité (% d'inhibition par rapport au contrôle)	20 %	25 %	50 %	20 %	35 %
Sources des seuils	Manier et al., 2015b	Manier et al., 2015, Höss et al., 2010 et Feiler, 2013		Casado-Martinez, 2016	

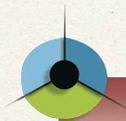
Il faudra faire preuve de vigilance quant à l'interprétation des critères d'effets « survie des ostracodes » et « reproduction des nématodes » qui sont de faible robustesse et dont la réponse peut être influencée par les propriétés physico-chimiques des sédiments testés. Il sera important de relativiser les valeurs obtenues si ces dernières semblent incohérentes par rapport aux autres critères d'effets, aux autres bioessais et aux analyses chimiques.

Concernant le test Microtox®, les résultats sont exprimés en calculant une CI50, concentration qui inhibe 50 % de la luminescence des bactéries mises en expérimentation durant la période d'essai.



### 3.2. Calcul de l'indice H et critères d'interprétation

Après étude des résultats de chaque test, si un des trois tests au moins met en évidence un effet toxique, il faudra procéder au calcul de l'indice H (Équation 2) pour une interprétation approfondie. L'indice H permet d'attribuer à un échantillon un score unique reflétant la toxicité mesurée à l'aide de plusieurs tests de manière simple, et indépendante du nombre et de la nature des tests. Pour calculer sa valeur, se référer au tableur.



$$H = \frac{\sum \log_{10} ET}{n}$$

Équation 2. Indice H

Avec

n est le nombre de tests réalisés

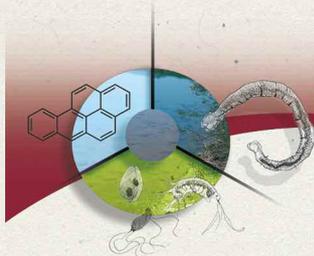
ET (équivalent toxique) =  $1/CI \times 100\%$

avec CI = concentration inhibitrice à 50 % (dans le cas de Microtox)

ou CI = 100 % - (% inhibition) dans le cas des tests nématode et ostracode







## opérationnelle 3

### Analyses chimiques de substances bioaccumulables sur sédiment brut

#### 1. Objectifs

Certains contaminants des sédiments peuvent être accumulés par les invertébrés benthiques sans leur causer d'effets toxiques, tandis que ces effets toxiques interviendront chez les prédateurs de ces invertébrés : on parle alors d'effets indirects. Il s'agit ici d'interpréter le niveau de contamination des sédiments en fonction du danger potentiel pour ces prédateurs.

#### 2. Méthode

Comme dans la fiche opérationnelle 1, on cherche à analyser des **substances chimiques dans le sédiment brut**. La matrice à analyser est le **sédiment brut tamisé à 2 mm**. Pour les bonnes pratiques d'échantillonnage et de manipulation se référer à la fiche « opérationnelle - Échantillonnage et analyses ».

On considère ici les substances répertoriées au Tableau 9 page suivante. Il s'agit principalement de substances prioritaires au titre de la DCE pour lesquelles la norme de qualité environnementale cible le biote (poissons). Dans le cas des PBDE, l'analyse concernera les congénères BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154. Dans le cas des PCB, elle inclura les congénères PCB 28, 52, 101, 138, 153 et 180.

Cependant, le Tableau 9 ne reprend pas toutes les substances prioritaires ciblant le biote au titre de la DCE, certaines d'entre elles étant à considérer comme des « substances contextuelles » (Fiche opérationnelle 1).

#### 3. Interprétation des résultats

Les concentrations de substances bioaccumulables relevées dans le sédiment seront comparées aux valeurs seuils du Tableau 9. Si l'ensemble des concentrations sont inférieures aux valeurs seuils respectives, le sédiment ne présente pas de danger au regard de cet élément de preuve. Si une seule substance dépasse le seuil pour cette substance, on considèrera qu'il y a danger pour cet élément de preuve.

Toutes [substances] ≤ seuils	Au moins une [substance] > seuil
■ Danger négligeable	■ Danger avéré

### 3.1. Valeurs seuils

Ces valeurs seuils ont été obtenues en transposant les normes de qualité environnementale établies pour le poisson, ou un seuil du même type, à un sédiment comprenant 5 % de carbone organique (sauf pour le mercure). Les explications théoriques sur la méthodologie de transposition, ainsi que les paramètres utilisés pour chaque substance, figurent dans le document « Essai de transposition des NQEbiote en concentrations seuil pour les sédiments » <https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/guides-protocoles>.

Tableau 9. Substances bioaccumulables à analyser et leurs valeurs seuils dans le sédiment

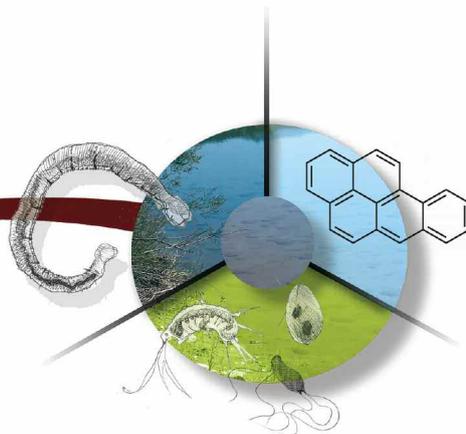
	Substances	Seuil en µg/kg de sédiment sec
Bioaccumulation	Mercure	0,46
	PCB <sup>1</sup>	1,19
	Diphényl-éthers bromés (PBDE) <sup>2</sup>	0,90
	Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS)	0,51
	Hexabromocyclododécane (HBCDD)	17,42

1 - Somme des concentrations des congénères PCB 28, 52, 101, 138, 153 et 180

2 - Somme des concentrations des congénères BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154

# ÉTAPE 2

## Évaluation poussée



### 1. Objectifs

En étape 2, on cherche à :

- évaluer de manière approfondie le danger des contaminants prioritaires présents dans les sédiments vis-à-vis des invertébrés benthiques ;
- évaluer l'impact des sédiments sur la macrofaune benthique, dans une volonté de ne plus considérer l'organisme seulement, mais plutôt la communauté ;
- confirmer le diagnostic de l'étape 1 concernant la présence à un niveau préoccupant de contaminants bioaccumulables et bioamplifiables, ici directement dans le biote.

### 2. Méthode

Trois éléments de preuve sont sollicités afin de répondre aux objectifs de cette étape (logigramme de l'étape 2 en Figure 5 page suivante).

Si les résultats de l'étape 1 concernant la bioaccumulation ne mettent pas en évidence un danger, cet élément de preuve n'aura pas à être évalué en étape 2 (Fiche opérationnelle 6).

		Opérations	Application
<b>Élément de preuve 1</b>	Écotoxicité vis-à-vis des invertébrés benthiques	Batterie de trois bioessais sur macroinvertébrés davantage orientée sur les traits de vie	<b>Fiche opérationnelle 4</b>
<b>Élément de preuve 2</b>	Impact sur la communauté de macroinvertébrés benthiques in situ	Indice oligochète IOBS	<b>Fiche opérationnelle 5</b>
<b>Élément de preuve 3</b>	Appréciation de la bioaccumulation et bioamplification	Analyse chimique de substances bioaccumulables dans le biote	<b>Fiche opérationnelle 6</b>

### 3. Conclusion à la fin de l'étape 2

On considèrera chaque élément de preuve séparément : une **réponse positive** pour un **élément de preuve** suffira pour classer un sédiment comme **dangereux**, quelle que soit la réponse pour les autres éléments. L'ensemble des résultats possibles est détaillé dans le Tableau 10 page suivante.

Aucun élément de preuve défavorable	Un élément de preuve défavorable	Deux éléments de preuve défavorables
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Danger négligeable</li> <li>■ <b>Arrêt de l'évaluation</b></li> <li>■ Le projet de gestion peut se poursuivre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Solliciter un expert</b> si l'évaluation mérite d'être approfondie (afin d'affiner l'interprétation de l'IOBS qui se trouverait en classe intermédiaire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Danger avéré</li> <li>■ <b>Arrêt de l'évaluation</b></li> <li>■ Recherche d'une autre option de gestion</li> </ul>

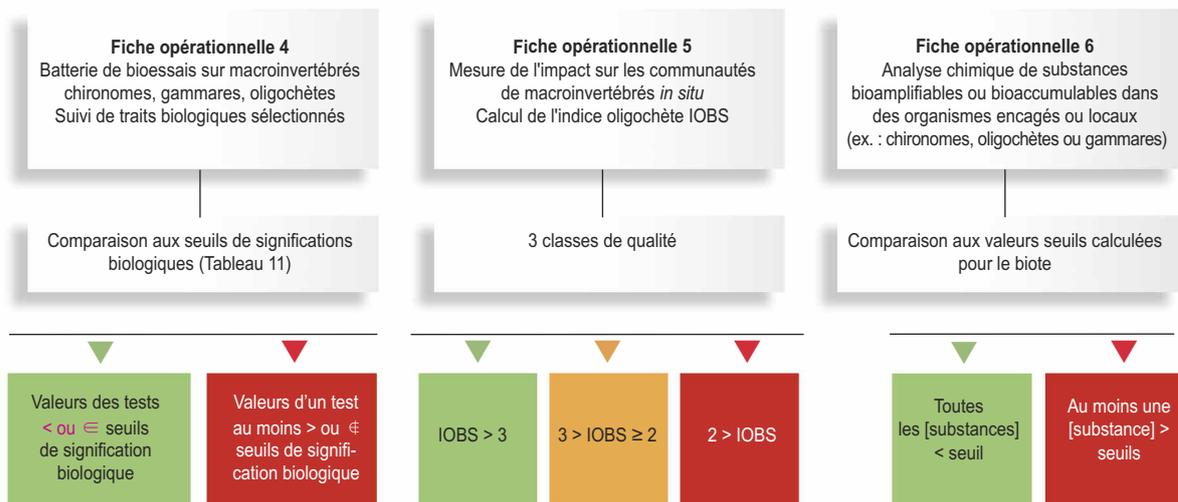
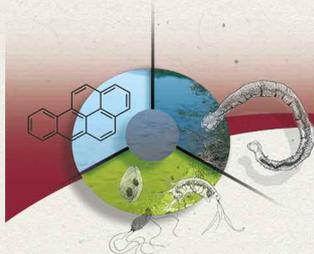


Figure 5. Logigramme de l'étape 2, avec liens vers les fiches opérationnelles et critères d'interprétation.

Tableau 10. Résultats des 3 opérations de l'étape 2 (avec légendes) et conclusion opérationnelle correspondante

Critères d'interprétation en étape 2			
Élément de preuve 1 - Toxicité	Élément de preuve 2 Communauté macrofaune benthique	Élément de preuve 3 Bioaccumulation	Conclusion opérationnelle
Fiche opérationnelle 4	Fiche opérationnelle 5	Fiche opérationnelle 6	
			Pas de danger avéré : arrêt de l'évaluation
			Incertitude sur le danger
			Danger avéré : arrêt de l'évaluation

Critères d'interprétation en étape 2		
Élément de preuve 1 - Toxicité	Élément de preuve 2 Communauté macrofaune benthique	Élément de preuve 3 Bioaccumulation
Fiche opérationnelle 4	Fiche opérationnelle 5	Fiche opérationnelle 6
Résultats tests < ou $\leq$ seuils de signification biologique	3 $\leq$ IOBS	Toutes les [substances] < seuils
	3 > IOBS $\geq$ 2	
Résultat d'au moins un test > ou $\neq$ seuils de signification biologique	2 > IOBS	Au moins une [substance] > seuils



## opérationnelle 4 Batterie de bioessais sur macroinvertébrés

### 1. Objectifs

Évaluer de manière plus poussée la toxicité des sédiments vis-à-vis des invertébrés benthiques, en étudiant la réponse biologique de trois organismes choisis, mis en contact avec les sédiments étudiés.

### 2. Méthodes

Les macrobiotests sélectionnés (Tableau 11 page suivante) bénéficient de nombreux retours d'expériences quant à leur utilisation en laboratoire, en termes d'exposition au sédiment et de critères d'effet toxique. Pour le choix des espèces (chironomes, gammares et oligochètes), plusieurs critères ont été retenus :

- une présence courante dans les écosystèmes d'eau douce français ;
- la disponibilité en laboratoire (élevage ou stabulation aisés) et la facilité de manipulation des organismes ;
- une durée expérimentale raisonnable pour l'acquisition d'effets sub-létaux (reproduction, croissance, comportement) ;
- une observation macroscopique des effets aisée, et fiable ;
- une tolérance des organismes à une large gamme de textures de matrices sédimentaires ;
- des voies d'expositions aux sédiments différentes pour chaque organisme (phase dissoute, phase particulaire).

Chaque organisme présente des sensibilités différentes aux contaminants, expliquées par leurs traits biologiques (mode de nutrition, taille, mode de reproduction...) et leur représentativité écologique variée.

### 3. Interprétation et indications contextuelles

Pour interpréter les résultats des macrobiotests, il faut comparer les résultats de chaque test aux seuils de signification biologique ci-dessous (Tableau 12 page suivante). Ces seuils reflètent la plus petite différence détectable (entre le sédiment testé et le contrôle) et l'inhibition maximale tolérable (pour le contrôle). Ils intègrent la variabilité naturelle de la réponse liée aux organismes et permettent de minimiser des biais soulevés par la variabilité des sédiments. En effet, les caractéristiques biogéochimiques, la granulométrie ou la quantité et la qualité de la matière organique d'un sédiment peuvent modifier l'expression de certains traits et un niveau de discrimination moindre concernant l'estimation de toxicité des sédiments.

Tableau 11. Espèces et paramètres retenus pour la batterie de macrobiotests en étape 2

Bioessai Etape 2	Test Chironome		Test Gammare		Test Oligochète	
Espèce	 © Nicolas Manier - Ineris <i>Chironomus riparius</i>		 © Irstea <i>Gammarus fossarum</i>		 © Creative Commons <i>Lumbriculus variegatus</i>	
Description	Larve d'insecte diptère, détritivore Rôle important en tant que proie Habitat : eau interstitielle et sédiment Une partie de son cycle de vie est inféodée aux sédiments (un substrat sédimentaire est impératif pour permettre l'enfouissement, la nutrition et son développement larvaire)		Crustacé-amphipode, détritivore (rôle déterminant dans la dégradation des litières) Contribue à l'alimentation des poissons Habitat : interface eau-sédiment Bons indicateurs de la qualité des milieux aquatiques en raison de leur grande sensibilité à une large gamme de contaminants.		Rôle important en tant que proie Habitat : surface des sédiments d'eaux douces et souvent à proximité de la surface de l'eau Il a un cycle de vie complet en contact total avec les sédiments Il est exposé à toutes les voies de contamination potentielle, y compris via l'ingestion de particules contaminées	
Protocole/Normes Références	AFNOR NF T90-339-1 (Mars 2010)		Protocole standard en annexe (rédaction en cours) Substitution possible avec <i>Hyalella azteca</i> NF ISO 16303 si impossibilité de réaliser le test Gammare		Protocole dérivé de l'essai de toxicité OCDE n°225 (ANNEXE D) (remplacer la préparation d'un sédiment artificiel et son dopage par le sédiment à tester)	
Traits de vie suivis	Croissance	Émergence	Reproduction	Alimentation adultes	Reproduction	Croissance
Durée (semaine)	1	4	3	1	4	4
Critères d'effet observés	Taux de survie Taux de croissance	Taux de survie Taux d'émergence Vitesse de développement	Stade de mue des femelles Par femelle : nombre et surfaces des ovocytes et nombre d'embryons	Taux de survie Taux de consommation de feuilles	Nombre total de vers	Quantité de biomasse sèche

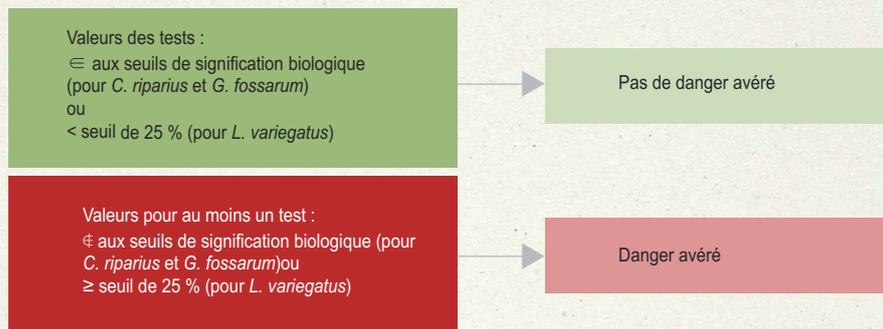
À noter : les tests doivent être réalisés sur des échantillons de sédiments frais et non congelés.

Tableau 12. Seuils de signification biologique pour l'interprétation des bioessais en étape 2 (d'après livrable 3 de Diesse et Feiler, 2013)

Espèce	Trait de vie	Paramètre mesuré (unités)	Limite inférieure	Limite supérieure
<i>G. fossarum</i>	Reproduction	Survie adultes à 21j (%)	81	
		Nombre d'embryons par femelle à 21j	2,3	4,7
		Nombre d'ovocytes par femelle à 21j	3,3	4,9
		Surfaces ovocytaires (µm <sup>2</sup> )	90 698	115 104
	Alimentation	Survie adultes à 7j (%)	95,7	
		Taux d'alimentation à 7j (mm <sup>2</sup> /jour/individu)	25	41,3
<i>C. riparius</i>	Croissance	Survie à 7j (%)	61,5	
		Taux de croissance à 7j (mm/jour)	0,9	1,4
	Émergence	Survie à 28j (%)	67,5	
		Taux d'émergence à 28j (%)	67,6	
		Vitesse de développement des mâles (1/jour)	0,060	0,073
Espèce	Trait de vie	Paramètre mesuré (unités)	Seuil (%)	Sources
<i>L. Variegatus</i>	Reproduction	Nombre total d'organismes après 28j	25	Feiler, 2013

La démarche classique mise en œuvre pour l'étude de l'écotoxicité des sédiments requiert l'utilisation d'un sédiment de référence naturel ou éventuellement reconstitué qui ne présente pas forcément exactement les mêmes caractéristiques géochimiques que les sédiments testés. Pour contourner cette difficulté, **une gamme de variabilité des réponses** a été établie pour chacun des traits de vie pour des sédiments de référence, avec des limites au-delà desquelles la réponse biologique sera indicatrice d'un stress toxique. Cette qualification repose sur l'hypothèse que les effets « anormaux », observés au-delà des limites acceptables préalablement définies, seront induits par la présence de contaminants.

Cette batterie de macrobiotests est construite pour éviter toute redondance fonctionnelle, ce qui milite pour un déclassement dès qu'un test a une réponse significative.



### 3.1. Informations sur les résultats de *C. riparius*

La quantité et la qualité de la matière organique disponible, ainsi que la granulométrie peuvent avoir un impact sur les taux de croissance des chironomes, mais ces caractéristiques influencent faiblement la réponse des chironomes, probablement en raison d'un apport régulier de nourriture ad libitum nécessaire pour le bon développement de cette espèce.

Concernant la vitesse de développement, les mâles se développent plus vite que les femelles. La vitesse de développement est fortement liée à la croissance de l'organisme, celle-ci représentant en temps la majeure partie de son cycle de vie.

Les taux de survie après 7 jours sont très variables pour un même sédiment ainsi que pour un même sédiment testé à différents temps. Il en va de même pour la survie et le taux d'émergence à 28 jours. Ces résultats reflètent la **variabilité individuelle de la survie chez cet organisme**, quelles que soient les caractéristiques géochimiques du sédiment. Cette forte variabilité individuelle conduit à des **limites de seuils inférieures de 61 à 67 %** notamment pour la survie à 7 jours (Tableau 12).

### **3.2. Informations sur les résultats de *G. fossarum***

Le nombre d'embryons par portée est proportionnel à la taille des femelles.

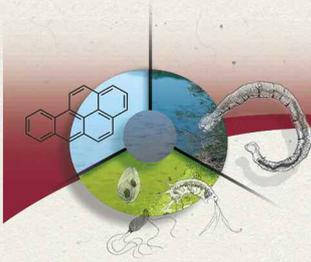
Même s'il peut exister une influence des facteurs intrinsèques des sédiments sur les différents traits, cette **variabilité est faible**.

Des contraintes techniques inhérentes au test Gammare sont à souligner, comme la disponibilité des organismes au stade de reproduction voulu et la mise en œuvre de la mesure des surfaces ovocytaires qui nécessitent un matériel et une formation adaptés.

### **3.3. Informations sur les résultats de *L. Variegatus***

Les oligochètes sont **endobenthiques** (enfouis dans le sédiment), et à ce titre exposés par contact direct avec les particules et par ingestion. Ils se reproduisent de manière sexuée ou asexuée. Un effet toxique sur la reproduction se traduira donc par une moindre augmentation (voire par une diminution) du nombre de vers. En condition de référence, on s'attend à retrouver au moins 1,8 fois le nombre de vers introduits initialement en 28 jours.

Un écart d'**au moins 25 %** entre le nombre de vers dans le contrôle (témoin) et le sédiment testé est nécessaire pour que l'effet toxique soit avéré.



## opérationnelle 5

### Effets sur la communauté de macroinvertébrés benthiques *in situ*

#### 1. Objectifs

La présence de sédiments contaminés modifie profondément le profil bioécologique des communautés de macroinvertébrés. Ceci conduit généralement à une réduction de la diversité fonctionnelle et potentiellement à une perte de résilience des communautés, notamment chez les déchetueurs. Au-delà des macroinvertébrés, la contamination des sédiments diminue également l'activité métabolique du compartiment microbien et fongique, ce qui à terme peut induire des effets sur les processus écosystémiques (ex : décomposition des litières). L'objectif de cette opération est donc d'évaluer le danger des sédiments présents sur la macrofaune benthique *in situ*, à l'échelle de la communauté.

#### 2. Méthode

La détermination de l'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS), permet d'évaluer la qualité biologique des sédiments fins ou sableux permanents et stables et indique des tendances fortes sur l'incidence écologique de micropolluants organiques et métalliques. Cet indice est applicable aux cours d'eaux naturels ou artificialisés et pour des eaux douces ou saumâtres présentant une concentration en chlorures inférieure à 5 g/L. L'indice IOBS est normalisé : NF T90-393 Mai 2016 - Qualité de l'eau - Échantillonnage, traitement et analyse des oligochètes dans les sédiments des eaux de surface continentales.

À terme, d'autres outils alternatifs pourront s'ajouter afin d'évaluer l'impact sur la macrofaune benthique : NemaSpear, PICT sédiment.

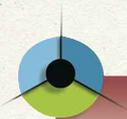
#### 3. Intégration des résultats

##### 3.1. Calcul de l'IOBS

$$IOBS = \frac{10 \times S}{T}$$

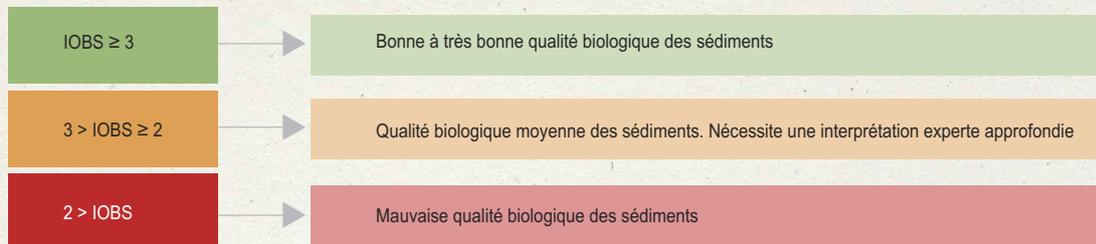
Équation 3. Formule de l'IOBS  
Avec

S est le nombre total de taxons d'oligochètes identifiés parmi 100 oligochètes  
T est le % du groupe dominant dans les sous-familles Tubificinae et Rhyacodrilinae, formes adultes et immatures confondues, avec soies capillaires ou sans, calculées à partir de l'effectif total des oligochètes récoltés dans l'échantillon de sédiment considéré.



## 4. Interprétation des résultats de l'IOBS

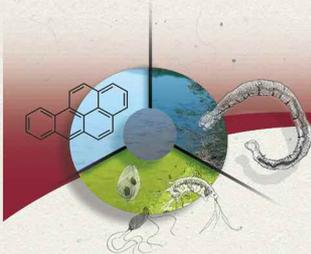
Afin de faciliter une prise de décision opérationnelle, trois classes d'interprétation ont été définies pour cet élément de preuve, d'après les 5 classes habituellement proposées dans la norme IOBS :



Dans le cas où l'IOBS se trouverait en classe intermédiaire, les experts en charge de l'analyse pourront l'approfondir afin de trancher sur la qualité et obtenir un diagnostic définitif d'évaluation.

L'indice IOBS peut présenter des difficultés dans certains cas :

- il peut surestimer l'impact de la pollution pour les sédiments fins de sources et les sédiments sableux de petits cours d'eau, où des valeurs faibles d'indice révèlent parfois une faible capacité d'assimilation des sédiments face à des rejets polluants réels mais encore modérés ;
- inversement, l'indice IOBS peut présenter des valeurs élevées dans des sédiments sableux très instables ou dans des sédiments recouverts d'un tapis dense et épais de macrophytes et/ou d'algues filamenteuses ; l'instabilité des sédiments ne permet pas en effet à la charge polluante d'être stockée et les macrophytes, ou les algues filamenteuses, peuvent constituer une couche protectrice par rapport à la toxicité sous-jacente des sédiments ;
- de plus, dans les sédiments fins, vaseux, anoxiques (ex. : région Nord – Pas de Calais), l'indice IOBS peut se révéler peu discriminant, les oligochètes étant moins enclins à coloniser ce type d'habitat ;
- l'indice IOBS peut également présenter une variabilité dans les cours d'eau où le support dominant est de type pierres et galets.



## opérationnelle 6

### Analyses chimiques de substances bioamplifiables dans le biote

#### 1. Objectifs

Approfondissement du diagnostic de l'étape 1 en mesurant les contaminants dans le biote (autochtone ou encagé).



Dans la mesure où l'étape 1 ne mettrait pas en évidence de danger en termes de bioaccumulation, cet élément de preuve n'aurait pas à être évalué à l'étape 2. Dans le cas contraire, l'évaluation de cet élément de preuve concernera la ou les substances bioaccumulables identifiées comme problématiques à l'étape 1.

#### 2. Méthode

Il est recommandé de procéder au prélèvement et à l'analyse d'invertébrés autochtones, ces organismes étant des proies potentielles pour le poisson.

Les prélèvements se font à l'aide d'un troubleau, en surface des sédiments, en privilégiant les zones de dépôts fins. Les matériaux collectés à l'aide du troubleau sont triés sur colonne de tamis (maille de 500 µm pour le plus fin). Les organismes présents sur les tamis sont collectés dans des boîtes d'un litre remplies d'eau en les séparant par groupe taxonomique (genre ou famille). Les groupes à privilégier sont les organismes vivant au contact du sédiment (chironomes, oligochètes), des espèces impliquées dans la dégradation de la litière (par ex. gammares), ou des prédateurs (par ex. odonates). L'échantillonnage ciblera les groupes suffisamment abondants pour fournir au moins 1 g sec (soit 5 g frais).

Si l'utilisation d'organismes autochtones ne convient pas (absence de taxon cible, impossibilité à prélever, quantité insuffisante), il convient d'utiliser des techniques d'encagement. Une norme sur la bioaccumulation chez le gammare par encagement est publiée (Norme AFNOR XP T 90-72. Mars 2019. Qualité de l'eau - Encagement *in situ* de gammares pour la mesure de la bioaccumulation de substances chimiques). Cependant la conception des cages ne garantit pas un contact direct entre les gammares et le sédiment, à la différence des cages pour les chironomes par exemple.

#### 3. Interprétation des résultats

Il n'y a en général pas de valeurs seuils pour les composés accumulés dans les tissus d'invertébrés en milieu continental. L'interprétation des mesures dans les invertébrés se

basera sur une extrapolation au poisson, en appliquant des facteurs d'amplification trophique, selon les recommandations européennes (*EU Guidance document No 32*).

Le seuil à appliquer pour une substance donnée dans les tissus des poissons est la norme de qualité environnementale de cette substance pour le biote (Directive 2013/039 CE) ou équivalent : valeur critique de concentration tissulaire (CBR, pour *critical body residue*). Si une des substances analysées dépasse le seuil pour cette substance, on considèrera qu'il y a danger pour cet élément de preuve (bioamplification).

Toutes [substances] ≤ seuils	Au moins une [substance] > seuil
■ Pas de danger	■ Danger avéré

### 3.1. Valeurs seuils pour l'interprétation

Quelques valeurs seuils des substances considérées sont présentées dans le Tableau 13. Des CBR peuvent par ailleurs être retrouvées (avec l'aide d'un expert si besoin) dans la littérature scientifique.

Tableau 13. Substances bioaccumulables à analyser dans les invertébrés et valeurs seuils dans le poisson en µg/kg (poids frais)

Substance ou groupe	Seuil	Source
mercure	20	Directive 2013/039 CE
PCB <sup>3</sup>	125	Règlement 1259/2011/CE
PBDE <sup>4</sup>	44	Guidance doc. n°32 - Tableau 5.3 (QS secondary poisoning)
PFOS	9.1	Directive 2013/039 CE
HBCDD	167	Directive 2013/039 CE

3 - Somme des concentrations des congénères PCB 28, 52, 101, 138, 153 et 180

4 - Somme des concentrations des congénères BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154

### 3.2. Extrapolation au poisson

L'extrapolation des concentrations mesurées dans les invertébrés au poisson repose sur le facteur d'amplification trophique (TMF), qui indique l'augmentation moyenne des concentrations accumulées en fonction de la position trophique. On applique l'Équation 4.

$$C_{\text{poisson}} = C_{\text{invertébré}} \times TMF^{(4-y)}$$

Équation 4. D'après « *EU Guidance no 32* (EC, 2014) »

Avec

$C_{\text{poisson}}$  est la concentration estimée dans le poisson  
 $C_{\text{invertébré}}$  est la concentration mesurée chez un groupe d'invertébrés et ajustée au taux de lipides de l'échantillon

TMF est le facteur d'amplification trophique de la substance considérée  
 $y$  désigne le niveau trophique du groupe d'invertébré échantillonné.

Les TMF à utiliser figurent au Tableau 14. En cas de besoin, des TMF pour d'autres substances peuvent être retrouvés dans la littérature scientifique, et utilisés après analyse critique selon les recommandations d'un groupe de travail international (Kidd *et al.*, 2019).

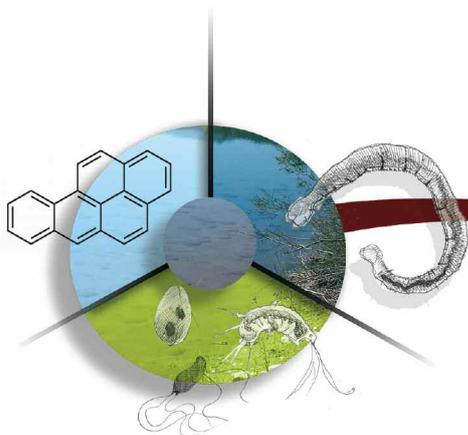
Tableau 14. TMF à utiliser pour les substances du Tableau 12 (d'après le livrable « Essai de transposition des NQEbiote en concentration seuil pour les sédiments »)

Substance ou groupe	TMF
mercure	4.3
PCB	4.3
PBDE	2.4
PFOS	3.0
HBCDD	2.9

En toute rigueur, les niveaux trophiques des invertébrés devraient être déterminés à chaque site, ce qui est une procédure complexe et délicate. À défaut, on peut se référer aux niveaux trophiques ci-après (Tableau 15), ou interroger un expert.

Tableau 15. Niveaux trophiques de quelques groupes d'invertébrés benthiques

Groupe taxonomique	Niveau trophique approximatif
Chironomes (sauf Tanypodinae)	1,5 – 2,0
Oligochètes	2,0 – 2,4
Gammarès	2,2 – 2,8
Odonates	2,1 – 3,0



# Annexe A

## Notice pour remplir le tableur\*

### 1. Calcul d'indice HQc

- Étudier si besoin la feuille exemple de calcul pour l'indice HQc, puis aller sur l'onglet « Calcul Indice HQc ».
- Si des substances contextuelles ont été trouvées en étape 0, ajouter les dans la colonne B « substance (i) » et remplir leurs valeurs seuils en colonne C (Tableau 5 page 22). Vérifier que le nombre « n » de substances mesurées pour chaque site est correct.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Formule indice HQc</b>								
2	$HQc = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{Seuil_i}}{n}$								
3									
4									
5	C <sub>i</sub> : Concentration dans le sédiment en mg/kg								
6	Seuil <sub>i</sub> : Seuil de concentration pour la substance i en mg/kg								
7	n : nombre de substances mesurées								
8									
9	<b>Interprétation</b>								
10	Si HQc < 0,1		Danger négligeable						
11	Si 0,5 > HQc ≥ 0,1		Danger potentiel						
12	Si HQc < 0,1 avec pour une substance au moins C <sub>i</sub> /Seuil <sub>i</sub> >1								
13	Si HQc ≥ 0,5		Danger avéré						
14									
15				SITE 1		SITE 2		SITE 3	
16		Substance (i)	Seuil, (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ci (mg/kg)	Ci/Seuil <sub>i</sub>	Ci (mg/kg)	Ci/Seuil <sub>i</sub>	Ci (mg/kg)	Ci/Seuil <sub>i</sub>
17	Prioritaires	Arsenic	30	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18		Cadmium	2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19		Chrome	150		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20		Cuivre	100		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21		Nickel	50		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22		Plomb	100		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23		Zinc	300		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24		HAP totaux	22,8		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Contextuelles (à compléter)								
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35				n	1	n	0	n	0
36				Indice HQc	0,0000	Indice HQc	0,0000	Indice HQc	0,0000
37				Nb de $\frac{C_i}{Seuil_i} > 1$	0	Nb de $\frac{C_i}{Seuil_i} > 1$	0	Nb de $\frac{C_i}{Seuil_i} > 1$	0
38				Interprétation	Danger négligeable	Interprétation	Danger négligeable	Interprétation	Danger négligeable

\* Le tableur est disponible sur la page dédiée au guide : <https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/589>

- Remplir les concentrations  $C_i$  mesurées dans le sédiment de chaque substance en  $\text{mg.kg}^{-1}$   
Répéter l'opération si vous avez plusieurs sites à analyser.
- Le calcul des «  $C_i/\text{Seuil}_i$  » et de l'indice HQc se fait automatiquement.
- Lire l'interprétation qui apparaît en ligne 38. Elle prend en compte également le nombre de quotient «  $C_i/\text{Seuil}_i$  » qui serait supérieur à 1.

## 2. 1. Calcul de l'indice H

Étudier si besoin la feuille « exemple » pour le calcul de l'indice H, puis aller sur l'onglet « CALCUL Indice H ».

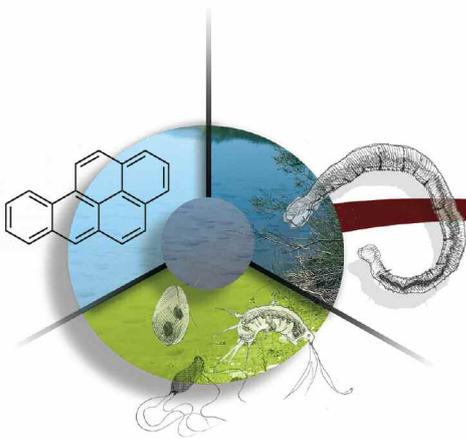
- Remplir les  $CI_{50}$  mesurées pour le test Microtox® en colonne B et les pourcentages maximum d'inhibition pour le test nématode en colonne D et pour le test ostracode en colonne F.

	A	B	C	D	E	F	G	K	L	
1		<b>Formule de l'indice H</b>								
2		$H = \frac{\sum \log_{10} ET}{n}$						<b>Interprétation</b>		
3								$H \leq 0,5$	Danger négligeable	
4		$ET$ (Equivalent toxique) = $1/CI \times 100 \%$						$0,5 < H < 1$	Danger potentiel	
5		avec :						$H \geq 1$	Danger avéré	
6		CI = concentration inhibitrice à 50 % dans le cas de Microtox								
7		ou CI = 100 % – % inhibition max obtenu au cours du test								
8		dans le cas des tests Nématode et Ostracode								
9		n = nombre de tests effectués								
10										
11		<b>Paramètres</b>						<b>Calcul de l'indice</b>		
12		$CI_{50}$ (%)	% max d'inhibition	$CI_{\text{Nématodes}}$	% max d'inhibition	$CI_{\text{Ostracodes}}$		$H = \frac{\sum \log_{10} ET}{n}$		
13	Site	Microtox	Nématode		Ostracode			<b>Indice H</b>	<b>Interpretation</b>	
15	2							0,00	Danger négligeable	
16	3							0,00	Danger négligeable	
17	4							0,00	Danger négligeable	
18	5							0,00	Danger négligeable	
19	6							0,00	Danger négligeable	
20	7							0,00	Danger négligeable	
21	8							0,00	Danger négligeable	
22	9							0,00	Danger négligeable	
23	10							0,00	Danger négligeable	
24	11							0,00	Danger négligeable	
25	12							0,00	Danger négligeable	
26	13							0,00	Danger négligeable	
27	14							0,00	Danger négligeable	
28	15							0,00	Danger négligeable	
29	16							0,00	Danger négligeable	
30	17							0,00	Danger négligeable	
31					n	1				
32										

- Vérifier que le nombre n (en case F31) correspond bien au nombre de tests réalisés. Le calcul des CI pour les tests nématodes et ostracodes (colonnes C et E), ainsi que celui de l'indice H se fait automatiquement.
- Lire l'interprétation de l'indice H qui apparaît en colonne L.

# Annexe B

## Protocole MLPA (Microtox® sur lixiviat de la phase solide)



Le test MLPA est issu du test Microtox® en phase liquide et du MSPA.

### Le test Microtox® en phase liquide

L'organisme d'essai, *Aliivibrio fischeri*, est une bactérie bioluminescente marine gram négative, ubiquiste des milieux marins. Le test Microtox® est un test aigu d'écotoxicité aquatique, monospécifique, statique, normalisé (Afnor NF EN ISO 11348, 2009) qui consiste à déterminer la concentration initiale qui en 5, 15, 30 min (voire 60 min) inhibe de 50 % (ou de 20 %) la production de lumière (CI<sub>50</sub> ou CI<sub>20</sub>) des bactéries par rapport à un témoin.

### Le test Microtox® en phase solide *sensu stricto* (MSPA pour Microtox® Solid Phase Assay)

C'est un des tests les plus utilisés dans le cadre de l'évaluation des phases solides. Il a été normalisé par Environnement Canada (2002) et présente en détail dans la synthèse de (Doe, K. *et al.*, 2005). Les effets observés prennent en compte :

- les effets des toxiques qui restent adsorbés sur les sédiments et donc révèlent une toxicité réelle due au contact avec la phase solide ;
- les effets des toxiques qui sont susceptibles de se dissoudre dans le diluant (NaCl 2 %) ;
- le biais lié au fait qu'une partie des bactéries luminescentes peut rester adsorbée soit au filtre, soit au sédiment lui-même (suite par exemple à des interactions électrostatiques), en particulier aux argiles et limons.

Le mode opératoire du test MSPA *sensu stricto* est présenté en Figure 1. Il est basé sur l'inhibition de la bioluminescence des bactéries *A. fischeri* exposées à un mélange de sédiment et de solution NaCl à 2 % dans un rapport variable selon les concentrations testées. Le temps de contact entre le mélange sédiment/NaCl et les bactéries est de 20 minutes. Après quoi, un filtre, fourni dans le kit, est placé dans chaque tube afin de récupérer 500 µL de filtrat qui sont déposés dans une microcuvette pour mesurer la bioluminescence.

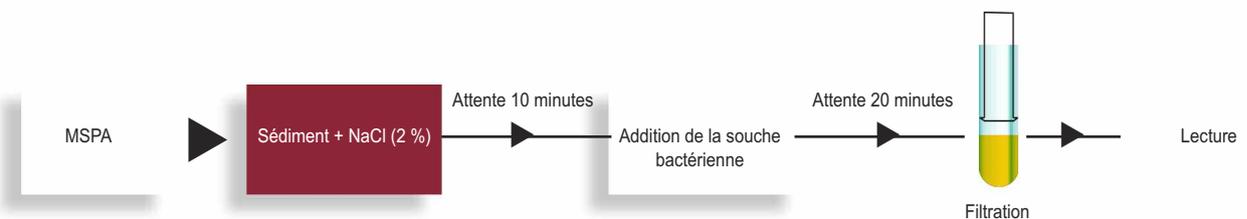


Figure 1. Mode opératoire du test Microtox en phase solide (MSPA) - Doe et al. (2005).

La sensibilité de ce test peut être affectée, surtout dans l'eau interstitielle des sédiments, par certains composants chimiques souvent présents dans les sédiments naturels tels que l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Ce composé peut également provenir de sources anthropiques comme des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle.

Il existe aussi des biais liés aux caractéristiques optiques du filtrat, en raison de sa couleur (absorption de la lumière) et/ou sa turbidité induite par les particules fines qui ne sont pas éliminées par le filtre du fait de leur petite taille (Campisi *et al.* 2005, Doe *et al.* 2005). Un autre facteur de confusion important est lié à la fixation des bactéries sur les sédiments à grains fins pendant l'exposition, conduisant à une perte importante de bactéries dans la phase liquide récupérée après filtration. Cette perte peut entraîner une surestimation de la  $\text{CI}_{50}$ . L'hypothèse est que les bactéries se fixeraient aux particules fines (argiles et limons) et ne se retrouveraient donc pas dans le filtrat.

#### *Méthode du test Microtox sur lixiviat de la phase solide (MLPA)*

Au vu des biais potentiellement présents dans le test Microtox en phase solide et de leurs répercussions au niveau des résultats, une nouvelle méthodologie, appelée le test Microtox sur lixiviat de la phase solide, a été développée. Cette variante du test MSPA a été développée pour évaluer les effets des toxiques potentiels de la fraction hydrosoluble des sédiments, qui sont susceptibles de se dissoudre dans le diluant (NaCl 2 %). Cette évaluation est possible simplement en inversant les étapes d'addition de la souche bactérienne et de filtration. Les bactéries sont donc ajoutées après l'étape de filtration. Elles seront donc principalement exposées aux contaminants dissous dans le milieu salin et également à des particules fines qui auraient pu traverser le filtre.

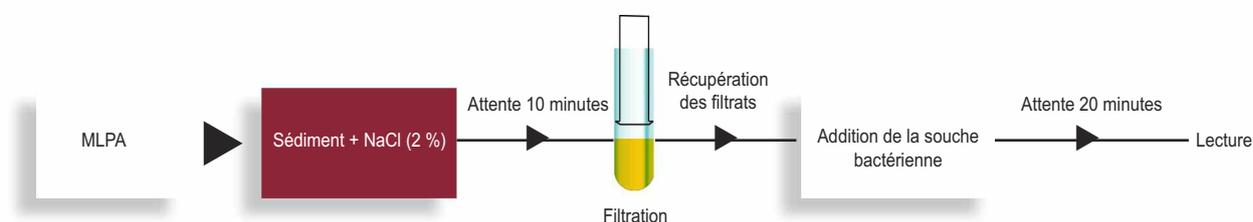
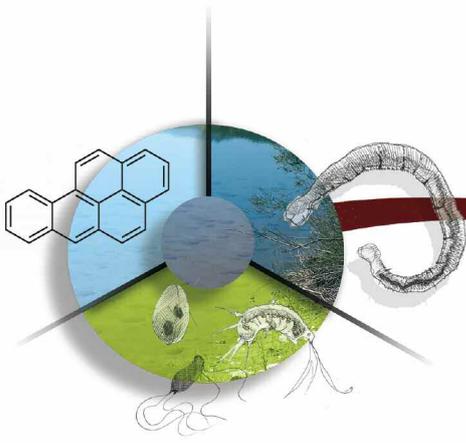


Figure 2. Mode opératoire du test Microtox sur lixiviat de la phase solide MLPA (Burga Pérez, *et al.* 2012).

Ce nouveau dosage permet de différencier l'action des contaminants qui traversent le filtre colonne, c'est-à-dire ceux qui sont dissous dans la phase aqueuse et ceux attachés aux fines qui sont récupérées dans le filtrat de ceux qui ne traversent pas le filtre. Les mêmes types d'approvisionnement en MSPA (tubes, filtres et réactifs) sont utilisés dans ce test. Le témoin est préparé avec du NaCl à 2 % filtré avec le filtre à colonne MSPA. Des bactéries sont exposées à chaque filtrat pendant 20 min après la filtration des dilutions de sédiments, puis 0,5 mL de filtrat contenant des bactéries exposées est pipeté et la luminescence est mesurée après 5 min avec un Microtox® Analyzer 500 (d'autres appareils peuvent s'y substituer).

# Annexe C

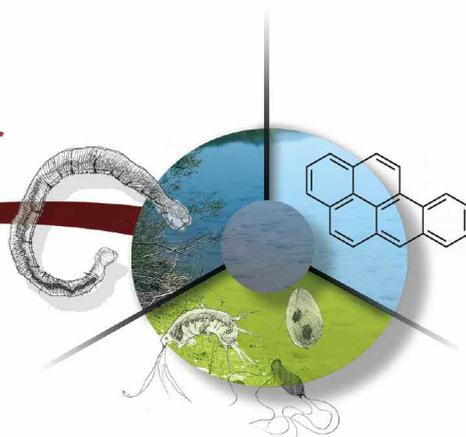
## Protocole standard du test Gammare



La société Biomae propose d'ores et déjà une offre de service pour la réalisation de bioessais permettant de mesurer *in situ* les effets d'une exposition à des contaminants chimiques sur l'alimentation et la reproduction et la mue du gammare (<http://biomae.com/>). Pour ces conditions d'encagement de gammare dans le milieu, les seuils de signification biologique servant à l'interprétation des résultats devront être adaptés.

# Annexe D

## Indications relatives au test de toxicité sur *Lumbricus variegatus*



Ce test est souvent employé pour évaluer la toxicité de substances chimiques associées au sédiment : dans ce cas, décrit en particulier dans la ligne directrice OCDE 225, un sédiment non contaminé est enrichi (dopé) avec la substance testée à différentes concentrations, afin d'établir une courbe dose-réponse et déterminer une CI50.

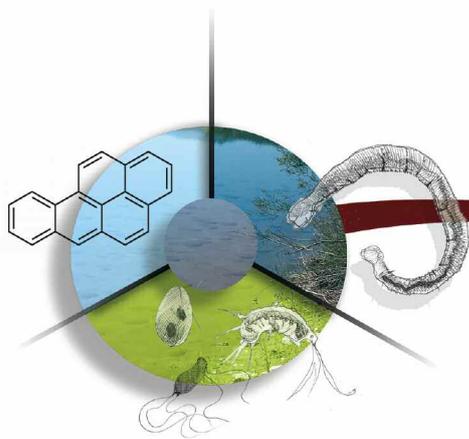
Dans un test de toxicité sur sédiment « naturel », une partie des éléments de cette ligne directrice restent applicables, tels que culture des organismes, conditions d'exposition, durée, comptage des survivants et mesure de la biomasse. Par contre les éléments de la ligne directrice décrivant le **dopage du sédiment, les contrôles de concentration après dopage ou au cours du test et la détermination de la CI50 ne sont pas applicables.**

Dans le cas d'un test sur sédiment naturel, on comparera la reproduction (représentée par le nombre de vers à la fin du test) et la croissance de la biomasse entre le ou les échantillons représentant le sédiment à tester et un sédiment contrôle. Celui-ci devra présenter des caractéristiques (granulométrie, taux de matière organique) voisines de celles du ou des sédiments testés, tout en étant exempt de contamination.

**Résumé des caractéristiques du test** (pour plus de détails, se reporter à la ligne directrice 225, avec les précautions rappelées ci-dessus) :

- test statique ou semi-statique ;
- rapport volumétrique entre sédiment et eau = 1:4 ; il est préférable d'utiliser de l'eau reconstituée ;
- température 20 °C ± 2 ; photopériode 16:8 ;
- légère aération ;
- 10 vers par réplicat (tenir compte du « taux de charge », c'est-à-dire du volume de sédiment disponible par rapport au nombre de vers, par ex. 100 mL). Idéalement, utiliser 6 réplicats ;
- le pH doit rester compris entre 6 et 9 durant l'essai ;
- durée 10 à 28 jours ;
- à l'arrêt du test, tamiser pour récupérer les organismes, compter le nombre de vers dans chaque réplicat, et peser leur masse sèche.

Le test est considéré comme valide si le nombre de vers dans le sédiment de contrôle à la fin du test est au moins égal à 1,8 fois le nombre de vers introduits au départ.



# Annexe E

## Qualité et gestion des données

L'objet de cette annexe est double :

- fournir quelques conseils pratiques pour une production de données de qualité, et une bonne gestion de ces données, ce qui contribue à la qualité globale de l'étude réalisée et réduit le risque de contestation et l'incertitude sur les conclusions ;
- et faciliter le partage des informations en vue du retour d'expériences (qui permettra, dans le futur, d'améliorer ce guide opérationnel).

### Échantillonnage

Métadonnées complètes en annexe des rapports (dates ; localisation précise des sites, sous forme de coordonnées géographiques ; modalités d'échantillonnage, quantités collectées...)

### Qualité de la production de données

Respecter les procédures standard ou les normes ; réalisation sous assurance de qualité, de préférence par des laboratoires certifiés COFRAC ou équivalent.

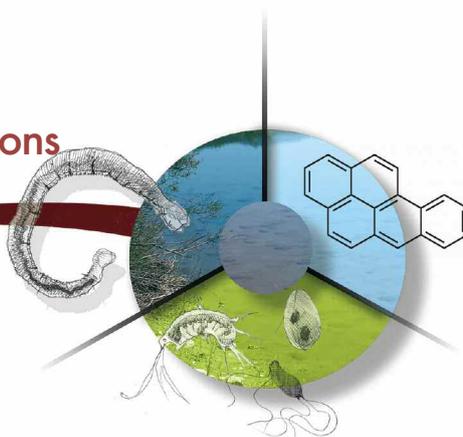
Utiliser des matrices certifiées pour l'analyse chimique ; le rapport au commanditaire comportera aussi l'indication du résultat de ces analyses.

Rapporter non seulement le résultat final demandé (par exemple la concentration par rapport à la masse fraîche dans l'analyse des tissus biologiques, mais également les variables ancillaires (dans l'exemple donné, teneur en eau, teneur en lipides ; teneur en matière organique des sédiments, etc.).

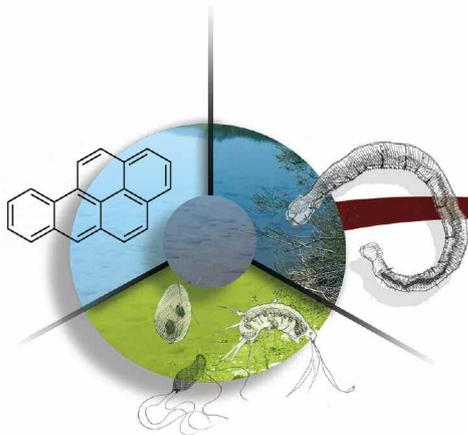
Respecter les unités indiquées dans le guide.

# Annexe F

## Durées et coûts approximatifs des opérations



	Opération	Durée approximative de l'opération	Coût approximatif de l'opération
<b>Fiche étape 0</b>	Récolte d'informations	2 à 5 jours selon la quantité d'informations à récupérer et la réactivité des opérateurs sollicités	Coût d'un agent sollicité sur une durée de 2 à 5 jours
<b>Fiches opérationnelles 1 et 3</b>	Mesure des concentrations en substances chimiques sur sédiment brut	Hors durée du prélèvement, les délais d'analyse en laboratoire sont d'environ 10 jours	Varie selon le nombre de substances à analyser et selon le prestataire entre 120 et 200 € HT
<b>Fiche opérationnelle 2</b>	Test nématode (NF ISO 10872)	De 1 à 6 jours selon le test	De 850 € à 1 000 € HT (pour 500g d'échantillon)
	Test ostracode (NF ISO 14371)		De 252 € à 525 € HT
	Test Microtox		De 90 à 240 € HT (tarif dégressif possible selon les laboratoires si plusieurs essais)
<b>Fiche opérationnelle 4</b>	Test Chironomes 7j (XP T90-339-1)	De 1 à 4 semaines selon le test	493 € HT
	Test Gammarès		1 700 € HT
	Test Oligochètes		En attente
<b>Fiche opérationnelle 5</b>	Indice IOBS NF T 90-393	8 à 10h (prélèvement + indice + rapport)	De 850 à 1 000 € HT, prélèvement compris
<b>Fiche opérationnelle 6</b>	Mesure des concentrations en substances chimiques dans des organismes	Environ 3 semaines (exemple avec le gammaré)	1 600 € HT



**Benthique** : qualifie un organisme vivant sur les fonds (macroinvertébrés, par exemple) ou à l'interface eau-sédiment d'un écosystème aquatique.

**DCE** : la directive cadre sur l'eau du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) est une directive européenne du Parlement européen et du Conseil adoptée le 23 octobre 2000. Elle vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable. Cette directive vise à prévenir et réduire la pollution de l'eau, promouvoir son utilisation durable, protéger l'environnement, améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et atténuer les effets des inondations et des sécheresses.

**Sédiment** : dépôt, continental ou marin, qui provient de l'altération ou de la désagrégation des roches et qui est transporté par les fleuves, les glaciers ou les vents. Les sédiments se différencient par leur nature minéralogique et par leur taille.

**Substance prioritaire** : substance toxique dont les émissions et les pertes dans l'environnement doivent être réduites, conformément à la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE. Comme prévu dans la directive, une première liste de substances ou familles de substances prioritaires a été définie par la décision n° 2455/2001/CE du parlement européen et du conseil du 20 novembre 2001. Ces substances ont été sélectionnées d'après le risque qu'elles présentent pour les écosystèmes aquatiques : toxicité, persistance, bioaccumulation, potentiel cancérigène, présence dans le milieu aquatique, production et usage. Cette liste passe de 33 à 45 substances conformément à la directive 2013/39/UE du 12 août 2013 que cet arrêté transpose en droit français.

**Éléments de preuve** : nombre défini de mesures permettant de définir le danger présenté, par exemple, par un sédiment contaminé (ex. : la toxicité du sédiment vis-à-vis des invertébrés benthiques est un élément de preuve de danger, au même titre que la bioamplification de contaminants dans les réseaux trophiques). Ces mesures sont ensuite utilisées dans un système de classement pondéré. La convergence de plusieurs éléments de preuve peut être considérée comme une forte présomption de risque pour l'écosystème.

**Station RCS** : réseau de contrôle de surveillance qui doit permettre d'évaluer l'état général des eaux à l'échelle de chaque district et son évolution à long terme. Ce réseau est pérenne et est constitué de sites d'évaluation, localisés sur des masses d'eau représentatives de la diversité des situations rencontrées sur chaque district.

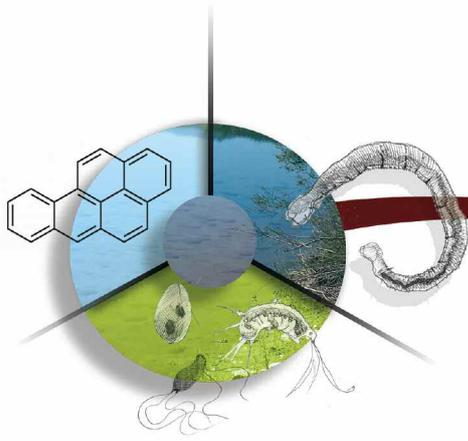
**Station RCO** : réseau de contrôle opérationnel dont l'objectif est d'établir l'état des masses d'eau superficielles identifiées comme risquant de ne pas atteindre leurs objectifs environnementaux et d'évaluer les changements de l'état de ces masses d'eau suite aux actions mises en place dans le cadre du programme de mesures. Le contrôle opérationnel consiste en la surveillance des seuls paramètres à l'origine du risque de non atteinte des objectifs environnementaux assignés aux masses d'eau. Cette surveillance est non pérenne et a vocation à s'interrompre dès que la masse d'eau recouvrera le bon état.

**NQE (norme de qualité environnementale)** : concentration d'un polluant dans le milieu naturel qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Elle intervient dans la détermination de l'état chimique.

**État chimique** : appréciation de la qualité d'une eau sur la base des concentrations en polluants incluant notamment les substances prioritaires. Le bon état chimique d'une eau de surface est atteint lorsque les concentrations en polluants ne dépassent pas les normes de qualité environnementale.

**Bioaccumulation** : processus selon lequel une substance polluante présente dans un biotope pénètre et s'accumule dans tout ou partie d'un être vivant et peut devenir nocive. Par extension, ce mot désigne aussi le résultat de ce processus.

**Bioamplification** : cas particulier de bioaccumulation, lorsque la concentration d'une substance dans un organisme augmente tout au long d'une chaîne alimentaire et excède celle de sa proie, à cause de la différence entre vitesse d'absorption et vitesse d'élimination (transformation ou excrétion). Les substances bioaccumulables ne sont pas toutes bioamplifiées.



# Bibliographie thématique

## 1. Introduction et démarche générale

Babut, M., Martel L., Ciffroy P., Férard J.F. 2011. Stratégies graduées d'évaluation des risques environnementaux induits par les sédiments fluviaux : revue bibliographique sur la caractérisation des risques et des incertitudes associées. 2011, pp. 7-17.

Grapentine L., Anderson J., et al. 2002. *A Decision Making Framework for Sediment Assessment Developed for the Great Lakes. Human and Ecological Risk Assessment* 8(7), 2002, pp. 1641-1655.

Kupryianchyk, D., et al. 2015. *Positioning activated carbon amendment technologies in a novel framework for sediment management: Role of Activated Carbon in Sediment Management. Integr Environ Assess Manag.* 2015, pp. 221–234.

MEO, Environnement-Canada. 2007. Cadre décisionnel pour Canada-Ontario concernant l'évaluation des sédiments contaminés des Grands Lacs. Toronto : Environnement Canada, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2007. 84.

Mouvet, C. 2013. Test du protocole d'écotoxicologie (critère H14) pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinés à une gestion à terre, BRGM: 58. BRGM. 2013. p. 51. Consultable à l'adresse (URL) : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61420-FR.pdf> (consulté le 02/02/2018).

US EPA. 1998. *Guidelines for Ecological Risk Assessment. Report No. EPA-630/R-95/002F*, U.S. Environmental. 1998.

### 1.1. Livrables du projet ANR-PRECODD DIESE

Babut, M. et al. 2016. Vers une démarche graduée d'évaluation écotoxicologique des sédiments fluviaux : présentation et premiers tests. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau.* 2016, pp. 82-98.

Irstea. Projet ANR-07-ECOT-0794C0111. DIESE – Outils de Diagnostic de l'Ecotoxicité des Sédiments. Programme PRECODD 2007. Livrable 7. Définition d'une stratégie graduée d'évaluation des risques écologiques pour les sédiments de retenues.

### 1.2. Réglementation

Cetmef, 2011. Dragages d'entretien des voies navigables. Aide à l'élaboration et au suivi d'un plan de gestion pluriannuel. Consultable à l'adresse (URL) : [http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/F\\_11-01\\_cle2359e2.pdf](http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/F_11-01_cle2359e2.pdf) (consulté le 24/01/2018)

EC. 2011. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive*

(2000/60/EC). *Guidance Document on Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards*. 2010. Guidance Document No: 27. Consultable à l'adresse (URL) : <https://circabc.europa.eu/sd/a/7f47ccd9-ce47-4f4a-b4f0-cc61db518b1c/Guidance%20No%2025%20-%20Chemical%20Monitoring%20of%20Sediment%20and%20Biota.pdf> (consulté le 24/01/2018)

**Ministère de l'Écologie et du Développement durable.** Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement. Consultable à l'adresse (URL) : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000423497> (consulté le 24/01/2018)

**Ministère de l'Écologie et du Développement durable.** Arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement. Consultable à l'adresse (URL) : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000423497> (consulté le 24/01/2018)

**Ministère de l'Écologie et du Développement durable.** Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Consultable à l'adresse (URL) : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/7/27/DEVL1513989A/jo/texte> (consulté le 24/01/2018)

**Ministère de l'Écologie et du Développement durable.** Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement. Consultable à l'adresse (URL) : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031107367&date-Texte=20150828> (consulté le 24/01/2018)

### 1.3. Référence pour l'échantillonnage

**Guides Aquaref** : <http://www.aquaref.fr/guide-recommandations-techniques-aquaref>

**Aquaref. Édition 2016.** Opérations d'échantillonnage de sédiments en milieu continental (cours d'eau et plan d'eau) dans le cadre des programmes de surveillance DCE - Recommandations techniques. Edition 2016.

Consultable à l'adresse (URL) : [http://www.aquaref.fr/system/files/2016\\_Guide\\_Echantillonnage\\_SED\\_VF\\_0.pdf](http://www.aquaref.fr/system/files/2016_Guide_Echantillonnage_SED_VF_0.pdf) (consulté le 02/02/2018)

**Cerema, 2016.** Échantillonnage des sédiments marins et fluviaux - Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire - Synthèse documentaire et recommandations (Septembre 2016) - Cerema – Direction Territoriale Centre Est

## 2. Seuils pour les analyses chimiques

Mac Donald, D. et al. 2000. *Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems*. 2000, Vol. 39, pp. 20-31.

Ineris. Portail sur les substances chimiques. Disponible sur : <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>

## 3. Bioessais 1

Afnor, NF ISO 10872. 2010. Qualité de l'eau - Détermination de l'effet toxique d'échantillons de sédiment et de sol sur la croissance, la fertilité et la reproduction de *Caenorhabditis elegans* (nématodes). 2010.

Afnor, NF ISO 14371. 2012. Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité des sédiments d'eau douce envers *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda). 2012.

Burga Pérez, K. et al. 2012. *New methodological improvements in the Microtox® solid phase assay*. 01 2012, Vol. 86, pp. 105-110.

Casado-Martinez MC., et al. 2016. *The sediment-contact test using the ostracod Heterocypris incongruens: Effect of fine sediments and determination of toxicity thresholds*. *Chemosphere*. 2016, pp. 220-224.

Doe, K. et al. 2005. *Solid-phase test for sediment toxicity using the luminescent bacterium Vibrio fischeri*. *Small-scale Freshwater Toxicity Investigations*. 2005, Vol. 1, pp. 107-136.

Höss, S. et al. 2010. *Variability of sediment-contact tests in freshwater sediments with low-level anthropogenic contamination – Determination of toxicity thresholds*. *Environmental Pollution*. 2010, Vol. 158, 9, pp. 2999-3010.

Manier N. et al. 2015. Contribution pour l'élaboration d'une méthodologie de caractérisation de l'écotoxicité des sédiments dulçaquicoles contaminés : intérêt de nouveaux outils écotoxicologiques. Ineris. 2015. Rapport d'études.

## 4. Bioessais 2

Afnor, NF T90-339-1. Mars 2010. Qualité de l'eau. Détermination de la toxicité des sédiments d'eau douce vis-à-vis de *Chironomus riparius*. Partie 1 : Sédiments naturels. Mars 2010.

Afnor, NF ISO 16303. Janvier 2014. Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité des sédiments d'eau douce vis-à-vis de *Hyalella azteca*. Janvier 2014.

Colas, F. 2012. Outils de diagnose structurelle et fonctionnelle pour la bioévaluation de la qualité des sédiments associés à la présence de barrages. Approche intégrée de la population au processus écosystémique. [Thèse]. Université de Lorraine : s.n., 2012. Disponible sur : [http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC\\_T\\_2012\\_0386\\_COLAS.pdf](http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2012_0386_COLAS.pdf)

Coulaud et al. 2011. *In situ feeding assay with Gammarus fossarum (Crustacea): modelling the influence of confounding factors to improve water quality biomonitoring*. *Water Research*. 2011, 45, pp. 6417-6429.

Feiler, U. et al. 2013. *Sediment contact tests as a tool for the assessment of sediment quality in German waters. Environmental Toxicology and Chemistry.* 2013, Vol. 32, pp. 144-155.

Geffard, O. et al. 2010. *Ovarian cycle and embryonic development in Gammarus fossarum: application for reproductive toxicity assessment. Environmental Toxicology and Chemistry.* 2010, Vol. 29, pp. 2249-2259.

OCDE. 2007. Essai n°225 : « Essai de toxicité sur *Lumbriculus* dans un système eau-sédiment chargé ». Paris : Éditions OCDE, 2007.

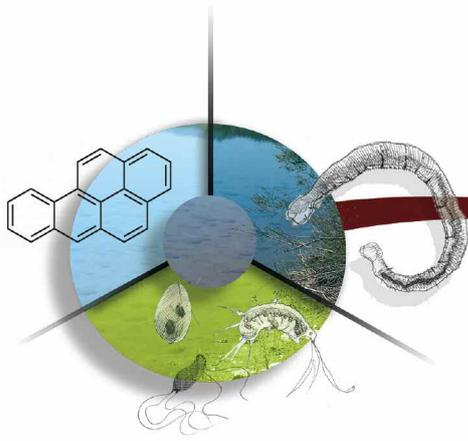
US EPA. 2000. *Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment associated contaminants with freshwater invertebrates. 2nd edition. Testing manual.* [éd.] U.S. Environment Protection Agency. 2000. p. 133. EPA-600/R-99/064.

## 5. Bioaccumulation

EC, 2014. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document No. 32 on Biota Monitoring (The Implementation of EQS-Biota) under the Water Framework Directive. European Commission.* 2014.

Disponible sur : <https://circabc.europa.eu/sd/a/62343f10-5759-4e7c-ae2b-12677aa57605/Guidance%20No%2032%20-%20Biota%20Monitoring.pdf> (consulté le 24/01/2018)

Kidd K., et al. 2019. *Practical advice for selecting or determining trophic magnification factors (TMFs) for application under the European Union Water Framework Directive. Integrated Environmental Assessment and Management* 15(2): 266-277.



# Listes des figures et tableaux

## Liste des figures

- 8 Figure 1. Différentes options de gestion des sédiments accumulés dans les ouvrages et voies navigables.
- 11 Figure 2. Logigramme de la démarche graduée pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments « en place ».
- 14 Figure 3. Déclinaison de l'étape 0 : revue des informations disponibles.
- 19 Figure 4. Logigramme de l'étape 1, avec liens vers les fiches opérationnelles et critères d'interprétation.
- 32 Figure 5. Logigramme de l'étape 2, avec liens vers les fiches opérationnelles et critères d'interprétation.
- 44 Figure 1. Annexe B. Mode opératoire du test Microtox en phase solide (MSPA) - Doe *et al.* (2005).
- 45 Figure 2. Annexe B. Mode opératoire du test Microtox sur lixiviat de la phase solide MLPA (Burga Pérez, *et al.* 2012).

## Liste des tableaux

- 5 **Tableau 1.** Résumé de la démarche d'évaluation graduée de la dangerosité des sédiments remplaçant les différents éléments de preuve utilisés dans le cadre de cette approche
- 16 **Tableau 2.** Informations à rechercher pour élaborer le plan d'échantillonnage et d'analyse (liste indicative)
- 20 **Tableau 3.** Résultats possibles des 3 opérations de l'étape 1 (avec légendes) et conclusion opérationnelle correspondante
- 21 **Tableau 4.** Substances prioritaires à analyser dans le sédiment au titre des directives issues de la DCE (Directive 2013/39/UE)
- 22 **Tableau 5.** Liste des substances prioritaires à analyser et leurs valeurs seuils pour l'interprétation des effets toxiques directs par analyse chimique
- 23 **Tableau 6.** Exemples de substances contextuelles à analyser et leurs valeurs seuils pour l'interprétation des effets toxiques directs par analyse chimique (seuils N2 de l'arrêté du 09/08/2006 et PEC par MacDonald, 2000)
- 26 **Tableau 7.** Caractéristiques des bioessais de l'étape 1
- 27 **Tableau 8.** Valeurs limites de toxicité pour les critères de mortalité, d'inhibition de la croissance et la reproduction (d'après Manier *et al.*, 2015b, Höss *et al.*, 2010 et Casado-Martinez, 2016)
- 30 **Tableau 9.** Substances bioaccumulables à analyser et leurs valeurs seuils dans le sédiment
- 32 **Tableau 10.** Résultats des 3 opérations de l'étape 2 (avec légendes) et conclusion opérationnelle correspondante
- 34 **Tableau 11.** Espèces et paramètres retenus pour la batterie de macrobiotests en étape 2
- 34 **Tableau 12.** Seuils de signification biologique pour l'interprétation des bioessais en étape 2 (d'après livrable 3 de Diese et Feiler, 2013)
- 40 **Tableau 13.** Substances bioaccumulables à analyser dans les invertébrés et valeurs seuils dans le poisson en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (poids frais)
- 41 **Tableau 14.** TMF à utiliser pour les substances du Tableau 12 (d'après le livrable « Essai de transposition des NQEbiote en concentration seuil pour les sédiments »)
- 41 **Tableau 15.** Niveaux trophiques de quelques groupes d'invertébrés benthiques



#### Citation

Babut M., Stamm É., Garnier R., 2019. Guide opérationnel pour l'évaluation du danger des sédiments contaminés. Une démarche graduée pour estimer le danger. Collection *Guides et protocoles*. Agence française pour la biodiversité. 56 pages.

#### Édition

Véronique Barre et Béatrice Gentil-Salasc,  
Agence française pour la biodiversité (AFB)

#### Création et mises en forme graphiques

Béatrice Saurel

ISBN web-pdf : 978-2-37785-043-3

ISBN print : 978-2-37785-044-0

#### Impression

Estimprim

© AFB, septembre 2019



Les sédiments sont une composante essentielle des milieux aquatiques ; ils constituent un habitat propice à une grande diversité d'espèces et jouent un rôle clé dans de nombreuses fonctions écologiques telles que le recyclage de la matière organique et la production de biomasse alimentant les réseaux trophiques aquatiques. Les sédiments jouent le rôle de puits pour certains contaminants qui s'y accumulent avec le temps (métaux, PCB, HAP, retardateurs de flamme bromés, pesticides organochlorés), mais peuvent également devenir source de pollution lors d'épisodes de remise en suspension entraînant la remobilisation des substances chimiques.

Dans certains cas, l'accumulation en excès de sédiments peut représenter une perturbation des usages de l'eau et des milieux aquatiques. Les ouvrages (écluses, ports, barrages, etc.) mis en place dans les cours d'eau modifient la dynamique des sédiments, et leur fonctionnement est perturbé en retour par des dépôts de particules fines éventuellement contaminées. Des options de gestion des sédiments accumulés dans ces ouvrages ou dans les voies navigables doivent alors être envisagées (par ex. extraction de sédiments avec ou sans restitution au cours d'eau des matériaux déplacés).

Mais avant d'intervenir, il s'agit de déterminer si les sédiments accumulés présentent un danger potentiel pour l'environnement et les organismes du milieu récepteur.

Ce guide opérationnel présente une démarche graduée d'évaluation écotoxicologique permettant de caractériser le danger relatif aux sites d'accumulation des sédiments en eau douce, en amont d'opérations d'entretien. Dans le contexte des suivis DCE d'état des eaux, il peut également être utilisé dans une démarche de diagnostic environnemental, pour déterminer si la contamination du sédiment est à l'origine d'un déclassement en mauvais état d'un site.

Cet ouvrage cible uniquement la gestion des sédiments au sein de la voie d'eau. Il s'adresse aux maîtres d'ouvrage et opérateurs de la gestion des sédiments, aux bureaux d'études, aux syndicats d'aménagement et de gestion des milieux aquatiques, aux services de police de l'eau, ainsi qu'aux agences de l'eau.



**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ**  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

