GUIDE METHODOLOGIQUE CARACTERISATION DES SEDIMENTS

PROJET DE CURAGE
SURVEILLANCE DES SEDIMENTS

Version 1 - Novembre 2001

La réalisation du guide a été confiée aux bureaux d'études :

Tauw Environnement
Hans VAN DE POEL
Stéphanie LOPEZ

14 D, rue Pierre de Coubertin
Parc Tertiaire de Mirande
21 000 DIJON

Téléphone : 03 80 68 01 33
Télécopie : 03 80 68 01 44
E-mail :
tauw_environnement@compuserve.com

Ophrys
Thierry IMBERT
Annabelle DERAM
Audrey LACROIX
Caroline DELANNOY

299, rue Saint Sulpice
59500 DOUAI

Téléphone : 03 27 93 45 64
Télécopie : 03 27 93 00 90
E-mail : ophrys@wanadoo.fr

Membres du groupe

Tauw bv
Handelskade 11
7417 DE Deventer
Pays Bas

Maître d'ouvrage :

Financeurs :

Crédit photo :

OPHRYS

Valérie MOERMAN

TAUW ENVIRONNEMENT

CEMAGREF

Bernard MOTTE

Le guide a été réalisé dans le cadre du Comité Technique National sur la Gestion des Sédiments (CTNGS), mis en place par la direction de l'eau du Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement.

La réalisation a été confiée au groupement de bureau d'études Tauw Environnement / Ophrys et soumise à la validation du Comité de pilotage suivant :

Madame M. BAIL – *L.M.C.U.* – LILLE

David BECART – *VOIES NAVIGABLES DE FRANCE* – BETHUNE

Daniel BOGUSZ – *AGENCE DE L'EAU ARTOIS PICARDIE* – DOUAI

Christophe CHARRIER – *C.E.T.M.E.F.* – COMPIEGNE

Blandine CLOZEL – *B.R.G.M.* – ORLEANS

Marina CONNAN – *PORT AUTONOME DE PARIS* – PARIS

Loïc COTTIN – *BUREAU D'ETUDE TECHNIQUE ET DE CONTROLE DES GRANDS BARRAGES* – GRENOBLE

Monsieur M. CRIBIER - *SERVICE NAVIGATION DE LA SEINE* – BOUGIVAL

Laurent DARLEY - *SERVICE NAVIGATION DE STRASBOURG* – STRASBOURG

Yves DESPEYROUX – *CONSEIL REGIONAL NORD-PAS DE CALAIS* – LILLE

Geneviève GOLASZEWSKI – *M.A.T.E.* – PARIS

Gisèle MERLE – *E.D.F.* – SAINT DENIS

Arielle MEURANT - BAHAUT – *EXPERT SANTE ENVIRONNEMENT* – ROUEN

Thomas NICOLAY – *FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT* – ST JEAN DE BRAY

Pierre PEBAY - *ASSOCIATION DES INGENIEURS DES VILLES DE FRANCE / L.M.C.U.* – LILLE

Isabelle PERRIOT-LOPEZ – *EMCC/TRAMAF* – RUNGIS

Jean-Philippe ROUDIER – *EXTRACT/TRAMAF* – MITRY MORY

Myriam SCIOT – *SERVICE NAVIGATION DE LA SEINE* – PARIS

Pierre SIX - *CHAMBRE D'AGRICULTURE* – LILLE

Christophe THOMAS – *D.I.R.E. Nord - Pas - de - Calais.* – LAMBERSART

William THOMAS - *SERVICE NAVIGATION DE LA SEINE* – BOUGIVAL

Hubert VERHAEGHE - *AGENCE DE L'EAU ARTOIS PICARDIE* – DOUAI

Marc ZYLBERBLAT – *COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE* – LYON

SOMMAIRE GENERAL

PARTIE 1 METHODE

CHAPITRE 1 – PRESENTATION DU MEMOIRE 10

1 INTRODUCTION 12

2 OBJECTIFS DE L'ETUDE 13

3 CHAMPS D'APPLICATION 14

3.1 MILIEUX CONCERNES 14

3.2 LES LIMITES DU CHAMPS D'APPLICATION 15

4 METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE TRAVAIL 16

4.1 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS 18

4.2 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE D'UN PROJET DE CURAGE 20

5 ARTICULATION DU MEMOIRE 21

CHAPITRE 2 - PROPOSITION METHODOLOGIQUE POUR LA SURVEILLANCE DES SÉDIMENTS 22

1 INTRODUCTION 25

2 GESTION DES SEDIMENTS : SITUATION ACTUELLE 27

3 GESTION DES SEDIMENTS : PROPOSITIONS 29

3.1 OBSERVATION DE LA QUALITE DES COURS D'EAU : UN MODELE ? 29

3.2 PRESENTATION SUCCINCTE DU SEQ EAU 30

4 APPLICATION DE LA METHODE AUX SEDIMENTS 32

4.1 CHAMPS D'APPLICATION 32

4.2 LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE 33

4.3 DEFINITION DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ECONOMIQUE DES STATIONS DE MESURE 33

5 RESULTATS 35

5.1 CARACTERISATION DU SEDIMENT : CS K 35

5.2 QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU SEDIMENT 40

5.3 QUALITE BIOLOGIQUE DU SEDIMENT 46

6 INTERPRETATION DES DONNEES 50

7 CONCLUSIONS 53

7.1 GENERALITES 53

7.2 INTERACTIONS ENTRE LE S.E.Q. EAU ET LE CS 53

7.3 INTERACTIONS ENTRE SURVEILLANCE DES SEDIMENTS ET PROJET DE CURAGE (DI, DA) 54

CHAPITRE 3 - DIAGNOSTIC INITIAL **55**

1 INTRODUCTION **58**

1.1 GENERALITES 58
1.2 OBJECTIFS DU DIAGNOSTIC INITIAL 60
1.3 LIMITES D'APPLICATION 60

2 PHASE A : ETUDE DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE **60**

2.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 60
2.2 ANALYSE HISTORIQUE DU SITE 61
2.3 VISITE DU SITE 62
2.4 RAPPORT INTERMEDIAIRE D'ETAPE A 63

3 PHASE B : INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES **64**

3.1 PROTOCOLE 64
3.2 OBJECTIFS 65
3.3 COMMENT PRELEVER ? 65
3.4 COMMENT ECHANTILLONNER ? 69
3.5 QUELLES ANALYSES PRATIQUER ? 71
3.6 PRESENTATION DES RESULTATS 75

4 RAPPORT FINAL **76**

CHAPITRE 4 – DIAGNOSTIC APPROFONDI **77**

1 INTRODUCTION **80**

1.1 PRESENTATION 80
1.2 OBJECTIFS 81
1.3 STRUCTURE 82
1.4 LIMITES DU PROTOCOLE 83

2 CARACTERISATION DES EFFETS BIOLOGIQUES **84**

2.1 L'APPROCHE INTEGREE 84
2.2 LES TECHNIQUES DE CARACERISATION BIOLOGIQUES 85
2.3 L'APPROCHE TRIADE EN EUROPE 86
2.4 EXPERIENCE FRANÇAISE 88

3 PROTOCOLE GENERAL DU DIAGNOSTIC APPROFONDI **89**

3.1 DISPONIBILITE ET QUALITE DES DONNEES 89
3.2 DONNEES DOCUMENTAIRES RECHERCHEES 89
3.3 INVESTIGATIONS DE TERRAIN 91
3.4 CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE 95
3.5 CARACTERISATION BIOLOGIQUE 100

4 RAPPORT DE SYNTHESE **101**

PARTIE 2 ANNEXES TECHNIQUES

INTRODUCTION **103**

AT0 – OUTILS PREALABLES A LA CARACTERISATION **108**

AT1 – CARACTERISATION DES SEDIMENTS EN FONCTION DES MILIEUX **138**

AT2 – PRELEVEMENT **159**

AT3 – ECHANTILLONNAGE **215**

AT4 – CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE **227**

AT5 – CARACTERISATION BIOLOGIQUE **290**

PARTIE 3 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MODES DE RECUEIL DES DONNEES **391**

BIBLIOGRAPHIE **392**

LISTE DES ABREVIATIONS **397**

GLOSSAIRE **400**

LISTE GLOBALE DES TABLEAUX

PROPOSITION POUR LA SURVEILLANCE DES SÉDIMENTS

Tableau 1 : Liste des paramètres principaux dans le volet CS K **37**

Tableau 2 : Analyses de routine **41**

Tableau 3 : Analyses spécifiques **42**

Tableau 4 : Estimation du nombre d'échantillons à prélever en fonction du volume de sédiments présents **45**

DIAGNOSTIC INITIAL

Tableau 1 : Liste des informations relatives au contexte environnemental **61**

Tableau 2 : Modèle de rapport type Etape A du diagnostic initial **63**

Tableau 3 : Définition des différents types de stratégies de prélèvement **66**

Tableau 4 : Sélection de méthodes permettant la localisation des points de prélèvement **68**

Tableau 5 : Catégories d'engins de prélèvement **69**

Tableau 6 : Présentation des stratégies d'échantillonnage **70**

Tableau 7 : Analyses de routine préconisées dans le cadre du Diagnostic Initial **73**

DIAGNOSTIC APPROFONDI

Tableau 1: Inventaire des divers groupes de techniques de caractérisation des effets biologiques **84**

Tableau 2 : Liste des données principales nécessaires au Diagnostic Approfondi **90**

Tableau 3 : Liste des principaux paramètres de caractérisation physique **97**

Tableau 4 : Liste des paramètres physico-chimiques de définition des conditions limites de survie des organismes des essais biologiques **98**

Tableau 5 : Liste des paramètres physico-chimiques influençant l'inventaire sur site **99**

Tableau 6 : Quantités indicatives de sédiment et d'eaux interstitielles nécessaires pour les analyses physico-chimiques **100**

LISTE GLOBALE DES FIGURES

PRESENTATION DU MEMOIRE

Figure 1 : Logigramme de l'approche proposée de Surveillance des sédiments des sédiments **17**
Figure 2 : Logigramme de l'approche proposée projet de curage des sédiments **19**

DIAGNOSTIC INITIAL

Figure 1 : Les différentes étapes du diagnostic initial **59**

DIAGNOSTIC APPROFONDI

Figure 1 : Schémas de comparaison des approches TRIADE belge et néerlandaise **87**

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été réalisé de sorte que chaque acteur concerné par un projet de curage ou par la Surveillance des sédiments, puisse retrouver rapidement les informations qui le concernent.

Pour cela :

- Le **Chapitre 1** de la première partie introduit la thématique du guide et oriente le lecteur quant à l'articulation des différents documents présentés,

- L'**Annexe Technique AT1** propose une démarche spécifique, par milieu, de caractérisation des sédiments dans le cadre d'un curage ou d'une Gestion du Patrimoine. Ces fiches par milieux orientent le lecteur vers les informations et la problématique qui le concernent.

Bonne lecture….

Chapitre 1

Présentation du mémoire

SOMMAIRE DU CHAPITRE 1

1 INTRODUCTION 12

2 OBJECTIFS DE L'ETUDE 13

3 CHAMPS D'APPLICATION 14

3.1 MILIEUX CONCERNES 14
3.2 LES LIMITES DU CHAMP D'APPLICATION 15

4 METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE TRAVAIL 16

4.1 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS 18
4.2 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE D'UN PROJET DE CURAGE 20

5 ARTICULATION DU MEMOIRE 21

FIGURES

Figure 1 : Proposition de démarche globale de surveillance des sédiments 17
Figure 2 : Proposition de démarche globale projet de curage des sédiments 19

1 INTRODUCTION

La sédimentation est un phénomène naturel, dont l'amplification quantitative est progressivement devenue problématique d'autant plus qu'une altération de la qualité des sédiments est souvent suspectée, voire observée.

Dans le cadre du Comité Technique National de Gestion des Sédiments (CTNGS), mis en place par la direction de l'eau du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), en tant que maître d'ouvrage a confié au groupement de bureaux d'études Tauw Environnement / Ophrys (Société du groupe Tauw) la réalisation d'une étude méthodologique relative à la **caractérisation des sédiments.**

La mission du groupement de bureaux d'études a été d'inventorier les protocoles et les outils existants relatifs à la caractérisation physique, chimique et biologique du sédiment, afin de pouvoir proposer un guide méthodologique qui soit un outil d'aide à la décision pour les acteurs de ce domaine.

Pour cela, le guide propose de manière objective l'ensemble des outils, méthodes et techniques applicables pour caractériser les sédiments, évalués sur la base des critères définis par le cahier des charges du maître d'ouvrage, en l'occurrence :

- La disponibilité de ces outils, méthodes et techniques sur le territoire national.

- L'existence d'un référentiel normatif français ou à défaut européen, voire international. En l'absence de référentiel normatif, le protocole particulier (s'il existe) pourra être proposé.

- L'optimisation en termes de facilité de mise en œuvre, de gain de temps et de maîtrise des coûts.

Par ailleurs, des critères de sélection ont été introduits par le groupement Tauw Environnement / Ophrys afin de faciliter les choix techniques et financiers.

Toutefois, un libre arbitre est laissé aux utilisateurs du guide méthodologique de sorte qu'ils puissent intégrer au choix de la stratégie les contraintes sociales, économiques, politiques et environnementales du site. C'est pourquoi ce guide, qui constitue un instrument de travail, n'est en aucun cas directif sur les stratégies à mettre en œuvre, tant l'éventail des situations rencontrées est large.

2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

La caractérisation des sédiments ne repose actuellement sur aucun protocole standardisé au niveau national. L'absence de recommandations, d'obligations ou d'interdictions dans ce domaine entraîne une incohérence nationale dans les approches et les pratiques des acteurs concernés.

Ce guide a pour principal objectif de rendre pratique et d'uniformiser les moyens de caractériser de manière physique, chimique et biologique une colonne complète de sédiments.

Caractériser une colonne complète de sédiments revient à caractériser un profil vertical de sédiments afin de déterminer la stratification verticale d'une éventuelle pollution sur l'ensemble des sédiments en place ou devant être curés. La caractérisation d'une colonne de sédiment permet par ailleurs d'évaluer la qualité des sédiments laissés en place après curage et susceptibles d'un éventuel relargage de substances polluantes dans le milieu aquatique.

Chaque type de situation pourra comporter :

- *une recherche de caractérisation physique :*

  Ce type de recherche permet de déterminer la structure, la texture, et la formation des couches géologiques des milieux considérés. Il permet également de définir les conditions physico-chimiques dont dépend le comportement des substances indésirables.

- *une recherche de caractérisation chimique :*

  Ce type de recherche permet de déterminer la nature et les quantités de substances chimiques qui se sont liées aux sédiments.

- *une recherche de caractérisation biologique :*

  Ce type de recherche permet de mettre en évidence l'impact des substances indésirables sur les écosystèmes.

Les résultats de l'étude pourront se substituer à l'annexe 6 et compléter les annexes 4 et 5 du Guide méthodologique « Faut-il curer ? – Pour une aide à la prise de décision », version 1, d'avril 1998.

3 CHAMPS D'APPLICATION

3.1 MILIEUX CONCERNES

La présente étude couvre l'essentiel des milieux aquatiques continentaux, considérés indépendamment des aspects administratifs et juridiques qui les caractérisent.

Quatre grands groupes de **milieux** (les canaux, les cours d'eau, les fossés et les plans d'eau), dont la typologie a été empruntée au guide «Faut-il curer ? » ont été considérés dans le cadre de cette étude.

GRANDS GROUPES DE MILIEUX				**SOUS - CAS**
	Canaux navigables		Canaux non navigables	- Canaux navigables - Canaux non navigables
	Cours d'eau à dynamiques hydrauliques différentes			- Ruisseaux - Rivières et fleuves navigables - Rivières et fleuves non navigables
	Fossés			- Fossés routiers et autoroutiers - Fossés agricoles
	Plans d'eau			- Lacs naturels - Lacs de barrage - Etangs naturels - Bassins de retenue - Bassins routiers et autoroutiers
	La problématique des ports maritimes n'est pas abordée dans la présente étude. En effet, elle concerne des sédiments marins d'une part, et une méthodologie interne a été développée par les gestionnaires de ce type de milieux, d'autre part (Groupe GEODE).			

Chaque grand groupe de milieux regroupe un ensemble de situations variées, nécessitant une méthodologie de caractérisation spécifique. A ce titre, le groupement Tauw Environnement / Ophrys a introduit **12 sous-cas** pour lesquels une méthodologie de caractérisation est proposée dans l'Annexe Technique AT1.

En outre, les travaux relatifs aux sédiments montrent que l'échelle de caractérisation adoptée dans la majorité des cas est identique à celle proposée dans le présent guide.

Par ailleurs, la synthèse des informations collectées au cours de cette étude a permis de constater que la démarche globale de caractérisation des sédiments reste équivalente malgré les spécificités existantes pour chaque groupe et sous-cas de milieux.

3.2 LES LIMITES DU CHAMP D'APPLICATION

La présente étude traite exclusivement de la nature et des moyens d'acquisition de l'information nécessaires à la réalisation d'un diagnostic initial ou approfondi.

Le diagnostic initial (DI) est décrit comme une méthodologie d'acquisition de l'information pour caractériser la qualité d'un sédiment à un instant donné. Dans le cas de la détection d'une anomalie qualitative, l'information acquise par le diagnostic initial doit permettre la mise en œuvre d'un outil méthodologique d'évaluation simplifiée des risques (ESR), non développé à l'échelle nationale, à la date de rédaction de ce mémoire.

Le diagnostic approfondi (DA) est une méthodologie de vérification de la pertinence des données précédemment acquises (au cours d'un diagnostic initial, par exemple) et d'acquisition complémentaire d'information dont l'objet est de permettre la caractérisation détaillée et approfondie de la qualité d'un sédiment (en place ou extrait) présentant une anomalie qualitative. L'intérêt du diagnostic approfondi est de définir précisément l'anomalie qualitative du sédiment afin de comprendre les éléments qui ont généré cette situation et de déterminer les dispositions relatives au devenir des matériaux extraits pollués. L'information acquise par le diagnostic approfondi doit également permettre la mise en œuvre d'un outil méthodologique d'évaluation détaillée des risques (EDR).

Différentes réflexions sur les EDR, relatives à la gestion des sédiments pollués ont été menées en France, à ce jour :

- l'EDR santé humaine, développée par Dames & Moore, est actuellement disponible dans sa version 0 de janvier 2001 et propose trois scénarii :
    - les sédiments en place, dont les résultats ont pour vocation d'orienter la discussion des gestionnaires sur l'éventualité de non intervention ;
    - les sédiments extraits, dont le but est d'évaluer les risques lors de l'extraction et du transport du lieu d'extraction au site de destination finale ;
    - le devenir des sédiments extraits qui permet de valider le choix de la filière de gestion.
- l'EDR écotoxicologique *in-situ* dont le protocole a pour objet l'évaluation détaillée des risques posés par les sédiments en place pour les écosystèmes. Ce protocole n'est pas développé sur le territoire national.
- l'EDR écotoxicologique *ex-situ,* développée par le CEMAGREF et l'ENTPE, dont la version provisoire est disponible depuis janvier 2001 propose deux scénarii d'évaluation des risques posés par les sédiments extraits :
    - le dépôt des sédiments sur sol,
    - le dépôt des sédiments en gravière.

Les protocoles des méthodologies d'évaluation simplifiée et détaillée des risques (ESR et EDR) ne font pas l'objet de la présente étude. Ces outils méthodologiques sont cités dans le cadre de cette étude pour une meilleure compréhension de la démarche. De même, les valeurs seuils (ou guides) applicables aux sédiments sont en cours de définition au niveau national.

Enfin, le dimensionnement technique et financier du projet de curage n'entre pas dans le cadre de l'étude, consacrée aux aspects techniques et scientifiques de la caractérisation sédiments.

4 METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE TRAVAIL

L'approche choisie par le groupement Tauw Environnement / Ophrys pour caractériser les sédiments en vue d'un curage est adaptée à partir des pratiques adoptées dans le domaine des sites et sols pollués.

En effet, à partir du constat qu'un sédiment, une fois extrait et déposé au sol (sans précaution spécifique telle que le confinement), constitue un nouveau sol, la recherche d'outils méthodologiques pour caractériser les matériaux de curage s'est naturellement portée sur les méthodologies existantes pour caractériser les sols potentiellement pollués.

Toutefois, l'emprunt de la méthodologie des sites et sols pollués se limite à la logique d'une démarche globale et ne prétend pas transposer l'intégralité de l'outil méthodologique à la problématique des sédiments.

L'approche de la gestion des sédiments proposée dans le cadre de ce mémoire s'articule autour de deux types d'objectifs de caractérisation des sédiments :

La surveillance des sédiments :

La surveillance des sédiments a pour objectif l'estimation de l'évolution **quantitative** et **qualitative** du sédiment, pour une maille spatio-temporelle large. La caractérisation du sédiment doit s'attacher à estimer l'évolution probable d'un site afin de planifier (et de budgétiser) sa restauration éventuelle et/ou de mettre en place des mesures préventives et correctives. Parallèlement, le recueil des données, effectué de manière homogène sur l'ensemble du territoire national, devrait permettre de constituer et d'alimenter une banque de données relatives à la qualité des sédiments.

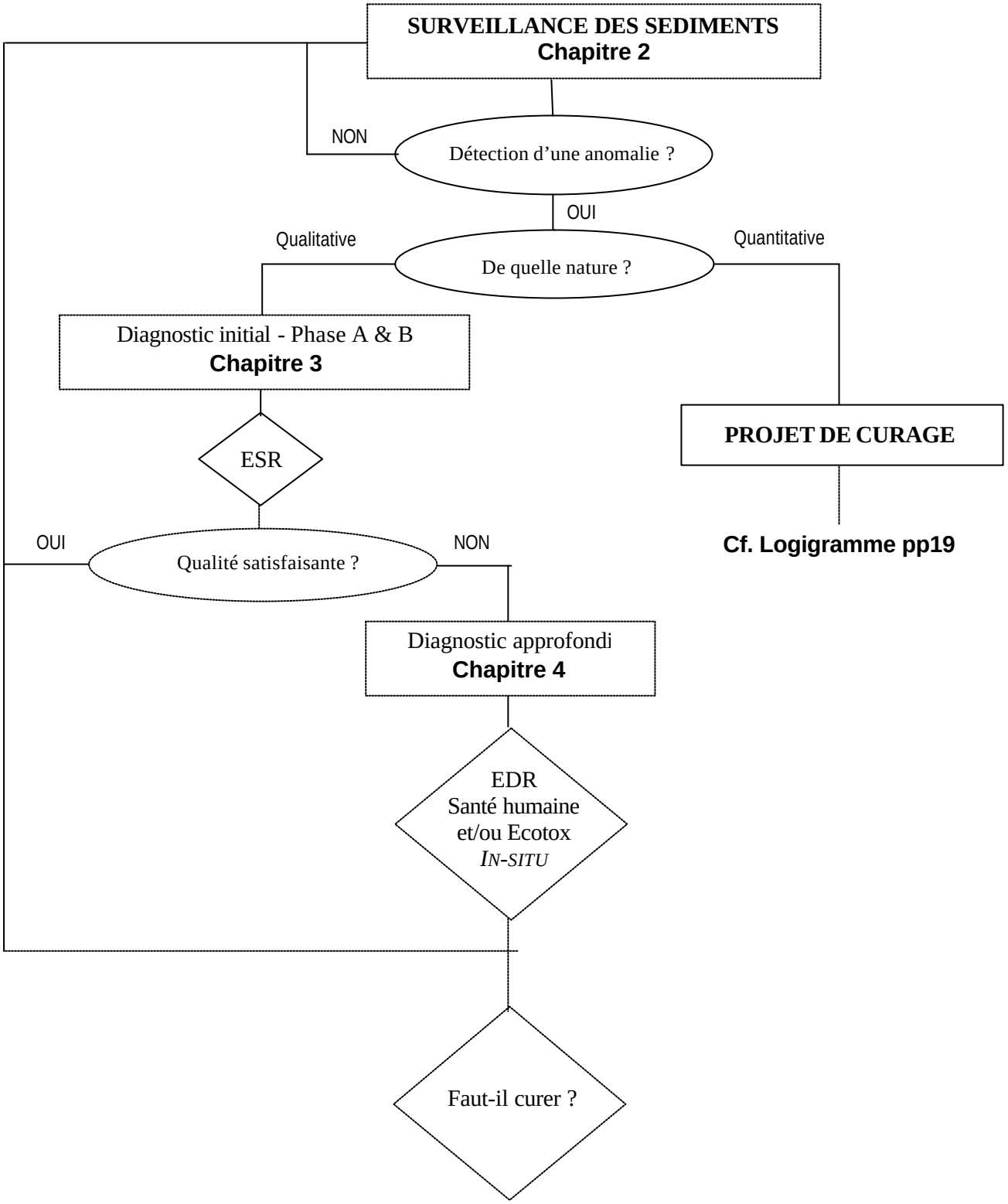
Le projet de curage :

Le projet de curage (enlèvement des produits ou remise en suspension) est conditionné par la quantité de sédiments trop importante dont la qualité orientera le devenir des matériaux curés ou dragués.

Les logigrammes des figures 1 et 2 présentent la démarche globale proposée dans le cadre de la surveillance des sédiments et du projet de curage.

Dans chacun des cas, un schéma de lecture est proposé à la suite du logigramme.

Figure 1 : Proposition de démarche globale de surveillance des sédiments



4.1 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS

L'observation d'une anomalie quantitative ou qualitative est le critère proposé pour procéder à la réalisation d'un Diagnostic Initial (DI, chapitre 3).

En effet :

- Lorsqu'une anomalie quantitative (et uniquement quantitative) est détectée, le curage (solution la plus usitée) est envisagé (cf. figure 2),

- Lorsqu'une anomalie qualitative est détectée, une étude globale de la qualité du site doit être entreprise.

Le DI est un examen du sédiment ayant pour but de déterminer si des polluants sont présents dans le sédiment dans une zone déterminée, avec une intensité des recherches relativement faible, scindée en deux phases :

- Une phase A d'étude documentaire et historique,
- Une phase B d'investigations de terrain (prélèvement, échantillonnage, analyses) conditionnées par les résultats et l'état de connaissance atteint à l'issue de l'étape A.

L'outil méthodologique que constitue le DI reste identique quelque soit la démarche abordée. Néanmoins les résultats et les décisions seront spécifiques qu'il s'agisse d'une démarche de gestion patrimoniale ou d'un projet de curage.

Les résultats de l'ESR permettent de prendre une décision selon que la qualité du sédiment en place est jugée :

- Satisfaisante, auquel cas la surveillance pratiquée dans le cadre d'une gestion patrimoniale est poursuivie,

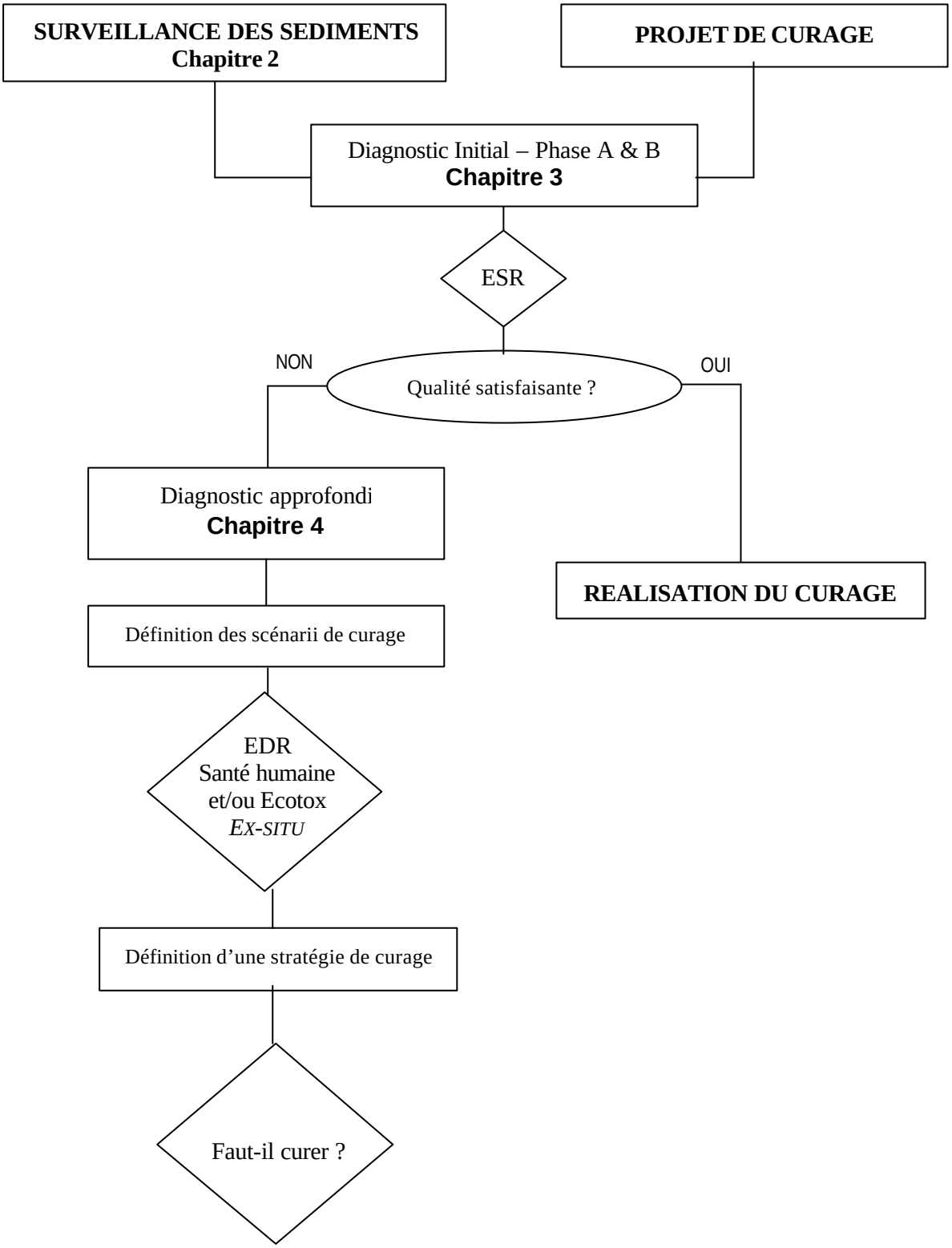
- Insatisfaisante, auquel cas l'approfondissement de la caractérisation de la qualité du sédiment est souhaitable. La démarche proposée est alors de réaliser un diagnostic approfondi.

Le Diagnostic Approfondi, dont le protocole d'acquisition des données nécessaire à la caractérisation des sédiments est développé au chapitre 4, doit permettre de caractériser (spéciation, quantité, source) et de localiser précisément le ou les polluants, détéctés dans le sédiments.

Les informations obtenues à ce stade rendent possible la mise en œuvre d'outils méthodologiques tels que l'Evaluation Détaillée des Risques (E.D.R.), dont la méthodologie n'est pas décrite dans la présente étude. Selon les cibles considérées, une EDR Santé humaine (Dames & Moore., 2001) est envisagée pour l'évaluation des risques encourus par l'homme, et une EDR écotoxicologique *in-situ* (sédiment en place) pour l'évaluation des risques touchant l'écosystème.

Les résultats des différentes EDR aboutissent à l'éventuelle possibilité de procéder à un curage afin de supprimer l'anomalie qualitative

Figure 2 : Proposition de démarche globale projet de curage des sédiments



4.2 DEMARCHE PROPOSEE DANS LE CADRE D'UN PROJET DE CURAGE

Dans le cas d'une anomalie quantitative (projet de curage), le diagnostic initial (chapitre 2) est le point de départ de la démarche. Son déroulement est le même que celui décrit précédemment dans le cadre de la surveillance des sédiments (cf. paragraphe 4.1.1) et son objectif est d'évaluer la qualité des sédiments en place afin de déterminer le devenir des matériaux curés.

Selon les résultats de l'Evaluation Simplifiée des Risques :

- Possibilité de procéder au curage envisagé sans que la qualité des sédiments n'engendre de problèmes au regard du devenir des matériaux curés,

- Nécessité de passer à un niveau de caractérisation plus approfondi afin de définir une stratégie de curage optimisée et spécifique au site (Diagnostic Approfondi, chapitre 4).

Des scénarii de curage sont alors définis. Une Etude Détaillée des Risques écotoxicologique *ex-situ*, couplée à une EDR santé humaine relative à ces scénarii doivent être effectuées afin d'évaluer l'impact des matériaux de curage extraits sur le milieu récepteur et de définir des conditions visant à limiter, voire supprimer ces effets.

Les résultats des différentes EDR aboutissent à la définition d'une stratégie de curage et de la nécessité de procéder à cette opération.

5 ARTICULATION DU MEMOIRE

L'étude est organisée autour de **trois parties** :

- une **première partie,** consacrée aux généralités et à la description de la méthodologie ;
- une **deuxième partie**, constituée par des annexes techniques détaillant les outils préalables à la caractérisation, les études de cas en fonction des milieux, les protocoles de prélèvement, d'échantillonnage et de caractérisation physico-chimique et biologique des sédiments ;
- puis, une **troisième partie** regroupant le mode de recueil des données, les références bibliographiques, le glossaire et la liste des abréviations.

La première partie s'articule autour de **4 chapitres**, commençant par le **chapitre introductif** (chapitre 1 actuel) qui présente une vue d'ensemble du mémoire comprenant la définition des objectifs, les approches de travail et la structure du rapport.

Une méthodologie de caractérisation du sédiment, adaptée à la surveillance des sédiments est proposée au **chapitre 2**.

Les **chapitres 3 et 4** proposent les méthodologies de collecte de l'information nécessaire à la caractérisation des sédiments dans le cadre du diagnostic initial et du diagnostic approfondi.

La **deuxième partie** regroupe les annexes techniques, organisées sous forme de fiches synthétiques, regroupées sous six thématiques:

- AT0 : Outils préalables à la caractérisation.
- AT1 : Caractérisation des sédiments en fonction des milieux.
- AT2 : Prélèvement.
- AT3 : Echantillonnage.
- AT4 : Caractérisation physico-chimique.
- AT5 : Caractérisation biologique.

Cette deuxième partie débute par une introduction, un guide de lecture et un sommaire détaillé.

Le renvoi systématique aux fiches des annexes techniques est introduit dans le corps de texte de la première partie.

Les termes techniques, signalés par un astérisque (*) dans le corps de texte ou ceux pour lesquels un choix concernant leur définition a été nécessaire, sont définis dans le glossaire, proposé dans la partie 3.

Chapitre 2

Proposition méthodologique pour la surveillance des sédiments

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 25

2 GESTION DES SEDIMENTS : SITUATION ACTUELLE 27

3 GESTION DES SEDIMENTS : PROPOSITIONS 29

3.1 OBSERVATION DE LA QUALITE DES COURS D'EAU : UN MODELE ? 29
3.2 PRESENTATION SUCCINCTE DU SEQ EAU 30

4 APPLICATION DE LA METHODE AUX SEDIMENTS 32

4.1 CHAMPS D'APPLICATION 32
4.2 LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE 33
4.3 DEFINITION DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET ECONOMIQUE DES STATIONS DE MESURE 33

5 RESULTATS 35

5.1 CARACTERISATION DU SEDIMENT : LE CS K 35
5.1.1 DEFINITION ET OBJECTIF 35
5.1.2 DONNEES A RECUEILLIR 35
5.1.3 REALISATION DU CS K 38
5.2 QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU SEDIMENT : LE CS PC 40
5.2.1 DEFINITION ET OBJECTIF 40
5.2.2 DONNEES A RECUEILLIR 40
5.2.3 REALISATION DU CS PC 43
5.3 QUALITE BIOLOGIQUE DU SEDIMENT : LE CS BIO 46
5.3.1 DE LA NECESSITE DE FAIRE DU BIOLOGIQUE 46
5.3.2 LES OBJECTIFS DU CS BIO 47
5.3.3 DONNEES A RECUEILLIR 47
5.3.4 REALISATION DU CS BIO 50

6 INTERPRRETATION DES DONNEES 51

7 CONCLUSION 53

7.1 GENERALITES 53
7.2 INTERACTIONS ENTRE LE S.E.Q. EAU ET LE CS 53
7.3 INTERACTIONS ENTRE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS ET LES OUTILS UTILISES EN PROJET DE CURAGE (DI & DA) 54

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des paramètres principaux dans le volet CS K 37

Tableau 2 : Analyses de routine 41

Tableau 3 : Analyses spécifiques 42

Tableau 4 : Estimation du nombre d'échantillons à prélever en fonction du volume de sédiments présents. 45

Tableau 5: Proposition des 5 catégories de qualité des sédiments 48

1 INTRODUCTION

Selon une enquête réalisée par le Service de la Navigation Nord – Pas – de - Calais auprès des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre sur l'ensemble du territoire national, on peut estimer que :

- Les besoins en curage d'entretien (assurer la navigabilité et l'écoulement normal des eaux) sont évalués à neuf millions de mètres cubes par an ; cette valeur n'inclut pas les besoins en matière de reconquête écologique du milieu naturel ou les besoins liés à l'amélioration du cadre de vie ;

- Environ six millions de mètres cubes de sédiments sont extraits tous les ans. 70% de ces produits sont mis en dépôts ou en cordon sur les berges, 10 % sont valorisés en travaux publics, 7% sont épandus sur les terres agricoles et le solde connaît diverses destinations (remblais, clapage, essais, inertage…).

Le déficit annuel en curage d'entretien en France est donc de l'ordre de trois millions de mètres cube et concerne majoritairement les cours d'eau non navigables.

Parallèlement à l'aspect d'ordre quantitatif, s'ajoute l'aspect qualitatif des sédiments. La contamination des sédiments est principalement due aux rejets industriels et urbains, comprenant :

- des éléments nutritifs (phosphore et composés azotés…) qui proviennent des rejets d'eaux usées urbaines et d'effluents agricoles et industriels, à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

- des métaux lourds (cadmium, chrome, plomb, mercure, nickel,…), souvent à l'état de traces, peuvent se fixer sur les sédiments par adsorption physique (liaison électrostatique), ou par adsorption chimique (liaison par force de valence). Les métaux peuvent également précipiter sous forme d'oxydes, d'hydroxydes de carbonates, de phosphates solubles ou de sulfures insolubles ou former des complexes organiques ou inorganiques. Les métaux lourds piégés dans les sédiments sont en général en équilibre avec l'eau interstitielle mais la moindre perturbation des conditions environnementales peut entraîner des mécanismes de remobilisation des métaux. Ce relargage est d'autant plus problématique que les métaux lourds sont considérés comme dangereux pour les organismes vivants, par toxicité à court, moyen ou long terme.

  Chacun des métaux lourds a sa propre toxicité, avec des organes cibles spécifiques. Les lésions induites peuvent être destructrices dans le cadre d'une intoxication aiguë (rein, foie, cerveau…) ou peuvent être responsables de pathologies toxiques, dégénératives et lésionnelles à moyen ou long terme, si la concentration est moindre. Les métaux lourds ont également un pouvoir mutagène qui peut se traduire sur la personne par un effet carcinogène, cocarcinogène ou sur sa descendance par l'intermédiaire de mutation génétique. Les traitements actuels d'élimination des métaux lourds sont illusoires, leurs efficacités sont variables, voire nulles pour certains.

- des substances organiques (hydrocarbures, HAP, produits phytosanitaires, solvants chlorés…), souvent très toxiques, solubles ou adsorbés sur les matières en suspension peuvent présenter des risques lors de l'extraction des matériaux de curage.

La restauration de la qualité et l'entretien des rivières, des canaux et des plans d'eau requièrent donc une gestion appropriée des sédiments lorsque les principaux apports de polluants ont été réduits.

Cette gestion, et les outils nécessaires pour y accéder, rendent possible :

- La gestion des risques d'inondation,
- La localisation et la gestion des perturbations de la navigation ou de toutes autres activités possibles dans ce milieu,
- La localisation des «points sensibles», points où les actions de gestion doivent être préférentiellement menées, et par conséquent l'établissement d'un planning prévisionnel d'action.
- La gestion globale des sédiments sur l'ensemble du territoire de manière à constituer une banque de données permettant :
    - de connaître l'historique d'un sédiment,
    - d'avoir des données chroniques, caractérisant un sédiment sur le long terme (par opposition à la connaissance au temps T d'un sédiment suite aux analyses faites en vue d'un curage, par exemple),
    - une meilleure gestion se basant sur un grand nombre d'échantillons permettant une aide à la décision,
    - l'appréciation de l'évolution de la qualité suite aux actions menées,
    - l'appréciation de l'influence d'une perturbation,
    - de cibler et regrouper les activités dégradant le milieu, de sensibiliser les responsables, d'adapter les précautions à prendre pour la préservation du milieu en fonction du rejet de l'activité.

Les objectifs étant nombreux et d'importance, la nécessité de gérer les sédiments est très fortement ressentie, si bien que, depuis une dizaine d'années, des organismes spécifiques sont mis en place et proposent des actions dans cette optique.

2 GESTION DES SEDIMENTS : SITUATION ACTUELLE

En juin 1999, un **Comité National de Gestion des Sédiments** présidé par la Direction de l'Eau du Ministère de l'Environnement est créé. Son principal objectif est d'élaborer une réglementation pragmatique accompagnée des outils techniques adéquats.

Par ailleurs, de nombreuses études ont été menées, comme par exemple :

- Le guide méthodologique de gestion des sédiments qui propose une démarche et oriente les maîtres d'ouvrages, les bureaux d'études, les administrations. Tous les aspects y sont abordés, des investigations préliminaires au suivi des réalisations en passant par les traitements envisageables et les moyens de financement.

- Mise à disposition d'un référentiel des curages : outils standardisés pour l'identification des sédiments, des travaux de curage et du devenir des produits.

- La qualité des sédiments des cours d'eau de 1991 à 1996 – Compilation de résultats – Agence de l'eau Artois-Picardie (1997). Ce document a été réalisé dans le cadre de la surveillance des teneurs en métaux lourds présents dans les sédiments des cours d'eaux principaux du bassin.

- Etude d'établissement de seuils de qualité pour les sédiments – CEMAGREF Lyon (1998). Les deux objectifs de cette étude sont, d'une part, d'augmenter le jeu de données disponibles concernant les concentrations toxiques de quelques contaminants métalliques et organiques vis-à-vis des organismes du sédiment, et d'autre part de proposer des seuils de concentrations associés à des effets biologiques.

- Mise au point d'une méthodologie d'étude des sédiments contaminés par les métaux lourds en préalable à des opérations de curage – Agence de l'eau Artois-Picardie/ ISA – thèse par Honore M-A. (1994),

- Bio-essais sur sédiments – Méthodologie et application à la mesure de la toxicité de sédiments naturels – Etude Inter-Agence n°76 (2000),

Comme le montre cette liste non exhaustive, de nombreux efforts sont faits dans le domaine de la gestion des sédiments. Cependant ils concernent bien souvent, une période et/ou une région précise. De plus, ces études touchent principalement quelques paramètres physico-chimiques, définis à priori et ne permettant pas de dresser une synthèse globale de la qualité du sédiment, et de l'écosystème.

A l'instar du Réseau National de Bassin (RNB), les outils utilisés au niveau national ne permettent pas, pour l'instant, de réaliser un suivi spatial et temporel régulier du sédiment. La nécessité de compléter et centraliser les données, puis d'homogénéiser le système de collecte de ces informations s'avère donc indispensable pour instaurer la « **surveillance des sédiments** ».

En conséquence, le groupement Tauw Environnement / Ophrys propose au cours des paragraphes suivants, des moyens méthodologiques visant à assurer la surveillance des sédiments, autrement dit le suivi général selon un maillage spatio-temporel large des sédiments en place tout en constituant une base de données rendant compte de l'évolution inter-annuelle.

Cette méthodologie proposée aborde deux optiques complémentaires :

- une optique environnementale où la surveillance des sédiments consiste en un suivi de la qualité des sédiments. Dans ce cas, la caractérisation de la matrice se fait en surface du sédiment.

- Une optique de programmation financière et d'évaluation des filières, où la surveillance des sédiments doit permettre au gestionnaire d'estimer l'évolution quantitative et qualitative du sédiment. Dans ce cas, la caractérisation s'effectue sur la colonne complète de sédiment. On entend par colonne complète, la profondeur de sédiment influencée par les activités.

Ces réflexions constituent une première version qui s'enrichira au fur et à mesure des remarques des différents partenaires et utilisateurs.

3 GESTION DES SEDIMENTS : PROPOSITIONS

3.1 OBSERVATION DE LA QUALITE DES COURS D'EAU : UN MODELE ?

Depuis 1971, l'observation de la qualité des cours d'eau a été prise en charge par l'Inventaire National du degré de Pollution des eaux superficielles (INP). Depuis 1987, ce dispositif a été optimisé et renforcé, et est devenu le Réseau National de Bassin (RNB).

Les données produites par le RNB sont exploitées par des entités interdépendantes, telles que :

- Le Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE), projet lancé sur l'initiative du Ministère de l'Environnement, des 6 Agences de l'Eau, du Conseil Supérieur de la Pêche et de l'Institut Français de l'Environnement pour améliorer la production, la collecte, la conservation et la communication des données sur l'eau,

- Le Secrétariat d'Administration National des Données Relatives à l'Eau (SANDRE), chargé d'établir le langage commun aux producteurs et aux utilisateurs de données. Les procédures SANDRE peuvent être obtenues auprès de l'Office International de l'Eau (OIE),

- La Banque Nationale des Données sur l'Eau (BNDE), exploitée par l'OIE, s'alimente en données auprès des banques existantes (banques thématiques, banque de bassin, banques des producteurs de données) et effectue les traitements nécessaires pour valoriser l'information.

L'élaboration des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), introduite par la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992, a conduit le Ministère chargé de l'Environnement et les Agences de l'Eau à reconsidérer les grilles de qualité, utilisées ces trente dernières années, introduisant :

- une meilleure prise en compte :
  - de la diversité des types de pollutions (micro-polluants notamment),
  - des atteintes à la structure et au fonctionnement de l'écosystème (jusque là très largement ignorées).
- et une meilleure appréciation de la qualité biologique des cours d'eau.

Ces dispositions ont conduit à un nouveau Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau : le SEQ eau.

A la lecture de ces premiers paragraphes, on s'aperçoit de l'évolution du système mis en place pour la gestion de la qualité de l'eau. Les outils utilisés permettent de pallier les manques de données ou de centralisation de œs données ainsi qu'aux difficultés d'exploitation liées à l'hétérogénéité des résultats.

C'est pourquoi, il semble que ces outils, et notamment le Système d'Evaluation de la Qualité pourront être adaptés au cas des sédiments. Toutefois, il apparaît comme incontournable, pour la mise en place d'une gestion globale de cette matrice, d'intégrer l'aspect quantitatif.

De plus, il est possible de considérer que la connaissance du sédiment est intrinsèquement liée à l'évaluation de la qualité de l'eau et du milieu aquatique, comme présenté dans le S.E.Q eau.

A cet argument, qui fait que la caractérisation des sédiments pour la mise en place d'une gestion du patrimoine peut se calquer sur celle mise en place pour l'eau, viennent s'ajouter les constats suivants :

- L'évaluation de la qualité de l'eau est en place, fonctionnelle et rodée. Ce système représente donc une bonne base de travail,
- Utiliser la même méthodologie, pour l'eau et les sédiments d'un cours d'eau, pourrait permettre :
  - D'apprendre, de connaître et/ou de maîtriser une seule et même logique pour les utilisateurs du système,
  - De limiter la redondance de certaines informations,
  - De comparer et corréler les résultats, obtenus pour deux matrices différentes (eau, sédiment),
  - D'appréhender les transferts possibles entre ces deux compartiments.

3.2 PRESENTATION SUCCINCTE DU SEQ EAU

Le Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau est basé sur trois grands principes :

- **Applicabilité à tous les cours d'eau**, ce qui permet d'avoir des diagnostics comparables,
- **Evolutif :** les évolutions ultérieures par l'intégration de nouvelles connaissances sont possibles, si elles ne remettent pas en cause le principe du système,
- **Polyvalent**, pour permettre différentes utilisations des informations en fonction des besoins.

Dans la pratique, l'évaluation comporte trois volets, relatifs à la qualité des hydro-systèmes :

- La physico-chimie (S.E.Q. Eau),
- Les caractéristiques physiques : hydromorphologie et hydrologie (S.E.Q. physique),
- Les communautés biologiques (S.E.Q. Bio).

Chaque volet est traité indépendamment des autres. Néanmoins, tous trois comportent deux notions communes :

- **un indice et une classe de qualité**, définis grâce à la prise en compte d'altérations (température, nitrates, etc.), des critères (structure des berges, morphologie du lit, etc.) ou d'indicateurs (présence de flore aquatique, etc.),

- **une classe d'aptitude aux usages potentiels** de la ressource, qui évalue les impacts sur le fonctionnement écologique et les impossibilités éventuelles d'exercer certaines activités sur le milieu.

Les évaluations du système sont fondées sur la mesure des écarts avec les conditions naturelles ou les exigences de la réglementation.

En matière de qualité environnementale, les référentiels utilisés s'appuient sur une typologie nationale simplifiée des cours d'eau (S.E.Q. Physique et S.E.Q. Bio) ou prennent en compte des concentrations sans effet (NOEC) ou non significativement différentes (S.E.Q. eau).

En matière d'aptitude aux usages anthropiques, les références sont de nature réglementaire ou s'appuient sur l'avis d'experts.

4 APPLICATION DE LA METHODE AUX SEDIMENTS

Les trois grands principes fondamentaux (1-d'applicabilité, 2-d'évolution et 3-de polyvalence) édictés pour le SEQ cours d'eau constituent les bases de l'évaluation de la qualité, quelle que soit la matrice considérée, et plus particulièrement dans le cas des sédiments.

De la même façon, les trois volets définis caractérisent de manière complémentaire un milieu. C'est pourquoi, nous proposons de développer pour la gestion du sédiment les volets suivants :

- caractérisation du sédiment (**CS K**) : granulométrie, taux de sédimentation, etc.
- qualité physico-chimique du sédiment (**CS PC**) : contaminants, etc.
- qualité biologique du sédiment (**CS BIO**): communautés biologiques, etc.

4.1 CHAMPS D'APPLICATION

La surveillance des sédiments, mise en place par un service d'Etat (MATE) ou par un acteur privé ou semi-privé (VNF, collectivité gestionnaire de plan d'eau,…), s'applique préférentiellement au cas suivant :

- Rivière et fleuve non navigable,
- Rivière et fleuve navigable,
- Canal non navigable,
- Canal navigable,
- Lac naturel.

L'application de la méthodologie de la surveillance des sédiments pour les milieux tels que les fossés, les lacs de barrage hydroélectrique, les étangs naturels, les bassins de retenue et les bassins routiers et autoroutiers, est également possible. Néanmoins, pour ces milieux, la mise en place de la surveillance des sédiments nécessitera une réflexion complémentaire quant à son application.

En effet, en ce qui concerne les bassins de retenue, il s'agit essentiellement d'ouvrages de gestion hydraulique, alimentés uniquement en hiver ou pendant les périodes de crues. La gestion de ces bassins est généralement effectuée hors eau.

Les fossés et étangs naturels, étant extrêmement nombreux, leur suivi régulier engendrerait un coût très important et peu justifié par rapport aux informations apportées.

Quant aux ouvrages privés ou semi-privés comme les lacs de barrage et les bassins routiers et autoroutiers, les conditions de réalisation des analyses devront être établies (prélèvements effectués par un opérateur privé ou non, par exemple).

4.2 LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE

De manière générale, il est préférable que les stations de mesure soient les mêmes que pour l'eau, car cela permettrait :

- d'utiliser les infrastructures déjà en place,
- d'obtenir des informations complémentaires eau et sédiments,
- d'obtenir des informations non redondantes (polluants souvent de même nature dans l'eau et dans le sédiment, les peuplements biologiques reflètent aussi bien la qualité de l'eau que celle des sédiments, etc.).

Néanmoins, il est possible que leur mise en place ne soit pas applicable ni judicieuse, en raison de l'absence de sédiment et/ou de l'effet de bordure. Dans ce cas, le choix de la localisation de la station doit être :

- représentatif du tronçon étudié,
- localisée de manière à observer les actions correctives entreprises,
- localisée de manière pertinente afin de fournir les informations nécessaires à l'élaboration des trois volets :
  - pour les CS K et CS PC : le critère d'homogénéité est le plus important,
  - pour le CS BIO: elle peut être localisée de manière à suivre un peuplement indicateur de la qualité biologique du milieu.

4.3 DEFINITION DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET ECONOMIQUE DES STATIONS DE MESURE

Une fois la localisation de la station de mesure établie, une étude préliminaire du contexte environnemental doit être effectuée. En effet, la connaissance du milieu et des problèmes susceptibles d'y parvenir (industrie à proximité, secteur d'étude agricole, confluence, par exemple) permettent de focaliser sur les analyses spécifiques à effectuer et, *a fortiori*, de réduire le coût analytique.

De même, la connaissance du contexte économique et social est à définir au cours de cette phase préliminaire puisque l'obligation de remédier au problème quantitatif engendré par les sédiments est corrélée à l'intérêt économique du milieu.

En résumé, la définition du contexte environnemental d'une station de mesure doit permettre de connaître :

- le milieu dans son ensemble,
- le contexte économique et social,
- les polluants potentiellement présents dans les sédiments.

Le contexte de la station de mesure peut être défini simplement à l'aide du guide d'enquête (cf. annexe technique ATO fiche A). Dans le cadre de la surveillance des sédiments, ce guide d'enquête doit être soigneusement renseigné lors de l'installation de la station de mesure.

Par la suite, le guide d'enquête pourrait être renseigné à la périodicité suivante :

- Tous les **six ans**, si aucun changement important n'intervient auparavant, dans le secteur d'étude,

- Dès qu'un changement important dans le contexte du site est signalé (implantation d'industrie, arrêt d'activité, changement d'usage du site, par exemple),

- L'année suivant la détection d'une anomalie quantitative ou qualitative des sédiments lors de leur caractérisation.

5 RESULTATS

5.1 CARACTERISATION DU SEDIMENT : LE CS K

5.1.1 Définition et Objectif

Le **CS K** s'intéresse à l'ensemble des paramètres intervenant dans la qualification du sédiment.

Cette phase a trois objectifs principaux :

- Il apparaît que cette phase, dans les conditions où elle est définie dans le présent guide, est celle qui va le plus rapidement **mettre en évidence un problème quantitatif**,
- Elle doit aussi permettre à l'opérateur d'estimer l'évolution de la sédimentation et donc, *a fortiori*, permettre **de prévoir les délais** dans lesquels des mesures correctives doivent être prises,
- Du point de vue quantitatif, cette phase devrait permettre de **déterminer la vulnérabilité du sédiment au polluant**. Ainsi, le CS K peut être une aide à la décision en ce qui concerne la détermination des analyses du CS PC.

5.1.2 Données à recueillir

Parmi les nombreux critères contrôlant la nature des sédiments, cinq groupes de paramètres définissent et déterminent le "type" de sédiment.

- L'origine des sédiments (géologie, érosion du bassin versant, assainissement pluvial, eaux usées domestiques ou industrielles,…)
- Le contexte hydrologique (débit, MeS,…)
- La morphologie du plan d'eau et/ou du cours d'eau (largeur, profondeur,…)
- La granulométrie (sédiment grossier, fin, mixte,…)
- La bathymétrie (taux de sédimentation, tirant d'eau)

L'origine des sédiments

L'origine des sédiments, présents au fond d'un plan d'eau, est fonction de l'influence du contexte géologique et géomorphologique du bassin versant.

Les sédiments ont deux origines principales :

- Une **origine endogène** due à la production autochtone du milieu qui génère des débris macrophytes (plantes aquatiques, cadavres de microphytes et cadavres d'animaux).

- Une **origine exogène**, issues de matières allochtones d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de matières végétales) ou anthropiques (apports de matières en suspension, de matières organiques, de nutriments, ou de micropolluants agricoles, domestiques ou industriels) qui proviennent du ruissellement, des fleuves, des effluents et de l'atmosphère.

La provenance des sédiments conditionne leur composition minérale :

- Les **sédiments terrigènes** (blocs, cailloux, graviers, sables…), issus de l'érosion des sols, traduisent fidèlement de part leur nature chimique la nature des terrains érodés.

- Les particules les plus fines (limons, boues et vases) sont composées d'une part de minéraux argileux d'origine terrigène et d'autre part des squelettes d'organismes d'origine endogène.

La proportion de matière organique dans la matière sèche des sédiments varie de plus de 90% dans le cas de la tourbe, à 2% dans le cas des sables de rivière. La composition de cette matière organique est généralement identique d'un sédiment à l'autre, hormis le degré de contamination. Elle est constituée à 60% de composés humiques.

Le contexte hydrologique (débit, MeS,…)

Le lecteur se reportera à l'annexe 1 du guide «Faut il curer ? », dans laquelle le mode de transport des particules à l'origine des dépôts sédimentaires est décrit comme étant principalement fonction de la taille de ces dernières et de la vitesse du courant.

En effet, la répartition des fréquences granulométriques explique la répartition des sédiments dans un milieu donné : les grosses particules restent en amont, tandis que les plus fines se retrouvent en aval.

La vitesse du courant conditionne également la sédimentation : plus cette vitesse est faible, plus la sédimentation est importante.

La morphologie du plan d'eau et/ou du cours d'eau (largeur, profondeur,…)

La morphologie du plan d'eau contrôle les vitesses d'écoulement (débit = vitesse x section hydraulique) dont dépend la sédimentation et la nature du sédiment. En effet la vitesse de sédimentation définie par la loi de Stockes, est fonction de la vitesse du courant, de la profondeur et de la taille des particules.

Dans le cas des voies navigables canalisées, le passage des péniches peut provoquer des perturbations dans la répartition des sédiments. En effet dans les canaux étroits et peu profonds, les sédiments sont projetés par les bateaux vers les bordures. Il y a donc lieu de prendre en compte cette répartition dans l'établissement d'un plan de prélèvement.

Pour ce qui est des lacs et des étangs, il convient de bien cartographier les points d'apports et les chenaux de sortie afin de bien appréhender la répartition probable des sédiments entre les chenaux d'écoulement et les zones de calmes et de dépôts.

La granulométrie

La taille des particules est la caractéristique principale et intrinsèque d'un sédiment. L'ensemble des autres paramètres (origine des sédiments, contexte hydrogéologique, morphologie...) étant plus ou moins lié à la granulométrie selon son degré d'influence dans la répartition granulométrique des sédiments sur les fonds aquatiques.

Par ailleurs, la granulométrie détermine :

- les moyens d'extraction à employer : En effet, des sédiments grossiers, sableux vont nécessiter des moyens techniques d'extraction différents de ceux nécessaires pour les sédiments fins.

- la fixation des polluants : D'une manière générale les polluants sont fixés sur les particules les plus fines et de nature argileuse, alors que les sables ne retiennent pas (ou peu) les polluants.

La bathymétrie

La bathymétrie est un facteur déterminant la nécessité de curer. Elle permet la localisation des zones d'érosion et d'accumulation préférentielles. Cette information participe à la décision dans la détermination de l'emplacement des points de prélèvement. Elle est plus ou moins précise en fonction des outils utilisés (cf. annexes techniques AT0 fiches D).

Le tableau 1 regroupe les paramètres principaux inclus dans les 5 catégories précédemment décrites.

Tableau 1 : Liste des paramètres principaux dans le volet CS K

Paramètres		Observations
Mode de transport (charriage ou en suspension)		Charriage : Sables - blocs (> 125 µm)
		En suspension : Argiles - sables (< 125 µm)
Transport (passif ou actif)		Passif : Sans échange avec le lit du cours d'eau
		Actif ou Morphogène : En interaction avec le lit du cours d'eau. phénomènes de dépôt/ reprise importante
Granulométrie		Déterminer le % des différentes fractions
Substratum	Composition	Homogène ou hétérogène
	Origine	Nature géologique de la roche
	Manteau alluvial	Présence / absence
	Pente	Degré
Volume charrié	Forte crue	Vol. charrié = Tb/2 X Qsmax
	Petite crue	Vol charrié =Tb/2 X Qsmax (1-Qo/Qsmax)
Bathymétrie	Volume Total	A comparer avec la section du cours d'eau et le taux de sédimentation.
	Eau interstitielle	Pourcentage du volume total
	Matrice sèche	Pourcentage du volume total
Bilan volumétrique global		A faire uniquement sur plusieurs tronçons, inutile pour une station de mesure.

REMARQUES

- **Le mode de transport** est plus important à prendre en compte pour les matières en suspension.

- **Le transport** de manière globale façonne le lit du cours d'eau, ce qui a un rôle très important sur les zones d'accumulation,

- **La granulométrie** décroît d'amont en aval. Cette décroissance, parfois contrariée par des affluents, recouvre deux phénomènes : l'usure des matériaux et le tri granulométrique. Ceci définit la capacité de transport du sédiment. Quand les matériaux fins (argiles, limons, sables fins) sont en suspension et différents des matériaux du fond, on les appelle matériaux de lessivage. D'une manière générale, il convient de toujours rattacher une analyse granulométrique à une forme spécifique (seuil, tête de bancs, queue de bancs).

- La **caractérisation du substratum** définit la résistance face à l'érosion. On notera, par exemple, qu'un substratum hétérogène est plus sensible à l'érosion, ou, que la présence d'un manteau alluvial induit une protection des substratums érodables comme les sables et les grès tendres (le substratum n'est pas toujours une roche dure !).

- Pour le **volume charrié** : Qsmax = débits de pointe (m^3/s),

  Tb = temps de base (s),

  Qo = débit d'entrainement (m^3/s).

- La **bathymétrie** est variable au cours du temps suivant le déplacement des bancs, mais reste un bon indicateur du taux de sédiments dans le cadre de la surveillance des sédiments.

Bien entendu, cette liste est modulable et évolutive en fonction des données ou des techniques futures. De plus, des paramètres peuvent y être ajoutés et la périodicité adaptée en fonction des spécificités régionales.

5.1.3 Réalisation du CS K

5.1.3.1 Fréquence de réalisation

La surveillance du compartiment sédimentaire est un suivi basé sur une maille spatio-temporelle **large**. De manière générale, les opérateurs du RNB pour les mesures de qualité d'eau, interviennent 1 fois par an au plus et privilégient la période d'étiage pour procéder aux prélèvements de sédiment.

Pour la caractérisation des milieux (CS K), le recueil des paramètres de mesures peut se limiter à une campagne tous **les trois ans**, à laquelle peuvent s'ajouter des interventions lors d'événements importants (crues trentenaires ou centennales, par exemple).

A la lecture de la littérature existante, cette fréquence assez faible, actuellement utilisée par VNF dans le cadre de caractérisation, semble suffisante puisque les variations inter-annuelles des paramètres préconisés semblent réduites.

Pour que les prélèvements soient plus aisément réalisés, la période de l'année préconisée est celle où le débit des cours d'eau est le plus faible, c'est-à-dire en période d'étiage.

Bien entendu, l'utilisateur doit ajuster cette périodicité, selon son analyse et le type d'informations qu'il souhaite obtenir.

5.1.3.2 Stratégie et outils de prélèvement

Le choix de l'engin et de la stratégie de prélèvement peut être déterminé selon les annexes techniques AT2. Il est important de noter que les prélèvements dans le cadre du CS K doivent être effectués sur la colonne complète de sédiments.

D'un point de vue technique, il est indispensable de ne pas mesurer la granulométrie d'une station toujours au même endroit car les bancs et les seuils de sédiments se déplacent et engendrent d'importantes variations dans les mesures qui n'ont aucune signification particulière.

5.1.3.3 Stratégie et outils d'échantillonnage

Selon l'objectif de caractérisation recherché, l'opérateur pourra constituer l'échantillon à partir :

- d'un prélèvement par station,
- de plusieurs prélèvements par station,
- de la fraction superficielle du sédiment, collectée par raclage.

Dans un souci d'homogénéisation des protocoles, la seconde stratégie d'échantillonnage nous semble bien souvent la plus appropriée puisqu'elle permet d'obtenir le nombre d'échantillons nécessaire à la répétition des analyses, de manière à ce que les résultats puissent être statistiquement exploités. De plus, le raclage n'est pas envisageable car il induit une grande variabilité des résultats en fonction du transport de sédiment superficiel et du prélèvement.

5.2 QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU SEDIMENT : LE CS PC

5.2.1 Définition et Objectif

Le **CS PC**, à l'instar du S.E.Q. Eau, doit être mis en place de façon à permettre :

- d'évaluer la qualité physico-chimique du sédiment par un ensemble de mesures de routine, simples à mettre en œuvre et de faible coût,
- de distinguer les grands types de pollution ou «altérations» de la qualité du sédiment,
- d'évaluer l'incidence de cette qualité sur les potentialités biologiques et l'aptitude aux usages potentiels du milieu aquatique,
- de définir les points sensibles, c'est-à-dire les tronçons posant ou risquant de poser problèmes à l'avenir,
- de repérer, et si possible de corriger, les altérations responsables des déclassements,
- de comparer cette qualité avec des objectifs de qualité définis pour chaque tronçon,
- de suivre l'efficacité des politiques de restauration de la qualité du sédiment ou du cours d'eau en général.

5.2.2 Données à recueillir

A titre indicatif et dans un souci d'homogénéisation des protocoles, les paramètres analysés dans le cadre de **CS PC** ont été répartis suivant deux tableaux.

Le tableau 2 reprend les paramètres qu'il faudrait analyser systématiquement et dans tous les cas, autrement dit les analyses de routine.

Le tableau 3 liste les éléments à analyser spécifiquement à la zone d'étude. C'est-à-dire les éléments à déterminer en fonction du *contexte environnemental*, de *l'usage du site* ou du *type de milieu*. Il peut également s'agir d'éléments dont l'analyse n'est pas nécessaire de façon systématique (élément dont la présence sur le site est potentiellement faible) et qui sont analysés en guise de surveillance.

Tableau 2 : Analyses de routine

Paramètres	Références au guide	Intérêt de l'information	Commentaires
Description macroscopique du prélèvement			
Couleur	-	Aide au choix du matériel de prélèvement	Observations de terrain
Odeur (hydrocarbures, H_2S, etc.)			
Hydrocarbure visible			
Consistance			
Homogénéité			
Stratification			
Données analytiques			
pH	AT 4 Fiche C22	Conditionne de nombreux équilibres chimiques (NH_4 en NH_3) ; Indicateur de l'activité biologique.	Concentration en ions H+ présents.
Température	-	Evaluation de la dissociation gazeuse de l'azote ammoniacale (NH_4) en azote toxique (NH_3) ; Evaluation de certains aspects des cycles biologiques ou comportementaux.	mesure in-situ
Mesure de la matière sèche	AT4 Fiche C17	Permet de connaître la teneur en eau du prélèvement.	-
Potentiel d'oxydo-réduction	-	Connaître l'importance du pouvoir réducteur ou oxydant du milieu ; Evaluer le degré d'oxydation de certains ions.	Température, concentration en éléments présents, pH. mesure in-situ
Matières organiques et oxydables	AT 4 Fiche C16	Avoir une idée sur la richesse du milieu ; Estimer le degré de chélatation des métaux sur la matière organique.	-
Turbidité	-	traduit la présence de matière en suspension dans l'eau et informe sur la sédimentation	mesure in situ

- Il est recommandé de mesurer le **pH** *in situ* afin de ne pas modifier les équilibres ioniques suite au transport de l'échantillon ou à son séjour en flacon. Pour cette mesure, il est envisagé de suivre le protocole énoncé dans la norme NF T 90-008 ; la mesure se fait au moyen d'un appareil électrométrique avec électrode de verre.

  Le pH permet d'évaluer le caractère acide ou basique d'une eau. En général, l'acidification (pH <5) conduit à la solubilisation du fer, manganèse, aluminium et d'autres métaux. De plus, l'augmentation du pH favorise l'adsorption métallique sur la fraction réductible des sédiments (oxydes de fer et de manganèse) et sa diminution augmente la toxicité des métaux.

- Le **potentiel oxydo-réducteur** correspond à la différence de potentiel existant entre une électrode de platine poli et une électrode de référence à potentiel constant. Sa mesure permet une meilleure compréhension des phénomènes intervenant au cours de l'évolution de milieux interdépendants comme l'eau et les sédiments. Il est recommandé de faire

cette mesure *in situ* afin de ne pas modifier les équilibres ioniques suite au transport de l'échantillon, ou encore à son séjour en flacon.

Tableau 3 : Analyses spécifiques

	Références au guide	Paramètres	Commentaires
Temporalité réduite			
	AT4 Fiches C18 à C20	Teneur en éléments métalliques : cadmium, chrome, plomb, mercure et arsenic.	Parmi les 16 métaux les plus présents dans les sédiments, les 5 cités sont les plus toxiques
	AT4 Fiche C14	Hydrocarbures totaux	Avec les métaux, polluants les plus courants
Contexte d'étude			
Contexte agricole	AT4 Fiche C2	Teneur en azote (NTK)	Indicateur des traitements phytosanitaires excédentaires Le guide d'enquête doit permettre la sélection des phytosanitaires les plus probables
	AT 4 Fiche C28	Teneur en Phosphates (P_2O_5)	
	AT 4 fiches C23 et C24	Pesticides	
	AT4 Fiches C18 et C19	cadmium, plomb, mercure et zinc	Cd et Pb sont marqueurs d'herbicides, Hg et Zn sont marqueurs d'insecticides
Contexte industriel & urbain	AT4 Fiches C18	Bilan 16 métaux	.A terme, le nombre de métaux testés pourra être restreint
	AT0 Fiche E AT4 Fiches B et C	Paramètre spécifique en fonction de l'activité de production	
Type de milieu			
Cours d'eau non navigable	AT0 Fiche E AT4 Fiches B et C	Selon contexte environnemental et usage du site	
Cours d'eau navigable	AT4 Fiche C14	Hydrocarbures	Polluants liés aux embarcations (carburant, graisse, huile, peinture, etc.)
	AT4 Fiche C13	HAP	
	AT4 Fiche C18	8 métaux	
Lac naturel	AT4 Fiche C18	Teneur en phosphore	Marqueur d'eutrophisation
	AT 4 Fiche C21	Teneur en nitrates	
	AT0 Fiche E AT4 Fiches B et C	Selon contexte environnemental et usage du site	
Usage du site			
Eau potable	-	Bactériologie	Référence normative
	AT4 Fiche C6	Chlore	
Loisirs et sport	AT4 Fiche C18	Zinc	Concerne la pêche
	AT 4 Fiche C26	Chlorophénols	
	-	Bactériologie	
Aquaculture			Référence normative
Navigation	AT4 Fiche C14	Hydrocarbures	Polluants liés aux embarcations (carburant, graisse, huile, peinture, etc.)
	AT4 Fiche C13	HAP	
	AT4 Fiche C18	8 métaux	

NB : A titre indicatif, le **prix unitaire** d'un "bilan sédiment" comprenant l'analyse de la matière sèche, la perte au feu, la granulomètrie, le bilan 8 métaux, les HCT, HAP, PCB et OCB, est de 2100 Fr HT, soit 320 euros.

- Les **chlorophénols** altèrent le goût des parties comestibles des poissons à des concentrations inférieures à celles auxquelles ils deviennent toxiques pour les organismes aquatiques. Valeurs variables selon les poissons.

- Des données de toxicité aiguë montrent que le pentachlorophénol est beaucoup plus toxique à pH acide qu'alcalin. La toxicité pourrait aussi augmenter avec la température.

- Le taux d'adsorption du **cadmium** par les plantes dépend du type de matrice et de la concentration en d'autres éléments comme le cuivre et le zinc. L'adsorption augmente avec l'acidité, mais est inhibée par des teneurs élevées en argiles et en matières organiques. Toxique pour les plantes à cause de sa ressemblance avec le zinc, élément essentiel à la croissance des plantes, le cadmium peut perturber le métabolisme.

L'ensemble des paramètres repris dans ce chapitre est explicité dans les annexes physico-chimiques AT4.

Notons que dans ce volet, l'objectif n'est pas de voir si la qualité des sédiments est suffisante pour ne pas induire de risque en fonction de l'usage du site. Autrement dit, l'objectif n'est pas, par exemple, de produire les analyses permettant de conclure à la possibilité d'épandre les produits de curage ou non.

L'objectif est de détecter une éventuelle anomalie qualitative en analysant les paramètres les plus probables dans la zone étudiée.

5.2.3 Réalisation du CS PC

5.2.3.1 Fréquence de réalisation

Dans la littérature, les périodicités préconisées pour la caractérisation physico-chimique du sédiment sont souvent de 2 ans (Agence de l'Eau, par exemple) ou de 3 ans (VNF, par exemple).
Afin de pouvoir réaliser la même année, le volet CS K et CS PC, la fréquence de réalisation de ce volet CS PC proposée est de **trois ans,** en ce qui concerne **les analyses de routine**.

En ce qui concerne les **analyses spécifiques**, il est proposé de les réaliser :

- **tous les 6 ans**, si aucun facteur ne les déclenche auparavant,
- dès qu'une anomalie est constatée lors des analyses de routine,
- dès qu'une anomalie du volet CS BIO est constatée, même si les analyses de routine sont satisfaisantes,
- si les résultats des analyses spécifiques étaient insatisfaisants l'année précédente (surveillance).

Pour que les prélèvements soient plus aisément réalisés, la période de l'année préconisée est celle où le débit des cours d'eau est le plus faible, c'est-à-dire en période d'étiage.

5.2.3.2 Stratégie et outils de prélèvement

Les caractéristiques du milieu à prélever, en l'occurrence la nature du sédiment et la profondeur, conditionnent le choix du type d'engin de prélèvement. Actuellement, la majorité des opérateurs du RNB utilise des dragues à main, développées sur le modèle du CEMAGREF (cf. annexes techniques AT2 fiche C3-1), pour des profondeurs de sédiments n'excédant pas 5 m au-dessous du niveau de l'eau. Le carottier est peu utilisé et les écopes sont préférentiellement employées sur les cours d'eau à régime torrentiel.

L'annexe technique AT2 donne de manière indicative, les préleveurs à utiliser en fonction de la profondeur et de la nature du sédiment. Bien entendu, d'autres caractéristiques du sédiment, comme le débit ou l'hétérogénéité de la matrice, sont à prendre en compte dans ce choix.

Comme pour le CS K, le CS PC prévoit le prélèvement de la colonne complète de sédiment. L'emplacement des prélèvements pourra être affiner grâce aux données bathymétriques du CS K.

De manière générale, les prélèvements doivent préférablement être effectués en amont et en aval d'une source de pollution potentielle.

De même, il est préférable de prélever dans les zones à faible régime hydrologique. En effet, ces zones favorisent le dépôt des particules fines sur lesquelles les polluants sont préférentiellement fixés.

En ce qui concerne les analyses spécifiques, le prélèvement stratifié (avec un échantillonnage adapté) est recommandé. Il permet d'acquérir des informations sur la distribution ou la répartition verticale de la pollution et/ou sur la mobilité des polluants.

Après le prélèvement, l'élimination des parties grossières peut être effectuée soit par tamisage, soit à la main. Avant ou après le tamisage, une homogénéisation de l'échantillon est recommandée (brassage à la main gantée, brassage à la spatule en bois ou en polyéthylène ou à la truelle).

Les stratégies de prélèvement sont plus précisément décrites dans les annexes techniques AT2, fiches B1 à B4.

5.2.3.3 Stratégie et outils d'échantillonnage

Les outils et stratégies d'échantillonnage sont précisément décrites en annexes techniques AT3.

Les échantillons de sédiments doivent être, dans la mesure du possible, représentatifs de la distribution horizontale et verticale.

Le nombre minimal d'échantillon à prélever peut suivre le tableau suivant, pour les cours d'eau navigables (VNF, guide d'intervention, 1998).

Tableau 4 : Estimation du nombre d'échantillons à prélever en fonction du volume de sédiments présents.

	Volume de sédiment estimé	**Nombre d'échantillons minimaux représentatifs**
Milieu rural		
	< 25 000 m^3	1 échantillon par 10 000 m^3
	25 000 m^3< X < 60 000 m^3	3 échantillons
	> 60 000 m^3	1 échantillon par 20 000 m^3
Milieu urbain ou industriel		
	< 25 000 m^3	1 échantillon par 5 000 m^3
	25 000 m^3< X < 60 000 m^3	3 échantillons
	> 60 000 m^3	1 échantillon par 10 000 m^3

5.3 QUALITE BIOLOGIQUE DU SEDIMENT : LE CS BIO

5.3.1 De la nécessité de faire du biologique

Pendant longtemps, la qualité de l'eau et des sédiments a été estimée grâce à des analyses physico-chimiques. Il est alors logique, que la grande majorité des personnes concernées par ces sujets, des riverains aux décideurs, se posent la question de la nécessité des analyses biologiques.

Celles-ci sont fondamentales car elles interprètent les analyses physico-chimiques.

Par exemple, une analyse physico-chimique permet de dire : un sédiment est contaminé à X mg/kg de mercure. Cette donnée seule n'est pas explicite et ne procure pas une aide à la décision.

Par contre, si l'on sait, après avoir fait une analyse biologique qu'un sédiment contaminé entraîne la diminution du nombre d'oligochètes et qu'un test écotoxicologique démontre que X mg/kg de mercure entraîne la mort de Y% des poissons du cours d'eau, il est alors possible de dire que X mg/kg de mercure dans un sédiment :

- est toxique pour l'écosystème,
- doit provoquer la mise en place d'une action corrective sur le cours d'eau.

En résumé, alors que les analyses physico-chimiques apportent des informations qualitatives et quantitatives, les données biologiques nous renseignent plutôt sur les risques et les transferts des polluants dans les sédiments.

D'autre part, comme il a été signalé lors du séminaire : Evaluation de l'écotoxicité d'effluents et d'autres milieux (Agence de l'Eau Artois-Picardie) : «*Les analyses biologiques donnent l'assurance de ne pas être passé à coté d'un polluant, tout simplement parce que l'on ne l'aurait pas cherché* ».

Convaincus de la nécessité d'apporter des informations de nature biologique pour l'estimation de la qualité des sédiments dans le cadre de la surveillance des sédiments, nous proposons, ci-après, un protocole d'évaluation de la qualité biologique des sédiments : le CS BIO.

5.3.2 Les objectifs du CS BIO

Le CS BIO aura pour objectif :

- de démontrer la présence d'un polluant éventuel, non détecté par les analyses physico-chimiques,
- d'évaluer l'intégrité biologique du sédiment, c'est-à-dire d'estimer l'impact global de cette matrice sur le reste de l'écosystème,
- d'évaluer le lien entre les déséquilibres biologiques éventuels et les contaminants (pullulation d'une espèce, état sanitaire des organismes, disparition d'espèces polluo-sensibles).

La caractérisation biologique du sédiment peut être menée de manière prospective ou rétrospective, les deux aspects pouvant être dans certains cas abordés dans la même étude. Par exemple, on peut utiliser ce type de démarche pour constater et identifier la cause de déclin d'une population, et aussi pour évaluer les effets des mesures correctives.

5.3.3 Données à recueillir

A l'instar du **CS PC**, le **CS BIO** peut s'appuyer sur une phase d'analyses classiques (tests biologiques, faciles à mettre en œuvre, peu chers) et une phase d'analyses spécifiques (tests écotoxicologiques, plus coûteux) qui ne seront pas réalisés systématiquement.

Les **méthodes biologiques,** déjà élaborées ou bien avancées, sont basées sur l'examen de différents groupes d'organismes végétaux et animaux ainsi que sur le fonctionnement global de l'écosystème.

Les **tests écotoxicologiques** seront effectués, si nécessaire, pour préciser le ou les polluants responsables de la dégradation, détectés par les tests biologiques ainsi que les concentrations à partir desquelles ces polluants induisent un risque pour l'écosystème.

5.3.3.1 Les analyses biologiques

L'information de base est apportée par les invertébrés benthiques, inventoriés de façon systématique en France depuis 20 à 30 ans. Des normes de prélèvements en fonction de la nature du substrat sont d'ailleurs établies (NF EN 27828 ; NF EN 28265 ; NF EN ISO 9391, Cf. annexes techniques AT5 relatives à la caractérisation biologique).

L'indice oligochète de bio-indication des sédiments (IOBS, Rosso, 1995) semble être, à l'heure actuelle, le mieux adapté à la caractérisation des sédiments. Il a pour principe d'étudier la qualité des sédiments et l'incidence des micropolluants à partir de la composition qualitative et quantitative des peuplements oligochètes (détails du test voir AT5 fiche E1).

Ce test biologique peut être accompagné de relevés de terrain (flore, qualité piscicole, par exemple) constituant des indices de la qualité de l'écosystème.

En fonction des résultats obtenus, et selon la même charte que pour le SEQ EAU, nous pourront déterminer 5 catégories de qualité pour les sédiments :

Tableau 5: Proposition des 5 catégories de qualité des sédiments

1	Très bonne
2	Bonne
3	Moyenne
4	Médiocre
5	Mauvaise

5.3.3.2 Les tests écotoxicologiques

Sur les sites où les analyses biologiques révèlent une médiocre ou une mauvaise qualité biologique du sédiment, nous proposons de préciser la nature des perturbations par une batterie de tests écotoxicologiques *ex-situ* de manière à isoler l'effet des polluants de celui des autres agents de stress éventuels. Cela permettrait aussi d'isoler le facteur contaminant à limiter ou à supprimer en premier lieu (nitrates, polluants métalliques, etc.).

Bien qu'au niveau national, aucune méthodologie ne soit clairement établie en ce qui concerne la caractérisation écotoxicologique du sédiment, les points suivants sont classiquement acceptés :

- Il est préférable d'effectuer une batterie de tests plutôt qu'un seul test,
- Certains tests sont peu pratiqués. Du fait du manque de données, leurs résultats, sont souvent difficilement interprétés. Il est donc préférable d'utiliser des tests normalisés et reconnus.
- En fonction du type de contamination, deux stratégies d'analyses sont possibles :

  Si le site est contaminé par **peu de polluants**, la stratégie la plus adéquate d'évaluation du danger est dite "stratégie par substance". Elle consiste, suite à l'isolement des différents toxiques du sol, à déterminer les concentrations de polluants sans effets prévisibles (PNEC) pour chacune des substances dans les différents niveaux trophiques et les différents niveaux d'organisation des écosystèmes (individu, population, communauté).

  Si le site est contaminé par **plusieurs types de contaminants**, la "stratégie par matrice" est préférable. Elle consiste à effectuer des tests écotoxicologiques sur la phase solide **et** la phase liquide de la matrice (sédiments, sols). Ainsi, des tests de toxicité aiguë sont effectués pour mesurer les effets à court terme, des tests de toxicité chronique et/ou de génotoxicité (mutations ou des malformations génétiques de l'organisme susceptibles d'être induites) sont pratiqués pour les effets des polluants à moyen et long terme. Cette stratégie a l'avantage de prendre en compte les synergies entre les différents polluants.

- En fonction du nombre et du type de test effectué, on applique aux résultats, un facteur de sécurité.

Les facteurs de sécurité classiquement appliqués sont les suivants :

Type de donnée	**Facteur d'incertitude (*)**
3 données de toxicité aiguë sur 3 niveaux trophiques différents	100
1 donnée de toxicité chronique sur l'espèce la plus sensible en aiguë	50
2 données de toxicité chronique	10

(Source : Etude Détaillée des Risques écotoxicologique – Document provisoire d'encadrement – INERIS – ADEME – BRGM – CEMAGREF)

Prenant en compte ces remarques, nous proposons les tests suivants qui permettent une caractérisation écotoxicologique à **court terme** et à **long terme** des sédiments, intégrant **plusieurs niveaux trophiques.**

	Toxicité	**Intitulé**	**Normes**	**Coût (€)**	**Coût (F)**
Eau interstitielle	Ai	Essai Daphnie	NFT 90-301	229	1 500
	Ai	Microtox	NF T 90-320	214	1 400
Sédiment brut	C	Inhibition de la croissance algale	NF T 90-360Pr	640	4 200
	C	Bioaccumulation chez les oligocétes	-	-	-

facteur d'incertitude = 10

Ai : Test aigu ; C : Test chronique

Des tests écotoxicologiques complémentaires sont rassemblés dans l'annexe AT5. Une méthodologie complète et validée de caractérisation écotoxicologiques est aussi présentée. Il s'agit de l'approche TRIADE (cf. chapitre 4) dont des variantes sont utilisées en Europe. Celle-ci nous semble toutefois trop onéreuse pour être appliquée dans son intégralité dans le cadre de la surveillance des sédiments.

5.3.3.3 Les avantages propres à l'application du volet biologique

Pour les gestionnaires, l'utilisation de la méthode proposée ci-dessus procure deux avantages importants :

- La facilité de communiquer avec cet outil, facilement compréhensible de tous,
- La redondance de certains tests de ce volet avec le S.E.Q Bio des cours d'eau qui permet de ne pas faire l'ensemble des tests pour chaque matrice, eau et sédiment, et conduit donc à un gain de temps et une économie financière.

De plus, ce nouveau compartiment d'étude peut contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes de l'écosystème, difficiles à appréhender jusqu'à présent, et à terme, permettre de mieux adapter nos études en fonction de l'environnement naturel.

5.3.4 Réalisation du CS BIO

5.3.4.1 Fréquence de réalisation

Par souci d'homogénéité avec les deux volets précédents du CS, nous préconisons de réaliser le CS BIO tous les **trois ans**.

Toutefois, alors que la réalisation des tests écotoxicologiques en laboratoire peut avoir lieu toute l'année, les données biologiques sont sensibles au cycle saisonnier. Il est donc recommandé de procéder à deux campagnes par an, préférentiellement au printemps (développement de l'écosystème) et en automne (visibilité accrue des anomalies qualitative et/ou quantitative).

5.3.4.2 Stratégie et outils de prélèvement

Les outils de prélèvement utilisés ne sont pas spécifiques au volet biologique.

Par contre, le prélèvement, et donc la caractérisation biologique, sont préconisés sur les 30 premiers centimètres du sédiment. En deçà, l'anoxie crée des conditions peu propices à l'activité biologique.

En ce qui concerne les stratégies de prélèvements, elles sont détaillées pour les plans d'eau et les cours d'eau dans le cadre de la surveillance des sédiments en annexe technique AT2 (fiche A3 et fiches B).

5.3.4.3 Stratégie et outils d'échantillonnage

Les outils et stratégies d'échantillonnage sont précisément décrits en annexes techniques AT3.

6 INTERPRRETATION DES DONNEES

Les données résultantes de la méthode énoncée pourraient être exploitées et communiquées de la manière suivante :

➔ Lors de chaque réalisation des volets de CS, le rendu des données peut se faire sous forme de fiches, **pour chaque tronçon étudié**.

⇨ **Pour le CS K**

Ces fiches synthétiseraient les informations obtenues lors de l'étude du contexte environnemental et économique ainsi que les valeurs des paramètres précédemment décrits.

De manière à être plus expressive, une interprétation des données peut être effectuée et se traduire par une carte mentionnant un planning prévisionnel estimatif des actions à mener. Cette carte, devrait principalement intégrer le contexte économique et la vitesse de sédimentation du tronçon.

⇨ **Pour le CS PC**

Ces fiches synthétiseraient sous forme de tableaux les analyses de routine et les analyses spécifiques lors de leur réalisation.

Les résultats analytiques obtenus seront présentés sous forme de tableau permettant la comparaison avec les résultats obtenus dans les mêmes conditions de caractérisation pour un témoin(cf. annexes techniques AT0 fiche C) ou des valeurs guides (en cours d'élaboration).

A défaut de définition de valeurs guides applicables aux sédiments, la comparaison des résultats analytiques obtenus pour les échantillons de sédiments pourra être réalisée avec les valeurs de Source Sol (VDSS), proposées dans le guide de «Gestion des Sites (potentiellement) Pollués » du BRGM.

De manière à être plus expressive, une interprétation des données peut être effectuée et se traduire par une carte mentionnant un planning prévisionnel estimatif des actions à mener. Cette carte, pourrait intégrer principalement le **nombre de paramètres dépassant les valeurs de référence** et **l'importance du dépassement de la valeur de référence**.

⇨ **Pour le CS BIO**

Ces fiches synthétiseraient sous forme de tableaux les analyses biologiques et les analyses écotoxicologiques effectuées. Une interprétation des données pourra conclure.

La mise en place d'une cartographie de la qualité biologique, nous semble, compte tenu du manque de données, prématurée.

➔ En complément, tous les 9 ans (périodicité du volet fixée à trois ans), une **synthèse de ces fiches** peut être faite. Cette synthèse rassemblera les fiches de données, puis une synthèse devra montrer l'évolution au cours de la décennie de manière à avoir un historique du tronçon (dernier curage, évolution de l'usage du site, par exemple) et l'évolution des paramètres.

➔ Parallèlement, une **mise en interaction des tronçons** du cours d'eau pourra être effectuée de manière à permettre les prises de décision ou, l'observation des conséquences des actions correctives sur l'ensemble du cours d'eau. Sur ces fiches pourront aussi être définis des objectifs de qualité.

7 CONCLUSION

7.1 GENERALITES

Le but de la surveillance du compartiment sédimentaire étant de produire une méthodologie homogène sur le territoire, peu de variation en fonction des milieux sont remarquables.

Il est préconisé de réaliser les trois volets du CS simultanément de manière à mieux intégrer les informations de nature quantitative et qualitative de la colonne de sédiment étudiée.

La réalisation du **CS** préconisé permettrait la comparaison de données homogènes sur l'ensemble du territoire. L'obtention de ces données pourrait être facilitée par la mise en place d'un organisme centralisateur des fiches. Cette possibilité devra être évoquée ultérieurement.

7.2 INTERACTIONS ENTRE LE S.E.Q. EAU ET LE CS

Les trois volets du CS présentent des caractéristiques communes :

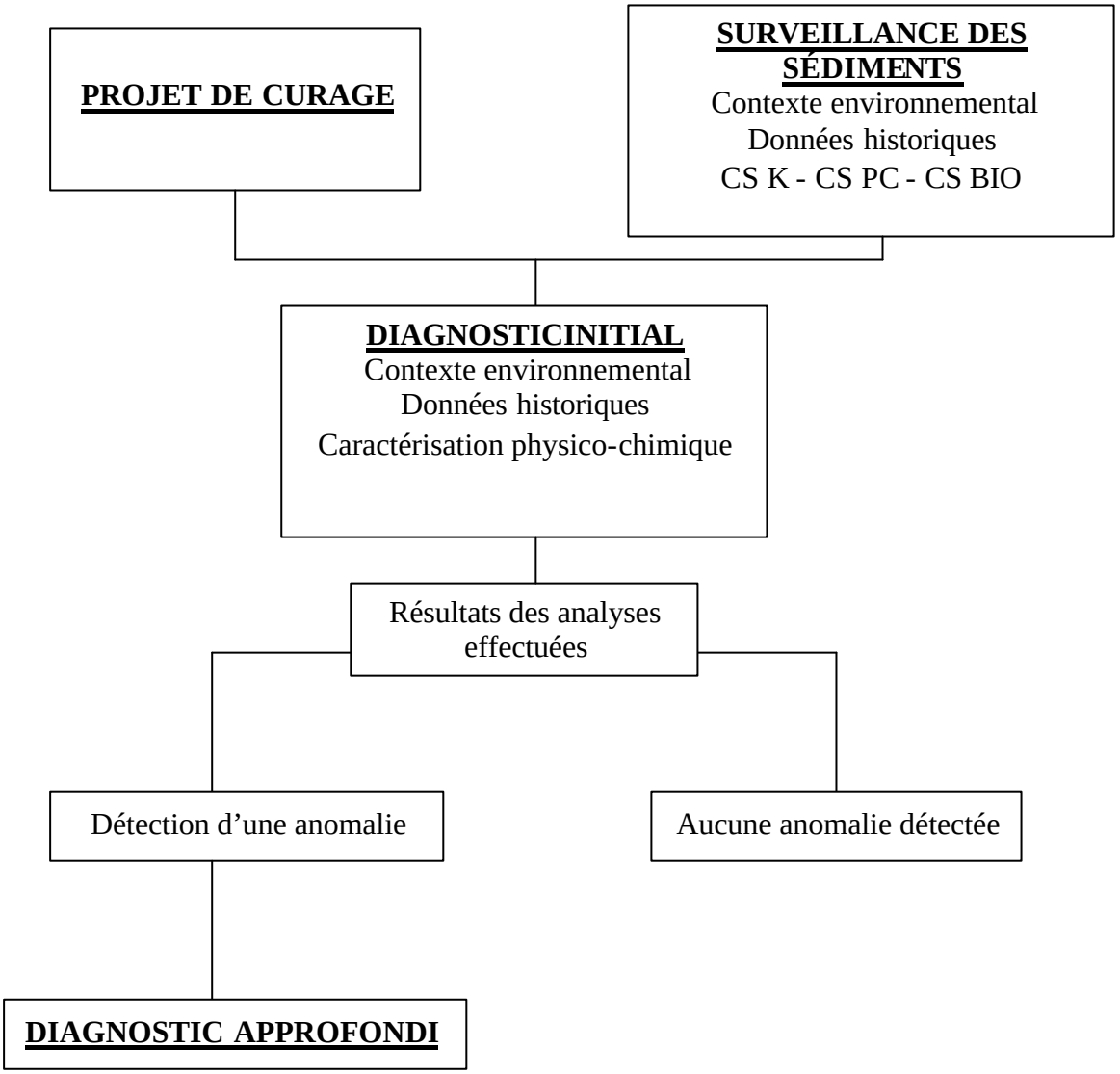
- Une approche par groupe de paramètres,
- Une souplesse du procédé permettant la prise en compte de la diversité des cours d'eau et de leurs spécificités régionales,
- Une agrégation des résultats à des échelles d'espace comparables.

Ces caractéristiques assurent la cohésion des trois volets mais aussi leur complémentarité. Le fait de calquer le.CS et le S.E.Q. Eau, qui fonctionne sur le même mode d'articulations, permet une évaluation synthétique de la qualité des cours d'eau par agrégations successives.

Les différents niveaux d'agrégation permettent :

- De rendre l'ensemble du système moins lourd, voire plus économique, en évitant les redondances analytiques. De plus, l'analyse d'un des deux compartiments permettra de limiter les tests généralement appliqués à l'autre compartiment. En effet, il y a de fortes chances, par exemple, que la nature de la contamination soit la même dans les deux matrices, seule la quantification du polluant diffère,
- De fournir des éléments d'interprétation de la qualité biologique du milieu,
- D'évaluer les transferts et plus généralement les interactions possibles entre les deux compartiments,
- D'évaluer la qualité écologique des cours d'eau en considérant les niveaux de qualité des éléments biotiques et abiotiques des hydrosystèmes,
- De faciliter la communication.

7.3 INTERACTIONS ENTRE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS ET LES OUTILS UTILISES EN PROJET DE CURAGE (DI & DA)



L'anomalie détectée par la surveillance des sédiments (suivi régulier) caractérise une vaste étendue de sédiment (échantillons moyens) à la différence du DI qui est susceptible de détecter des anomalies sur un secteur précis à un instant t, suite à une demande d'étude déclenchée par un des acteurs du site.
Néanmoins, les données récoltées au cours de la surveillance des sédiments sont suffisantes pour conclure, comme le DI, à la non-innocuité du site ce qui induit le déclenchement du DA

Autrement dit, la surveillance des sédiments et le diagnostic initial sont deux outils permettant d'évaluer rapidement la qualité d'un site. Ces outils sont tous deux susceptibles de déclencher un diagnostic approfondi. La différence principale entre eux est leur mode de déclenchement et l'échelle d'intervention (Zone et durée de l'étude).

Chapitre 3

Diagnostic Initial

SOMMAIRE DU CHAPITRE 3

1 INTRODUCTION 58

1.1 GENERALITES 58
1.2 OBJECTIFS DU DIAGNOSTIC INITIAL 60
1.3 LIMITES D'APPLICATION 60

2 PHASE A : ETUDE DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE 60

2.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 60
2.2 ANALYSE HISTORIQUE DU SITE 61
2.3 VISITE DU SITE 62
2.4 RAPPORT INTERMEDIAIRE D'ETAPE A 63

3 PHASE B : INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES 64

3.1 PROTOCOLE 64
3.2 OBJECTIFS 65
3.3 COMMENT PRELEVER ? 65
3.3.1 PRECAUTIONS PREALABLES 65
3.3.2 STRATEGIES DE PRELEVEMENT 66
3.3.3 LES OUTILS DE PRELEVEMENT 69
3.3.4 DU PRELEVEMENT A L'ECHANTILLONNAGE 69
3.4 COMMENT ECHANTILLONNER ? 69
3.4.1 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE 70
3.4.2 PRE-TRAITEMENT (SUR SITE) DES ECHANTILLONS DE SEDIMENTS 70
3.4.3 CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS DE SEDIMENTS 70
3.4.4 L'ACHEMINEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE D'ANALYSES 71
3.5 QUELLES ANALYSES PRATIQUER ? 71
3.5.1 CARACTERISATION PHYSIQUE 71
3.5.2 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE 71
3.5.3 CARACTERISATION BIOLOGIQUE 75
3.6 PRESENTATION DES RESULTATS 75

4 RAPPORT FINAL 76

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des informations relatives au contexte environnemental..... 61
Tableau 2 : Modèle de rapport type Etape A du diagnostic initial..... 63
Tableau 3 : Définition des différents types de stratégies de prélèvement 66
Tableau 4 : Sélection de méthodes permettant la localisation des points de prélèvement .. 68
Tableau 5 : Catégories d'engins de prélèvement..... 69
Tableau 6 : Présentation des stratégies d'échantillonnage 70
Tableau 7 : Analyses de routine préconisées dans le cadre du Diagnostic Initial..... 73

FIGURES

Figure 1 : Les différentes étapes du diagnostic initial..... 59

1 INTRODUCTION

1.1 GENERALITES

La méthodologie du Diagnostic Initial proposée dans ce chapitre constitue une étape primordiale de la caractérisation des sédiments. Cette démarche est déclenchée dans le cadre d'un Projet de curage, par l'acteur et le gestionnaire du curage. En effet, la caractérisation de la qualité des futurs matériaux curés est nécessaire au bon déroulement des opérations qui découleront du curage (mise en dépôt ou épandage des boues par exemple). Pour cela, une méthode de caractérisation homogène pour l'ensemble des situations rencontrées peut permettre une meilleure gestion des sédiments.

Deux situations sont alors envisageables :

- ✓ Le projet de curage, motivé par la détection d'une anomalie quantitative,
- ✓ Le projet de curage, motivé par la détection d'une anomalie qualitative.

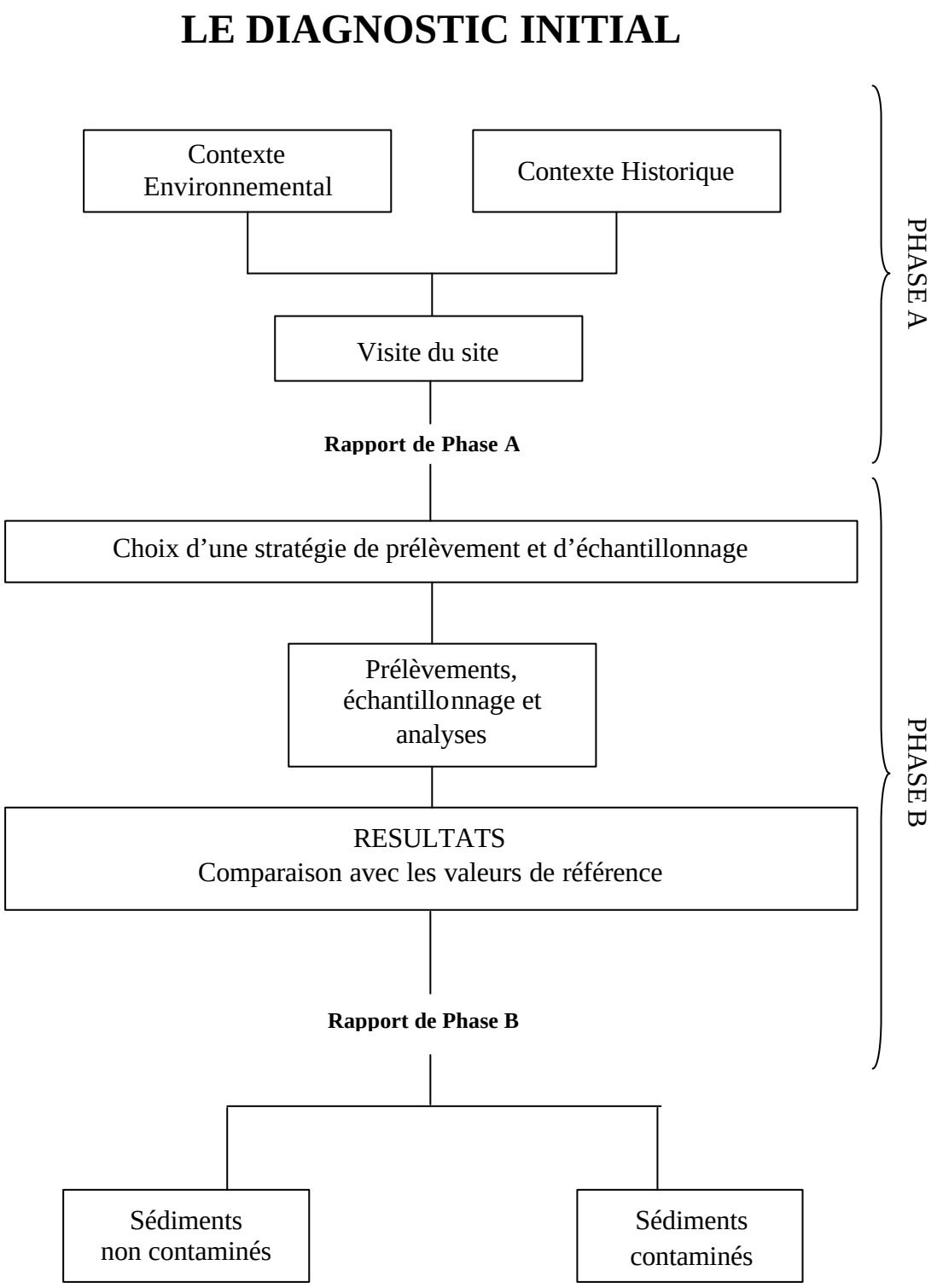
Dans les deux cas, le diagnostic s'applique de façon identique et permet, d'une part la caractérisation de la qualité des sédiments, et d'autre part l'évaluation des quantités de sédiments à curer.

Le Diagnostic Initial s'articule autour de deux étapes complémentaires, illustrées à la Figure 1 :

1. Une phase A, relative au contexte historique, documentaire et environnemental du site,
2. Une phase B, spécifique des investigations de terrain et comprenant le prélèvement, l'échantillonnage et l'analyse des sédiments.

Remarque : L'ensemble des données collectées lors du Diagnostic Initial est nécessaire à la caractérisation des sédiments, d'une part, et pourrait être utilisé pour la mise en œuvre de l'outil d'Evaluation Simplifiée des Risques (non développé dans le cadre de cette étude), d'autre part.

Figure 1 : Les différentes étapes du diagnostic initial



1.2 OBJECTIFS DU DIAGNOSTIC INITIAL

L'objectif du Diagnostic Initial est de **fournir une image instantanée de la qualité du sédiment**. Cette caractérisation permet d'envisager les investigations complémentaires à mener en fonction des situations (anomalie qualitative ou quantitative).

Cette étape de reconnaissance des sédiments permet donc de :

- Définir le degré de contamination des sédiments,
- Mieux évaluer les futurs travaux de terrain (notamment dans le cadre d'un curage),
- Orienter le devenir des matériaux extraits,
- Orienter le choix des mesures correctives à mettre en oeuvre.

1.3 LIMITES D'APPLICATION

Le protocole est applicable de manière générale à toutes les situations, et milieux, définis dans le cadre de cette étude, notamment au paragraphe 3.2. intitulé « Champ d'application» du chapitre premier.

Dans le cas où, suite à la réalisation d'un Diagnostic Initial, il serait constaté qu'il existe probablement une pollution sérieuse du sédiment, ce diagnostic peut motiver la réalisation d'un Diagnostic Approfondi. Dans ce cas, une stratégie analytique plus détaillée sera mise en place.

2 PHASE A : ETUDE DOCUMENTAIRE ET HISTORIQUE

L'étude du contexte environnemental et historique doit apporter une meilleure connaissance des polluants potentiellement présents dans la zone d'étude et adapter la méthodologie de caractérisation au site, notamment par une meilleure répartition des futurs points de prélèvement, une optimisation de la stratégie d'échantillonnage et une meilleure orientation dans le choix des analyses à pratiquer.

2.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

La collecte d'information sur le milieu naturel est une étape essentielle du Diagnostic Initial qui doit mettre en évidence la singularité du milieu afin d'y appliquer la stratégie la plus appropriée possible.

La collecte d'information est similaire quel que soit le milieu étudié. C'est pourquoi un tableau récapitulatif global est proposé en page suivante.

Ce tableau résume l'ensemble des données à collecter afin d'en extraire les informations qui permettront le choix de la stratégie d'étude optimale :

Tableau 1 : Liste des informations relatives au contexte environnemental

Données à recueillir	Informations apportées	Sources
Nature du site : cours d'eau (torrent, rivière en stress, rivière en lit peu mobile, rivière à méandre divaguant, etc.), fossé (bord de route, agricole, urbain, etc.), plan d'eau (lac, mare, étang, etc.), port.	Définition précise du cadre de l'étude.	Visite préalable du site, Système et base de données géographique
Qualité et nature du substratum : roche dure peu érodable ou facilement érodable, roche alluvionnaire, argiles, marnes, formations détritiques, …	Les alluvions constituent un manteau protecteur pour le substratum tendre. Cet aspect intervient donc dans le dimensionnement de l'épaisseur de matériau à curer, afin de ne pas modifier de façon irréversible le milieu.	Visite préalable du site. Consultation des cartes et documents disponibles en matière de Géologie (BRGM)
Granulométrie	Dimensionner les appareils de prélèvement de sédiments ainsi que les futurs engins de dragage	Prises de mesures ou consultation des données existantes
Le niveau de dynamique morpho-sédimentaire ou « respiration du lit » pour les cours d'eau	Evaluer l'épaisseur optimale de sédiment à prélever, tout en respectant le cycle naturel du cours d'eau	
Volume de sédiment présent	Dimensionner les futurs engins de dragage, et les zones de stockage des boues. Evaluer le volume de sédiment pollué.	Etude bathymétrique
Les affluents et confluents pour les cours d'eau, et de façon générale **les zones de rejet**.	Localiser les zones préférentielles de dépôt, de matériaux pollués ou non pollués.	Visite préalable du site
Le mode de transport des sédiments (actif ou inactif).	Evaluer l'impact potentiel d'un dragage sur la sédimentation (importante remise en suspension des matériaux,…)	

2.2 ANALYSE HISTORIQUE DU SITE

Cette étape correspond à la collecte d'informations concernant les transformations subies par le milieu. Cependant elle ne consiste pas à rechercher les caractères d'un équilibre naturel passé, et historiquement incertain.

Les sources d'informations disponibles lors de cette collecte sont multiples. De plus le type d'information à collecter peut varier en fonction des milieux étudiés. C'est pourquoi un inventaire des sources d'informations, et des données à collecter est proposé pour chaque type de milieu concerné par la réalisation d'un Diagnostic Initial. Ces listes sont consultables en Annexe AT0 (Groupe B).

Ces listes proposent un inventaire, le plus exhaustif possible, cependant certaines informations peuvent être tout à fait spécifiques à chaque cas étudié. Les rédacteurs du diagnostic sont donc inviter à tenir compte de tous les éléments utiles à l'étude.

D'une manière générale, l'étude documentaire du contexte historique doit permettre de retracer :

- Le caractère industriel ou urbain du site,
- L'occupation des sols (présence d'industrie, de points de rejets…) au voisinage de la zone concernée,
- L'utilisation actuelle et historique du site,
- La recherche des aménagements à l'origine de déversements,
- Campagnes préalables d'analyses ou toute autre étude antérieure (recherches bibliographiques).

2.3 VISITE DU SITE

Le but de la visite du site est de :

- Vérifier les données collectées,
- Identifier les futures contraintes, liées au prélèvement d'échantillons de sédiments,
- Réaliser un inventaire des activités qui constituent une menace potentielle pour le sédiment et qui n'ont pas été soulevées lors de l'étude historique,
- Décrire de façon détaillée l'état du site,
- Collecter toutes les informations supplémentaires susceptibles d'intéresser l'étude.

La visite du site constitue donc une étape obligatoire du diagnostic initial, car elle permet de vérifier les informations acquises au cours des étapes précédentes.

Cette visite doit donc être effectuée de préférence une fois l'inventaire terminé, de sorte que les endroits qui méritent une attention particulière soient connus.

La collecte d'informations lors de la visite du site peut être parfois difficile, tant le nombre de données est important. C'est pourquoi ce guide propose en Annexe technique AT0 un **guide d'enquête** regroupant l'ensemble des informations pertinentes à collecter.

2.4 RAPPORT INTERMEDIAIRE D'ETAPE A

Le rapport intermédiaire doit permettre de définir la future position des points de prélèvement qui permettront de caractériser chimiquement le sédiment.

Tableau 2 : Modèle de rapport type Etape A du diagnostic initial

I INTRODUCTION
- Cadre et objectifs de l'étude
- Contexte et nature du site d'étude

II SOURCES D'INFORMATION
- Données recherchées
- Sources utilisées

III CARACTERISTIQUES DU SITE
- Situation géographique
- Occupation des sols avoisinants (urbain, agricole ou industriel)
- Recherche des aménagements ou des caractéristiques morphologiques (affluents, confluents, caractéristiques hydrauliques) qui ont pu conduire à des déversements

IV CARACTERISTIQUES DU SEDIMENT EN PLACE
- Nature du sédiment et granulométrie
- Nature du substratum
- Mode de transport des sédiments

V ESTIMATION DU VOLUME DE SEDIMENT
- Méthode d'estimation quantitative choisie

VI IDENTIFICATION DES RISQUES
- Inventaire et description des sources de pollution
- Orientation vers la caractérisation chimique et biologique

VII MESURES D'URGENCE ET DE PREVENTION
- Hiérarchiser les opérations, notamment en cas de risque immédiat ou de danger déclaré

VIII CONCLUSIONS
- Synthèse des sources de pollution et de leur origine
- Localisation des zones privilégiées de dépôts sédimentaires
- Limites de l'étude documentaire PHASE A

IX RECOMMANDATIONS POUR LA PHASE B
- Stratégie de prélèvement
- Proposition de paramètres physico-chimiques
- Définition des mesures de sécurité

3 PHASE B : INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Suite à la réalisation d'une phase A, les informations récoltées permettent d'établir un plan de prélèvement pertinent. Ce dernier a pour objet d'effectuer un échantillonnage et des analyses qui mettront en évidence ou non la présence d'une contamination. Ce stade de l'étude est donc critique. En effet de la justesse du choix de la stratégie dépendra la validité des résultats obtenus.

3.1 PROTOCOLE

Le choix d'une stratégie est le résultat de l'interprétation et de l'analyse de l'ensemble des données récoltées au cours de la phase A. Elle permet l'articulation de la phase B autour de quatre grands axes :

1. **La définition d'une stratégie de prélèvement,**
2. **La définition d'une stratégie d'échantillonnage,**
3. **Le choix des analyses,**
4. **La description des résultats analytiques et leur interprétation.**

REMARQUE : Dans le cas où un examen du sédiment aurait déjà été réalisé dans un passé récent, la qualité de l'information souhaitée pour le Diagnostic Initial peut être atteinte au moyen d'une prise d'échantillons restreinte et complémentaire de ces investigations précédentes. Pour cela, il semble cependant important que certaines conditions soient remplies :

- L'ancienneté des analyses est au moins inférieure à 5 ans (Réf : Guide VNF),
- Les analyses ont été effectuées au droit des zones considérées comme potentiellement polluées,
- Les conditions de prélèvement et d'échantillonnage ont été respectées.

Si un doute existe sur l'une de ces trois conditions, il semble alors nécessaire de réaliser une campagne complète de prélèvement et d'analyses.

3.2 OBJECTIFS

La phase d'investigation complémentaire permet, par le prélèvement et l'analyse d'un nombre restreint d'échantillons de sédiment :

- de vérifier la justesse des informations récoltées lors de l'étape précédente,
- de mettre en évidence la présence ou non de sédiments contaminés,
- de cartographier la répartition des polluants,
- d'évaluer les risques liés à un futur curage,
- d'envisager les opérations complémentaires à mener.

3.3 COMMENT PRELEVER ?

3.3.1 Précautions préalables

La stratégie de prélèvement conditionne la représentativité et la justesse des informations qui sont collectées lors des investigations de terrain, notamment concernant l'interprétation et les opérations qui en découlent.

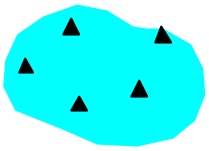
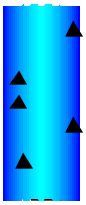
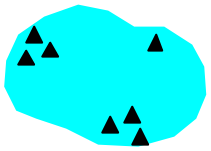
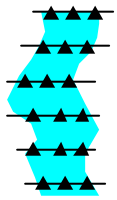
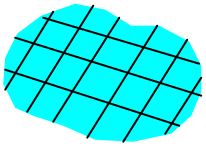
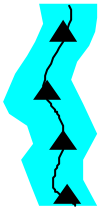
En conséquence, préalablement à la définition d'une stratégie de prélèvement, il est conseillé de prendre en compte les éléments suivants :

- L'épaisseur de la couche ou des couches à prélever (Annexes Techniques AT0),
- La distribution dans l'espace des prélèvements, et la densité des prélèvements,
- L'éventuelle subdivision en sites partiels,
- La nécessité de prélever au niveau de points particuliers (amont des plans d'eau, amont et aval des zones de rejet, des affluents des confluents, zones polluées connues) et au niveau des zones d'accumulation préférentielles,
- Le tri granulométrique qui s'opère en amont et en aval des plans d'eau,
- L'accessibilité des points de prélèvements,
- La localisation des points de prélèvement sur une carte,
- Le nombre d'échantillons à analyser et l'élaboration d'échantillons composites,
- Les paramètres physico-chimiques à analyser,
- Les contraintes sociales, économiques, et environnementales.

3.3.2 Stratégies de prélèvement

Quatre stratégies « types » sont couramment utilisées. Les protocoles de ces méthodes sont décrits de manière détaillée dans les Annexes Techniques AT2, Fiches B. Elles sont définies succinctement dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Définition des différents types de stratégies de prélèvement

MILIEUX		DEFINITION DES 4 TYPES DE STRATEGIE DE PRELEVEMENT
linéaire	**non-linéaire**	
		**La méthode Aléatoire :** Elle consiste à effectuer des prélèvements de façon aléatoire sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette méthode implique que la zone étudiée soit de nature homogène.
		**La méthode de Jugement :** Cette méthode consiste à effectuer les prélèvements de façon précise au droit des zones considérées comme pertinentes pour l'étude (zone d'accumulation de sédiments, zones de rejets ou d'arrivée d'un effluent, amont/aval d'un point particulier,…) déterminées au cours de la phase A.
		**La méthode du Maillage** : Cette méthode consiste à répartir les points de prélèvement de façon régulière et homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. La taille de la maille est définie selon les contraintes techniques et financières propres à chaque étude. Pour un cours d'eau, le maillage consiste à effectuer au moins trois prélèvements tous les x mètres : rive gauche, rive droite, et centre.
	Non concerné	**La méthode du Profil en long** : Cette stratégie est exclusivement utilisée dans le cas des cours d'eau de faible largeur. Il s'agit d'effectuer un prélèvement tous les x mètres le long du cours d'eau.

Le choix de la stratégie de prélèvement dépend du type de milieu (cours d'eau ou plan d'eau) et du cadre d'action dans lequel s'effectue la caractérisation (anomalie qualitative ou quantitative).

Plusieurs diagrammes d'aide à la décision sont proposés en Annexes Techniques AT2, Fiches A Ces schémas ont pour objet d'orienter les gestionnaires vers une stratégie la mieux adaptée possible au milieu et au contexte de l'étude.

Selon les objectifs fixés par le DI et dans le cas de situations complexes, les stratégies proposées pourront être utilisées comme indicateur initial de la démarche à suivre et devront faire l'objet d'adaptation spécifique par l'opérateur. A ce titre, la stratégie finale et les arguments justificatifs des choix effectués devront être clairement explicités et consignés dans le rapport terminal de phase B.

En outre la localisation des points de prélèvement effectivement réalisés doit être déterminé avec la précision souhaitable pour le diagnostic concerné. Elle peut se faire par exemple avec des systèmes de positionnement de haute technologie ou avec des instruments d'arpenteur ou de visée.

D'autres méthodes de **répartition des points de prélèvement**, basées sur des modèles plus élaborés, existent. Le tableau suivant propose une sélection de ces méthodes. Leur description y est succincte, il est donc conseillé de se reporter aux références indiquées pour les employer.

Tableau 4 : Sélection de méthodes permettant la localisation des points de prélèvement

Stratégie	Référence	Domaine d'application	Explications	Commentaires
Procédure d'échantillonnage	Guide méthodologique « enlèvement des sédiments » (Faut-il curer ?), 1998, Agence de l'eau Artois Picardie, Pôle de Compétence	Cours d'eau	1. Le site est découpé en un nombre de cases n, fonction de sa longueur et de sa largeur, 2. Un point de prélèvement est réalisé de manière aléatoire dans chaque case.	Ne tient pas compte des volumes de sédiment présent Ne tient pas compte du tri granulométrique qui s'opère en amont et en aval du plan d'eau, Ne tient pas compte des zones de sédimentation privilégiées.
Méthode de prélèvement aléatoire	Ronchon & Chevalier, 1987	Plan d'eau	1. Le plan d'eau est découpé en blocs de superficie égale, 2. Les blocs échantillonnés sont sélectionnés au hasard au moyen d'une table de nombre aléatoire, 3. Le nombre d'échantillon à prélever dans ces blocs est ensuite calculé en fonction du volume de sédiments présents.	
Méthode hollandaise	NVN 5720	Plan d'eau et cours d'eau	1. Les sites sont quadrillés selon une grille régulière, 2. Le nombre d'échantillons par tronçon est calculé à l'aide d'un tableau de correspondance, tenant compte de la longueur et de largeur du cours d'eau ou de la superficie du plan d'eau.	
Méthode Statistique	« ODCA Sampling, Project U 390 » Atkinson, 1985	Plan d'eau, et Cours d'eau	1. Le site est divisé en blocs d'échantillonnages de même superficie, 2. Le nombre d'échantillon à prélever est établi à l'aide du tableau modifié par Atkinson en 1985.	Tient compte des profondeurs de dragage variables, et donc de la topographie du fond.

3.3.3 Les outils de prélèvement

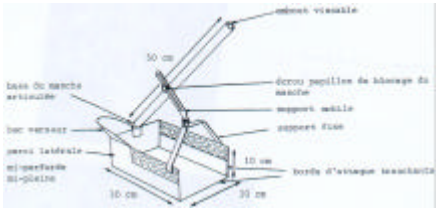
Plusieurs méthodes permettent le prélèvement de sédiments de cours d'eau ou de plan d'eau.

Ces appareils varient sur de nombreux critères, entre autre :

- La facilité de manipulation,
- La profondeur d'utilisation,
- L'épaisseur prélevée.

L'éventail des engins existant étant large, un inventaire de ces appareils est proposé dans les Annexes techniques, AT2, Fiches C selon trois groupes d'appareils, actuellement disponibles sur le marché :

Tableau 5 : Catégories d'engins de prélèvement

Bennes	Dragues	Carottiers
		

3.3.4 Du prélèvement à l'échantillonnage

Il est recommandé de noter avec précision les conditions de prélèvement, et d'échantillonnage rencontrées lors des investigations de terrain. Ces informations permettent une meilleure compréhension des futurs résultats analytiques, et donc une meilleure interprétation de ces derniers. Un guide de terrain est proposé en Annexe AT2, Groupe D pour orienter cette démarche, qui peut apparaître complexe dans le cas de modes d'échantillonnage variés, par exemple.

3.4 COMMENT ECHANTILLONNER ?

L'échantillonnage est une partie critique du diagnostic initial. En effet, il détermine le type d'informations qui sera disponible après l'analyse (informations générales, ou ponctuelles).

3.4.1 Stratégie d'échantillonnage

On distingue trois grands groupes décrit dans le tableau suivant de façon succincte :

Tableau 6 : Présentation des stratégies d'échantillonnage

Méthodes	Principes	Avantages	Inconvénients
Echantillonnage composite	Mélange de plusieurs prélèvements effectués à des emplacements différents. Il peut s'agir de prélèvements en surface ou en profondeur	Permet une caractérisation du sédiment sur une zone dans sa globalité	Ne permet pas de distinguer les zones de pollution
Echantillonnage ponctuel moyen	A partir d'un prélèvement ponctuel, toute la hauteur de sédiment est prélevée, et un échantillon est confectionné.	Permet une caractérisation ponctuelle du sédiment, et donc une localisation des zones polluées	Ne permet pas de distinguer la section de sédiment qui est effectivement polluée.
Echantillonnage séquentiel	A partir d'un prélèvement ponctuel, seul une zone précise de la colonne de sédiment est échantillonnée	Permet une caractérisation de la colonne de sédiment, et donc une localisation précise des zones polluées	Se type d'échantillonnage nécessite un investissement financier particulièrement important puisqu'il implique la réalisation d'un grand nombre d'échantillons et donc d'analyses.

Ces stratégies, exposées de façon détaillée en Annexe Technique AT3, peuvent être modulées et combinées en fonction du type d'information souhaité.

3.4.2 Pré-traitement (sur site) des échantillons de sédiments

La stabilisation ou le pré-traitement des échantillons de sédiments est fonction des objectifs de caractérisation recherchés et dépend des paramètres analytiques devant être déterminés.

Ces recommandations sont, en général, formulées par les laboratoires d'analyses, sur demande de l'opérateur.

Un inventaire descriptif des différentes techniques recensées est proposé en annexes techniques AT3.

3.4.3 Conditionnement des échantillons de sédiments

Les méthodes de conditionnement retenues par les laboratoires agréés sont consignées dans les annexes techniques AT3.

L'opérateur est vivement invité à contacter le laboratoire qui fournira les flacons et proposera son protocole de conditionnement en fonction des paramètres analytiques.

3.4.4 L'acheminement des échantillons au laboratoire d'analyses

Le délai recommandé pour la réception des échantillons en laboratoire est compris entre 24 et 48h. Toutefois, il est fortement recommandé de réduire au maximum le temps entre la prise d'échantillon et la réception afin de garantir la conservation.

3.5 QUELLES ANALYSES PRATIQUER ?

Les analyses à réaliser sur le sédiment sont déterminées en grande partie grâce aux conclusions de la Phase A du Diagnostic Initial. En effet, au terme de cette phase, les polluants potentiellement présents dans le sédiment ont été listés et peuvent donc être analysés au cours de la Phase B.

Cependant, il est impératif de proposer un certain nombre d'analyses dites « de routine » pour les raisons suivantes :

- Soit le sédiment est supposé sain au terme de la phase A. Dans ce cas, un certain nombre d'analyses de routine s'impose afin de vérifier cette hypothèse.

- Soit le sédiment est supposé pollué par des produits précis. Dans ce cas, les analyses de routine permettent de comparer les résultats entre eux et à un éventuel «témoin » (Cf. annexes techniques AT0). De plus, elles fournissent une image globale de la qualité du sédiment.

3.5.1 Caractérisation Physique

La caractérisation physique des sédiments (teneur en eau, granulométrie, densité, etc.) a pour objectif de :

- Décrire et définir la nature du sédiment,
- Apprécier la résistance mécanique,
- Orienter le choix des outils et méthodes de curage,
- Evaluer le comportement du sédiment après extraction,
- Anticiper sur le devenir des sédiments extraits.

3.5.2 Caractérisation chimique

La caractérisation chimique des sédiments a pour principal objectif de vérifier la présence ou l'absence de substances indésirables.

Au stade du diagnostic initial, il est souhaitable de pratiquer des analyses de quantification globale sur le sédiment brut.

Le tableau de la page suivante propose une série d'analyses physiques et chimiques de routine dans le cadre du Diagnostic Initial, dont les méthodes analytiques pratiquées en laboratoire sont décrites dans l'annexe technique AT4 Fiche C.

Certains paramètres à mesurer sur site ou en laboratoires renseignent sur les perturbations éventuelles des équilibres ioniques suite au transport de l'échantillon, ou encore à son séjour en flacon sont les suivants :

- Le **pH** permet d'évaluer le caractère acide ou basique d'une eau. En général, l'acidification (pH <5) conduit à la solubilisation du fer, manganèse, aluminium et d'autres métaux. Pour cette mesure, il est envisagé de suivre le protocole énoncé dans la norme NF T 90-008.

- Le **potentiel oxydo-réducteur** permet une meilleure compréhension des phénomènes pouvant intervenir au cours de l'évolution de milieux aussi interdépendants que l'eau et les sédiments.

- La **granulométrie** intervient dans la détermination du type d'engins de prélèvement à utiliser, et oriente éventuellement le choix de la méthode de dragage et de la future utilisation des sédiments curés.

- La **matière organique** intervient dans le calcul de correction des résultats fournis par les analyses en Hydrocarbures par Infrarouge.

- Les **hydrocarbures** et les **métaux lourds** sont les polluants les plus répandus dans les sédiments. C'est pourquoi leur analyse de manière automatique, quel que soit le milieu est proposé dans le cadre du Diagnostic Initial.

- La **valeur Agronomique** permet de fournir une image de la valeur nutritive d'un sédiment. Valeur qui pourra être utilisée par la suite pour estimer du devenir des matériaux curés ou, plus tard dans le cadre des Evaluations Détaillées des Risques.

En complément de ces analyses de routine qui sont considérées comme un minimum indispensable à la caractérisation des sédiments dans le cadre du DI, d'autres analyses peuvent être nécessaires lorsque l'objectif du DI est le projet de curage. Parmi ces paramètres, on note :

- La **vitesse de sédimentation** qui informe sur les potentielles conséquences d'un dragage et donc la remise en suspension d'une partie des sédiments.

- Les **tests de ressuyage** qui permettent d'évaluer le pouvoir polluant du sédiment une fois extrait du cours d'eau ou du plan d'eau, et stocké.

Ces tests qui ne sont pas standardisés restent marginaux et peu pratiqués par les laboratoires. Cependant les informations apportées par ce type de tests pourraient aider l'orientation des travaux pour la future mise en dépôt des sédiments et éventuellement éviter une pollution additionnelle au sein de milieux sensibles.

Les analyses préconisées en routine ci-dessous constituent une base de travail pour les acteurs du curage. L'étude historique et le cadre spécifique de chaque site peuvent amener les acteurs à limiter le nombre d'analyse à certaines substances seulement. Ce choix devra être justifié dans le rapport final.

Tableau 7 : Analyses de routine préconisées dans le cadre du Diagnostic Initial

Paramètres	Référence au guide	Intérêt de l'information	Remarque
Analyses Physiques sur site			
pH	AT4, Fiche C22	Conditionne de nombreux équilibres chimiques (NH_4 en NH_3) ; Indicateur de l'activité biologique.	Concentration en ions H+ présents.
Température	-	Evaluation de la dissociation gazeuse de l'azote ammoniacale (NH_4) en azote toxique (NH_3) ;	mesure in situ
Potentiel d'oxydo-réduction	-	Connaître l'importance du pouvoir réducteur ou oxydant du milieu ; Evaluer le degré d'oxydation de certains ions.	Température, concentration en éléments présents, pH. mesure in situ
Analyses Physiques en laboratoire			
Granulométrie	AT4, Fiche C12	Dimension des particules de sédiment	
Matière Sèche	AT4, Fiche C17	Permet de connaître la teneur en eau de l'échantillon.	-
Matières organiques et oxydables	AT4, Fiche C16	Avoir une idée sur la richesse du milieu. Estimer le degré de chélation des métaux sur la matière organique.	-

Paramètres		Référence au guide	Intérêt de l'information	Remarque
Analyses Chimiques en laboratoire				
Hydrocarbures totaux par Infrarouge		AT4 Fiche C14 bis	Quantification de tous les hydrocarbures de type alcanes aliphatiques (quel que soit son poids moléculaire) et des composés aromatiques de type BTEX et HAP. La teneur en hydrocarbures totaux quantifiés par IR est en générale égale ou supérieure à celle déterminée par CPG car la méthode par IR analyse une fraction plus large de composés.	Besoin d'effectuer une correction par calcul (Cf. Guide de « Gestion des sites et Sols potentiellement pollués », édition BRGM, année 2000).
Hydrocarbures totaux par Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)		AT4, Fiche C14	Quantification de tous les hydrocarbures de type alcanes aliphatiques dont le poids moléculaire est compris entre celui du n-décane et du n-tétracontane. Les composés aromatiques de type BTEX, bien qu'élués ont des temps de rétention chromatographiques antérieurs à celui du n-décane et ne sont donc pas quantifiés. Les HAP non retenus lors de la purification sur colonne préparatrice sont susceptibles d'être quantifiés.	Les produits à l'origine de la pollution sont déterminés.
Métaux Lourds	Plomb	AT4, Fiches C18 à C20	Mise en évidence d'une contamination. Ces éléments représentent les polluants les plus répandus dans les sédiments.	-
	Cadmium			La présence de cadmium est corrélée à celle du Zinc
	Mercure			-
	Arsenic			-
	Chrome			-
	Nickel			-
	Fer			-
Valeur Agronomique		AT Fiches C1 à C4, C18 et C27	Permet d'évaluer la valeur nutritive d'un sédiment	Inclus les analyses en : Carbone, Azote (NTK et NH4+), Phosphore, Calcium, Magnésium, Potassium.

3.5.3 Caractérisation biologique

La caractérisation biologique des sédiments semble inadaptée au stade du diagnostic initial (DI) en raison de l'aspect ponctuel du DI. En effet, l'interprétation des tests de caractérisation biologique des sédiments nécessite un contexte d'évolution afin d'apprécier l'impact potentiel des substances indésirables sur le milieu vivant.

Cependant il est intéressant de pouvoir insister sur l'aspect observation des écosystèmes lors de la visite de terrain afin de pouvoir détecter des anomalies éventuelles.

3.6 PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats analytiques obtenus sont présentés sous forme de tableau permettant la comparaison avec les résultats obtenus dans les mêmes conditions de caractérisation pour un « témoin » (Cf. annexes techniques AT0) ou des valeurs guides (en cours d'élaboration).

A défaut de définition de valeurs guides applicables aux sédiments, la comparaison des résultats analytiques obtenus pour les échantillons de sédiments pourra être réalisée avec les Valeurs De Source Sol (VDSS), proposées dans le guide de « Gestion des Sites (potentiellement) Pollués » du BRGM, ou encore avec les valeurs préconisées pour les boues par l'Arrêté du 8 janvier 1998, relatif à l'épandage sur des sols agricoles des boues issues du traitement des eaux usées. Dans le dernier cas, la comparaison aura pour principal intérêt d'identifier la présence de risques au regard d'un usage sensible (usage agricole) des sols, situation *a priori* péjorative au regard de la mise en dépôt des produits de curage sur des sols non protégés.

Enfin une interprétation plus poussée peut être menée afin de déterminer, en fonction des concentrations détectées, les liens existant entre métaux et soufre, entre métaux et matière organique ou encore entre pH et solubilité par exemple. De fait toute information susceptible d'orienter l'acteur dans sa prise de décision doit être soulignée dans la rédaction du rapport final.

4 RAPPORT FINAL

La trame du rapport final est proposée à titre informatif :

I INTRODUCTION

- Cadre de réalisation du diagnostic initial (DI)
- Synthèse de la phase A du DI (dans le cas où un rapport intermédiaire de l'étude environnementale et historique aurait été réalisé) ou insertion d'un rapport de phase A
- Conclusions et recommandation ayant conduit à la réalisation d'une phase B.

II DESCRIPTION DU SITE

- Localisation, et description rapide du site,
- Localisation et identification des sources de pollution.

III PRESENTATION DE LA STRATEGIE D'INVESTIGATION

- La stratégie choisie pour le prélèvement et l'échantillonnage. Il convient de mentionner également les conditions restrictives survenues lors de la réalisation de ce diagnostic, par exemple l'impossibilité d'effectuer des prélèvements sur certaines parties du site. Les intensités de prélèvement d'échantillons pratiquées doivent être indiquées.
- Les méthodes et techniques retenues, en précision les raisons qui ont motivées ces choix,
- Les précautions prises pour la sécurité des personnes et de l'environnement.

IV DESCRIPTION DES TRAVAUX

- La mise en œuvre et la réalisation des investigations de terrain,
- Les techniques de prélèvement, d'échantillonnage et de conditionnement mises en œuvre,
- La localisation des points de prélèvement sur plan,
- Les entreprises intervenantes, et leur rôle respectif,
- La description des sédiments faisant l'objet d'une caractérisation,
- Les problèmes rencontrés et les remarques formulées.

V LES RESULTATS ANALYSES

- Identification du laboratoire compétent
- Enumération des pré-traitements, des paramètres analytiques et des techniques appliquées (limite de détection, limite de quantification,…)
- La synthèse des résultats analytiques sous forme de tableau
- L'interprétation de ces résultats.

VI CONCLUSIONS

Les conclusions et recommandations formulées en fonction des objectifs du diagnostic initial ; notamment au regard :

- des niveaux de pollution observés,
- des mesures à mettre en œuvre à court et moyen termes (éventuelles actions préventives ou correctives) et à long terme (surveillance, servitudes, …).

Chapitre 4

Diagnostic Approfondi

SOMMAIRE DU CHAPITRE 4

1 INTRODUCTION 80

1.1 PRESENTATION 80
1.2 OBJECTIFS 81
1.3 STRUCTURE 82
1.4 LIMITES DU PROTOCOLE 83

2 CARACTERISATION DES EFFETS BIOLOGIQUES 84

2.1 L'APPROCHE INTEGREE 84
2.2 LES TECHNIQUES DE CARACERISATION BIOLOGIQUES 85
2.2.1 BIO-ESSAIS 85
2.2.2 INVENTAIRE SUR SITE 86
2.3 L'APPROCHE TRIADE EN EUROPE 86
2.4 EXPERIENCE FRANÇAISE 88

3 PROTOCOLE GENERAL DU DIAGNOSTIC APPROFONDI 89

3.1 DISPONIBILITE ET QUALITE DES DONNEES 89
3.2 DONNEES DOCUMENTAIRES RECHERCHEES 89
3.3 INVESTIGATIONS DE TERRAIN 91
3.3.1 DEFINITION DES LIMITES DU SITE D'ETUDE 92
3.3.2 DEFINITION DE ZONES SPECIFIQUES 92
3.3.3 DEFINITION D'UN SEDIMENTS DE REFERENCE 93
3.3.4 PHASE DE PRELEVEMENT ET D'ECHANTILLONNAGE 94
3.4 CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE 95
3.4.1 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DE QUALIFICATION ET DE QUANTIFICATION DE LA POLLUTION 95
3.4.2 CARACTERISATION PHYSIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE PREALABLE A LA CARACTERISATION BIOLOGIQUE 97
3.5 CARACTERISATION BIOLOGIQUE 100

4 RAPPORT DE SYNTHESE 101

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1: Inventaire des divers groupes de techniques de caractérisation des effets biologiques.....84
Tableau 2 : Liste des données principales nécessaires au Diagnostic Approfondi.....90
Tableau 3 : Liste des principaux paramètres de caractérisation physique 97
Tableau 4 : Liste des paramètres physico-chimiques de définition des conditions limites de survie des organismes des essais biologiques.....98
Tableau 5 : Liste des paramètres physico-chimiques influençant l'inventaire sur site 99
Tableau 6 : Quantités indicatives de sédiment et d'eaux interstitielles nécessaires pour les analyses physico-chimiques.....100

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schémas de comparaison des approches TRIADE belge et néerlandaise.....87

1 INTRODUCTION

1.1 PRESENTATION

Le protocole de Diagnostic Approfondi est une démarche de recherche détaillée de l'information relative à la qualité des sédiments, qui intervient de manière prépondérante dans le cadre d'un projet de curage afin de définir le devenir des matériaux extraits dont la qualité pose problème.

Dans le cadre de la surveillance des sédiments, la réalisation d'un Diagnostic Approfondi peut être envisagée dans le but de mieux gérer l'anomalie qualitative détectée.

Dans les deux cas, le protocole de Diagnostic Approfondi consiste en la description de méthodes existantes pour caractériser de manière physique, chimique et (éventuellement) biologique une colonne de sédiments et présentant une anomalie qualitative.

La caractérisation physico-chimique des sédiments permet de :

- Définir le type de sédiment, d'une part,

- Déterminer le degré de contamination, d'autre part.

De manière complémentaire, la caractérisation biologique permet de :

- De démontrer par la réalisation de tests de bio-accumulation que ces substances ont une disponibilité biologique suffisante pour provoquer des effets négatifs sur les organismes vivants (par exemple : inhibition de la reproduction, inhibition de la croissance…),

- Et d'obtenir un aperçu de la qualité écologique du sédiment par la réalisation d'un inventaire sur site comprenant l'analyse de la composition et/ou la définition de la densité des populations et/ou la recherche des malformations des organismes vivant dans les sédiments, afin de mettre en évidence les effets dus à la présence de substances indésirables.

Dans la pratique, la caractérisation biologique semble toutefois peu usitée, notamment dans le cadre de projets de curage, où la caractérisation physico-chimique est appliquée de manière prépondérante, voire exclusive.

Toutefois, cette approche complémentaire intégrant à la fois la caractérisation physico-chimique et biologique du sédiment présente d'une part, l'avantage de combler les limites de la caractérisation physico-chimique et d'autre part, insère la caractérisation des effets des substances indésirables sur les écosystèmes pour une meilleure compréhension de la problématique globale.

A ce titre, la caractérisation biologique au niveau du Diagnostic Approfondi, semble davantage adaptée à la surveillance des sédiments et reste un choix optionnel à l'initiative de l'opérateur.

Afin de mieux introduire la caractérisation biologique au niveau du Diagnostic Approfondi, l'approche relative à la caractérisation des effets des substances indésirables sur les écosystèmes est présentée préalablement au protocole du Diagnostic Approfondi.

Le protocole du Diagnostic Approfondi est volontairement exhaustif afin d'être opérationnel pour tous types de milieux, (Cf. Chapitre I, paragraphe).

1.2 OBJECTIFS

Les objectifs du Diagnostic Approfondi sont l'obtention d'un niveau d'information suffisant pour permettre :

- L'identification et la caractérisation précise des sources de pollution, en l'occurrence les sédiments en place renfermant des substances polluantes,
- La vérification de la validité des données éventuellement acquises au cours du Diagnostic Initial,
- L'acquisition de données physico-chimiques préalables à la mise en œuvre de tests biologiques,
- La mesure de l'extension et de la délimitation spatiale de la contamination des sédiments en place,
- La compréhension des mécanismes de transfert des polluants dans la colonne de sédiment, dépendants des conditions physico-chimiques et du milieu,
- L'identification des cibles susceptibles d'être impactées par les substances polluantes renfermées dans les sédiments en place ou extraits,
- L'acquisition d'informations générales nécessaires à l'interprétation rigoureuse des données collectées,
- La définition des modalités d'extraction et des contraintes de gestion des produits extraits en fonction des objectifs poursuivis (valorisation, pré-traitement, mise en dépôt).

L'évaluation des risques au regard de la santé humaine et des écosystèmes des sédiments (en place et extraits) n'est pas l'objet de cette étude. Toutefois, le protocole de Diagnostic Approfondi est une méthodologie générale d'acquisition des données dont l'utilisation doit permettre la mise en œuvre de :

- Une Evaluation Détaillée des Risques (EDR) pour la santé humaine des sédiments en place (Dames & Moore, 2001) dont le scénario propose de statuer sur l'éventualité ou non de procéder au curage,

- Une EDR - Santé humaine des sédiments extraits (Dames & Moore, 2001) où :

  - un premier scénario propose d'évaluer les risques pour la santé humaine du projet de curage comprenant l'extraction et le transport des matériaux vers le site de destination finale,

  - et un second scénario vise à valider le choix de la filière de gestion des sédiments extraits.

- Une EDR écotoxicologique des sédiments en place (non disponible) dont l'objectif serait d'évaluer l'impact potentiel des sédiments en place renfermant des substances indésirables, sur les écosystèmes (aquatiques et terrestres) ;

- Une EDR écotoxicologique des sédiments extraits (CEMAGREF/ENTPE, janvier 2001) dont l'objectif est d'évaluer les impacts potentiels des sédiments extraits non directement valorisables en fonction de deux scénarii retenus :

  - scénario 1 : mise en dépôt sous eau (dépôt en gravière);

  - scénario 2 : mise en dépôt sur sol sans confinement.

1.3 STRUCTURE

Etabli sur la base des informations acquises au cours des investigations précédentes (Diagnostic Initial, par exemple), le protocole articule la recherche des données autour de deux phases principales :

- Une première phase documentaire dont l'intérêt est de vérifier les données disponibles à l'issue des études précédentes (notamment du Diagnostic Initial) ;

- Une seconde phase d'investigations de terrain, comprenant le prélèvement, l'échantillonnage et l'analyse des sédiments.

Les informations spécifiques à certaines situations, notamment dans le cadre de la caractérisation biologique, sont traitées au cours du déroulement du texte.

1.4 LIMITES DU PROTOCOLE

La réalisation d'un Diagnostic Approfondi est difficile à standardiser, compte tenu de la diversité des situations rencontrées. En effet, l'expertise des intervenants reste primordiale pour évaluer une situation et choisir la meilleure approche.

Dans ce contexte, le présent protocole expose les principales lignes directrices pour conduire un Diagnostic Approfondi.

Par ailleurs, le Diagnostic Approfondi dépend des données précédemment acquises, des contraintes spécifiques au site, des objectifs des décideurs, du temps et des moyens disponibles.

Dans le cas où la quantité et la pertinence des informations disponibles satisfont les exigences du Diagnostic Approfondi pour la mise en œuvre des différentes EDR, l'approfondissement des recherches de l'étude historique et documentaire n'est pas nécessaire au niveau du DA.

Enfin, les méthodologies des EDR ne sont pas développées dans le cadre de cette étude.

Le lecteur pourra se référer aux références bibliographiques suivantes :

- EDR santé humaine, développée par Dames & Moore, version 0, janvier 2001 ;
- Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage, Tomes I, II et III, version provisoire, janvier 2001, CEMAGREF / ENTPE.

2 CARACTERISATION DES EFFETS BIOLOGIQUES

2.1 L'APPROCHE INTEGREE

La littérature scientifique internationale (*Burton 1992, Chapman 1995*) témoigne d'un consensus pour caractériser les effets biologiques des substances indésirables d'un sédiment sur les écosystèmes. Cette approche comprend trois modes de caractérisation :

- La **caractérisation physico-chimique** qui permet de quantifier les concentrations des substances indésirables identifiées ;

- La détermination des effets biologiques par la mise en œuvre d'essais de toxicité ou de bio-accumulation, regroupés sous la terminologie de **bio-essais**, réalisés sur des échantillons de sédiments par des tests pratiqués en laboratoire (ou éventuellement sur site).

- L'identification *in-situ* des effets biologiques dus à la présence des sédiments pollués par le biais d'**inventaire biologique sur site**.

Les «bio-essais » et les « inventaires sur site » conduisent à un aperçu du risque potentiel et actuel, tandis que la caractérisation physico-chimique informera sur l'origine des sources de risque.

Le tableau suivant présente un inventaire des divers modes et techniques de caractérisation des effets biologiques et des informations apportées.

Tableau 1: Inventaire des divers groupes de techniques de caractérisation des effets biologiques

CARACTERISATION DES EFFETS BIOLOGIQUES		
Modes de caractérisation	**Techniques de caractérisation**	**Informations obtenues**
Physico-chimie	Analyse physico-chimique	- Type de sédiment - Présence de produits toxiques spécifiques - Degré de contamination
Bio-Essais	1- Bio-essais réalisés sur site et au laboratoire 2- Tests d'accumulation biologique (actives[1] et passives[2])	- Toxicité actuelle et potentielle des produits chimiques présents. - Information obtenue non spécifique au produit. - Risque de bio-accumulation et fraction de disponibilité biologique des produits
Inventaires sur site	1- Analyse de la composition et de l'abondance de la population 2-Evaluation des déformations	-Qualité écologique, (information non-spécifique) -Présence des produits chimiques provoquant des effets pathologiques[3]

[1] Active : analyse des concentrations en polluants dans les organismes exposés aux produits chimiques dans un sédiment lors d'un période d'essai définie.

[2] Passive : analyse des concentrations en polluants dans les organismes collectionnés lors d'un inventaire sur le site concerné

[3] Effets pathologiques : modifications cellulaires, des tissus ou des organes résultant de certaines maladies.

2.2 LES TECHNIQUES DE CARACTERISATION BIOLOGIQUES

Les essais (en laboratoire et sur site) sont des expérimentations sur des organismes biologiques spécifiques, exposés au sédiment ou à un extrait du sédiment étudié. Leur objectif est de démontrer si les polluants présents dans le sédiment ont des concentrations suffisamment élevées et / ou sont suffisamment disponibles pour provoquer des effets négatifs.

Les critères de sélection de ces tests ont été :

- Le choix de paramètres d'évaluation[1] et de mesures[2] représentatifs,
- Le choix d'organismes *in-situ* représentatifs,
- La sensibilité du test,
- La facilité de réalisation,
- La reproductibilité,
- Le coût.

Une description succincte de ces techniques est présentée dans les paragraphes ci-après. Chaque test retenu dans le cadre de cette étude fait l'objet d'une description détaillée, présentée sous forme de fiches techniques dans l'Annexe Technique AT5.

2.2.1 Bio-essais

Les résultats obtenus à partir d'un grand nombre de bio-essais font preuve d'une grande diversité de la sensibilité au regard des produits toxiques spécifiques. De plus, la disponibilité biologique des divers produits toxiques dans un sédiment peut varier considérablement en fonction des organismes testés.

En conséquence, il est relativement difficile de prévoir le test qui offre la meilleure sensibilité pour procéder à une caractérisation des effets biologiques, d'autant plus que le sédiment présente un mélange de divers polluants.

C'est pourquoi, il est recommandé d'utiliser une série de bio-essais au lieu d'un seul bio-essai. La composition d'une telle série de bio-essais est fonction des objectifs de l'étude en question.

1 Paramètre d'évaluation :expression formelle de ce que l'on veut protéger ou évaluer dans l'écosystème (Suter, 1993).

2 Paramètre de mesure : mesures et analyses à mettre en œuvre pour effectuer l'évaluation.

Dans un souci d'économie de moyens, une série minimale de bio-essais applicables dans divers types d'études sera définie selon les critères suivants parmi les Fiches Techniques de l'Annexe Technique AT5 :

- Sélection des organismes avec un minimum de ressemblance taxonomique (des espèces de la même famille ont souvent les mêmes caractéristiques de sensibilité) ;

- Sélection des organismes appartenant à différents niveaux trophiques (autrement dit, différents échelons de la chaîne alimentaire) ;

- Sélection des organismes qui sont faciles à reproduire, à manipuler, et à conserver lors de la réalisation d'un essai (avec par préférence un durée de reproduction relativement courte) ;

- Sélection des organismes qui ont été suffisamment décrits dans la littérature scientifique (nationale et internationale) comme utilisables dans des bio-essais ;

- Sélection d'organismes qui ont une tolérance ou une sensibilité spécifique aux conditions physico-chimiques variables dans des échantillons de sédiment.

2.2.2 Inventaire sur site

L'inventaire sur site proposé dans le cadre de cette étude inclut l'analyse de la composition et/ou la définition de la densité des populations et/ou la recherche des déformations des organismes vivant dans le sédiment, avec pour objectif de mettre en évidence les effets réels dus à la présence de produits toxiques.

L'inventaire sur site est donc un moyen d'obtenir un aperçu de la qualité écologique du milieu formé par le sédiment à condition que cette étude intègre un minimum de paramètres à étudier.

Les caractéristiques et la qualité du sédiment sont des facteurs primordiaux pour déterminer la composition de la macro-faune du sédiment.

Afin de pouvoir établir une relation entre les effets observés et la présence des polluants, une étude approfondie de la qualité physico-chimique du sédiment et des caractéristiques du sédiment est nécessaire.

2.3 L'APPROCHE TRIADE EN EUROPE

L'approche intégrale précédemment décrite a été adoptée en Europe par les Pays Bas et la Belgique, sous les dénominations suivantes : « Approche Triade » (Chapman,1990) ou « Sediment Quality Triad » (van de Guchte, 1992).

Cette approche est reconnue à l'échelle internationale et européenne comme un protocole de Diagnostic Approfondi adapté à la caractérisation les effets biologiques des substances indésirables d'un sédiment sur les écosystèmes. Aux Pays Bas et en Belgique, cette approche est même soutenue par les autorités nationales locales.

Les démarches belge et néerlandaise sont présentées sous forme de logigramme à la figure suivante.

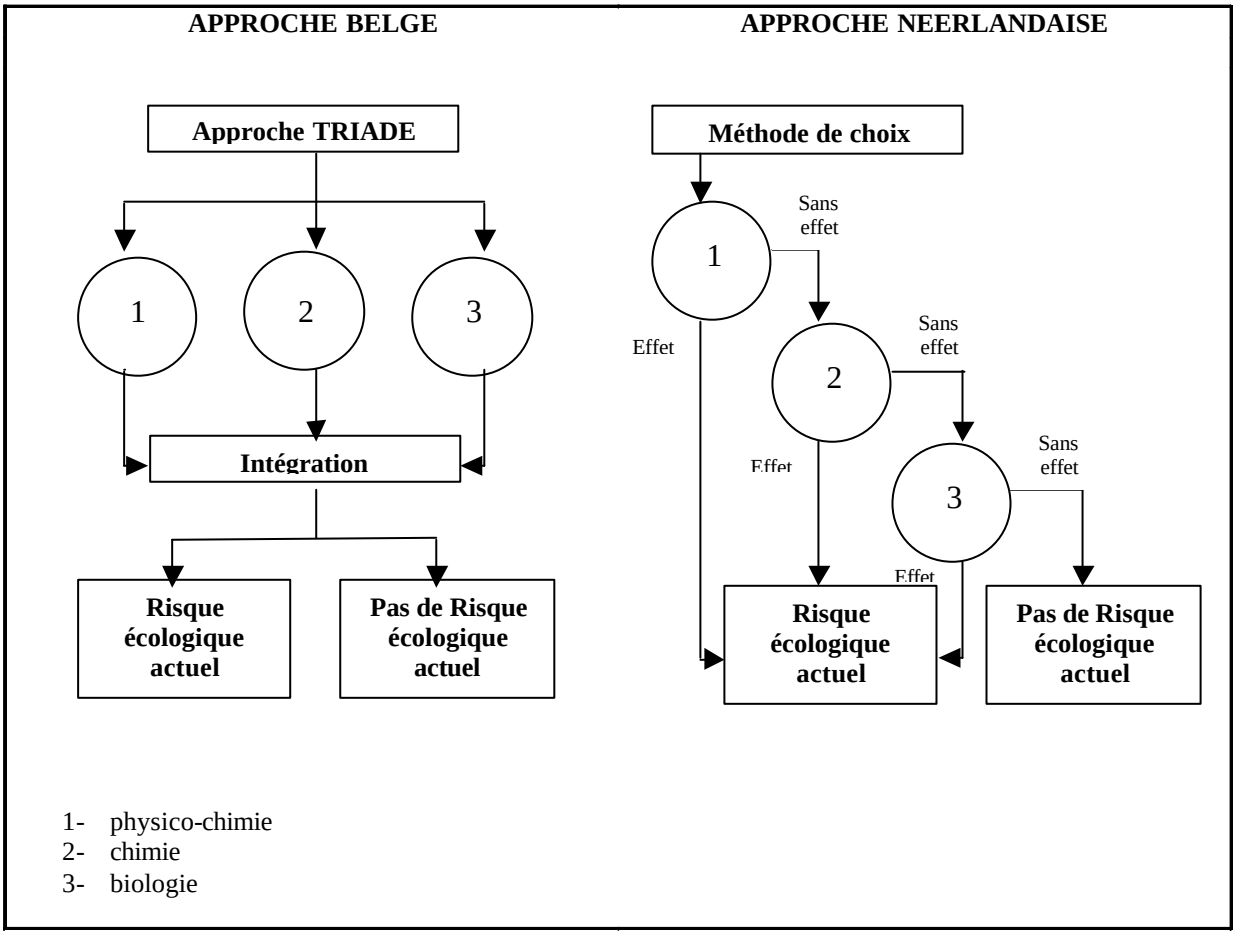
La comparaison des logigrammes permet d'établir les constats suivants :

– les démarches belge et néerlandaise intègrent les trois modes de caractérisation (physique, chimique et biologique), tels que décrits dans l'approche intégrée

– Elles diffèrent dans leur déroulement logique.

L'approche néerlandaise intègre les trois modes de caractérisation de manière successive, tandis que l'approche belge les intègre de manière simultanée. Cette différence a pour principale conséquence de réduire les coûts inhérents à la caractérisation par un affinage progressif dans la démarche néerlandaise

Figure 1 : Schémas de comparaison des approches TRIADE belge et néerlandaise



2.4 EXPERIENCE FRANÇAISE

La caractérisation biologique des sédiments, pratiquée actuellement, en France correspond à une somme d'expérience et de traitement de site ponctuel. Ces études dénotent le traitement au cas par cas des sédiments pollués et la nécessité d'uniformiser les méthodologies proposées.

Par l'intermédiaire du groupe GEODE (Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement), la problématique spécifique des sédiments marins est fortement avancée.

En ce qui concerne les sédiments d'eau douce, des suivis réalisés par le Réseau National de Bassin, font l'objet d'études inter-agences, dans lesquelles des méthodes d'analyses biologiques de caractérisation des milieux aquatiques sont décrites dans leur ensemble.

La position du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement sur la démarche à suivre pour déclencher et réaliser une évaluation du risque pour les écosystèmes pollués a été établie dans un rapport paru fin 1999 (Thybaud et al., 1999). Le schéma général, repris dans cette étude et par la plupart des auteurs (EPA, 1998), comporte 3 étapes :

- la formulation du problème, qui vise à élaborer un plan d'analyse et définir les moyens à mettre en œuvre pour caractériser le risque,

- l'analyse proprement dite, où l'on collecte les données nécessaires à l'évaluation des effets et de l'exposition,

- la caractérisation du risque, où l'on estime le risque et les incertitudes associés.

Néanmoins, ce document d'encadrement, même s'il a l'avantage de lister les points à prendre en compte, la philosophie de réflexion et les objectifs à atteindre, ne propose pas de méthodologie précise, notamment en ce qui concerne la phase d'analyse et plus particulièrement la caractérisation de la qualité écologique du milieu. De plus, il ne s'applique pas spécifiquement à la matrice « sédiments ».

De manière complémentaire, le CEMAGREF effectue des recherches bibliographiques et des expériences visant à déterminer des seuils de qualité des sédiments en fonction de la toxicité d'agents polluants vis-à-vis de plantes, d'animaux supérieurs et d'invertébrés aquatiques.

3 PROTOCOLE GENERAL DU DIAGNOSTIC APPROFONDI

3.1 DISPONIBILITE ET QUALITE DES DONNEES

La vérification de la qualité et de la fiabilité des données préalablement disponibles permet une meilleure définition des moyens nécessaires, autant techniques que financiers, à la réalisation du Diagnostic Approfondi.

La conséquence immédiate de cette étape est de réduire les coûts inhérents à la réalisation du Diagnostic Approfondi par l'utilisation de données préalablement recherchées afin de gagner du temps sur la phase de recherche documentaire et réduire le nombre de prélèvements et d'analyses, par exemple.

Cette étape est déterminante pour l'éventuelle utilisation de ces données au cours du Diagnostic Approfondi.

Toutefois, aucun outil méthodologique d'appréciation de la qualité de l'information n'est disponible. Cette évaluation dépend du bon-sens et de l'expertise de chaque opérateur.

A titre indicatif, des **critères de sélection qualitative** des données sont proposés pour orienter le choix de l'opérateur :

- La qualité ou la précision des données ;
- La fiabilité des données et de leur source ;
- La représentativité des données.

Par exemple, les données présentées sur une carte hydraulique peuvent uniquement être considérées comme fiables dans le cas où une visite du site aurait démontré que les caractéristiques fonctionnelles du système hydraulique n'ont pas changé et que les points de rejets indiqués sur la carte correspondent bien à la réalité.

Par ailleurs une attention particulière doit être portée sur le moment d'acquisition des données. En général, les résultats d'un diagnostic peuvent être utilisés dans une période limite de 5 ans (Voies Navigables de France) après la réalisation du diagnostic, tout en vérifiant que pendant cette période divers facteurs n'ont pas fortement influencé le contexte.

A titre d'exemple, dans le cas d'une rivière subissant de fortes crues, l'utilisation des concentrations en polluants présents dans les sédiments à l'interface avec l'eau est très peu fiable après une saison de forte pluviométrie en comparaison à des données obtenues pour des couches plus profondes de sédiment, moins influencées par des crues. L'objectif d'un Diagnostic Approfondi est donc de vérifier, voire de mettre à jour les données concernant les sédiments superficiels.

3.2 DONNEES DOCUMENTAIRES RECHERCHEES

Dans le cadre du Diagnostic Approfondi, les données recherchées doivent permettre de définir de **manière détaillée** :

- les **substances** à l'origine d'une anomalie qualitative (pollution) ;
- le **milieu** étudié;
- les **cibles actuelles ou prévisibles** (l'homme, les ressources en eau et l'écosystème).

Le tableau suivant propose de manière indicative les données principales à collecter au stade de la recherche documentaire du Diagnostic Approfondi (si ces données n'ont pas été rassemblées durant le DI).

Tableau 2 : Liste des données principales nécessaires au Diagnostic Approfondi

TYPE DE DONNEES	DESCRIPTION DE L'INFORMATION RECHERCHEE
Caractérisation du milieu	
Cartes topographiques	Situation du site et de ses environs
Cartes de géomorphologie / géologie / pédologie	Stratigraphie géologique, pédologie, fond géochimique
Cartes hydrogéologiques	Caractéristiques des sols en surface (granulométrie, …) présence aquifère, perméabilité
Typologie du système hydraulique	Linéaire ou non linéaire, surface, profondeur d'eau, fonction Bilan hydraulique du site et de ses environs
Description des berges	Chenal, chenal d'accès, levées, palplanches, épis, digues, quais, laisses,…
Aménagements	Appontement, ponts, stations de relevage, aqueducs, tunnels, écluses , …
Occupation des sols	Péniches, habitations, activités industrielles, agricoles
Dynamique eaux de surface	Eau stagnante, courant périodique, direction du courant intermittente, degré de courant, influence de la marée, fréquence d'inondation, …
Lien avec autres plans d'eau	Présence ou absence d'un ou plusieurs liens ouverts avec d'autres plans d'eau
Situation eau souterraine	Situation artésienne ou infiltration, présence des eaux saumâtre
Caractérisation de la source	
Type d'émission ponctuelle des sources vers les milieux	Rejets des réseaux des eaux usées communales et/ou industrielles (permis de rejets), STEP, rejets d'eaux pluviales, etc.
Type d'émission diffuse des sources vers les milieux	Dépôts atmosphériques, activités de transport fluvial, lixiviation des terrains agricoles, matières en suspension, sédiments, etc.
Type de contamination	Métaux lourds, micro polluants organiques, pesticides, etc. Caractéristiques physiques (solubilité, volatilité, poids moléculaire, densité, coefficients de dissociation, de diffusion…), chimique (spéciation, concentrations) et biologique (biodégradabilité) des substances polluantes.
Transfert de la pollution	Remise en suspension : par navigation, courant d'eau, effets des vagues / Diffusion : eaux de surface/eaux souterraines ou Sédimentation / érosion
Extension latérale et verticale de la pollution	Données obtenues lors de diagnostics précédents ou dans le cadre d'une surveillance de la qualité de l'eau et/ou des sédiments (RNB) Données relatives à la qualité des sédiments déjà curés.
Données toxico et écotoxicologiques	Analyse de l'état de la faune et de la flore et de l'impact des substances polluantes : résultats de bio-essais, dégradation micro-biologique, bio turbulence, etc.
Stratigraphie du sédiment	Consolidation, épaisseur, historique, stratigraphie régulière ou irrégulière, granulométrie, etc.
Caractérisation des cibles	
Type d'usage des populations (humaine, animale et végétale) fréquentant la zone d'étude	Résidentielle, industrielle, commerciales, agricoles, loisirs, etc.
Utilisation des eaux de surface	Eau de boisson ou future ressource en eau, navigation professionnelle, pêche, baignade, sports nautiques, irrigation, arrosage, zone d'intérêt écologique, réserve d'eau, gravière, etc.
Utilisation des eaux souterraines	Nombre de puits et leurs caractéristiques (alimentation en eau potable, alimentation du bétail, etc.)

La lecture du précédent tableau témoigne qu'au stade de la recherche documentaire, la principale différence entre les deux protocoles de diagnostic initial ou approfondi réside dans l'**étendue** et le **degré de précision**.

En effet, la recherche documentaire du Diagnostic Approfondi porte une attention particulière à la description précise du milieu, notamment par la prise en compte des paramètres influençant le système hydraulique et les sources potentielles de pollution (aménagements et description détaillée des berges, par exemple).

Par ailleurs, la caractérisation de la source de pollution est davantage approfondie par l'identification du type de pollution (diffuse ou chronique) et la compréhension des mécanismes de transfert du milieu et de mobilité de la substance polluante, afin de permettre la définition de l'extension spatiale et verticale de la pollution.

L'essentiel des informations relatives au Diagnostic Approfondi peut être obtenu par une recherche documentaire approfondie et/ou complémentaire des données préalablement obtenues dans le cadre d'un diagnostic initial, par exemple. A ce titre, les données préalablement acquises et susceptibles d'être utilisées pour alimenter le Diagnostic Approfondi pourront faire l'objet d'une validation préalable.

Les modalités de recherche documentaire (Cf. Annexes techniques AT0 – Informations relatives au contexte historique et environnemental) sont identiques à celles précédemment exposées dans le cadre du Diagnostic Initial :

– Les informations relatives au contexte environnemental s'acquièrent de manière générique quels que soient le milieu et le cadre d'action (surveillance des sédiments ou projet de curage),

– Les informations relatives au contexte historique s'acquièrent milieu par milieu sans distinction du cadre d'action (Cf. Annexes techniques AT0).

3.3 INVESTIGATIONS DE TERRAIN

L'objectif des investigations de terrain (prélèvement et échantillonnage) du Diagnostic Approfondi est d'obtenir le maximum d'information concernant la délimitation spatiale, la nature et l'ampleur de la contamination des sédiments mise en évidence lors du Diagnostic Initial (volume, profondeur, surface, stratigraphie, concentration moyennes et maximales).

La démarche d'acquisition des données de terrain du Diagnostic Approfondi est identique à celle proposée dans le cadre du Diagnostic Initial. Elle comprend les étapes successives suivantes :

- La définition du site d'étude et des zones spécifiques (si nécessaire),

- Une phase de prélèvement,

- Une phase d'échantillonnage.

La principale différence entre les deux protocoles de Diagnostic Initial ou Approfondi réside :

- D'une part, dans l'**intensité** et l'**étendue** des investigations à réaliser,

- Et d'autre part, dans l'intégration de la caractérisation biologique des sédiments afin de mettre en évidence l'impact des substances polluantes renfermées par les sédiments sur le milieu aquatique.

3.3.1 Définition des limites du site d'étude

La délimitation du site de recherche est basée sur les principes suivants :

- Les limites du site à étudier sont définies de telle manière que toutes les sources potentielles ainsi que les zones suspectes ont été incluses,

- Les limites du site à étudier sont identifiées par les limites physiques comme les berges, ou les digues. En cas de lien entre le site et un autre système hydraulique la définition de la zone de transition, par exemple le chenal d'accès entre un port fluvial et une rivière, doit être précisée assez largement afin de permettre la prise en compte des différentes caractéristiques des sédiments dans les divers systèmes hydrauliques (rivière, chenal, port),

- Dans le cas d'un projet de curage, les limites du site à étudier peuvent être limitées à la zone où les travaux de curage sont prévus.

3.3.2 Définition de zones spécifiques

En fonction de certains paramètres caractéristiques du milieu (l'échelle, la morphologie, la dynamique hydraulique ou la source de contamination), il semble judicieux de définir des zones spécifiques à l'intérieur du site d'étude afin d'obtenir des résultats représentatifs des spécificités de chaque zone.

En effet, l'intérêt de distinguer le site d'étude en différentes zones présentant une plus grande homogénéité et permet de déterminer une stratégie de prélèvement et d'analyse mieux adaptée à chaque zone.

A titre indicatif, l'opérateur peut s'appuyer sur les critères suivants pour distinguer le site d'étude en différentes zones spécifiques :

- **L'échelle et la morphologie du site :** selon l'importance de la surface du site d'étude et l'hétérogénéité de la morphologie, le site peut être réduit à des zones d'étude de plus petites échelles,

- **La dynamique hydraulique** influence la présence, l'épaisseur et la répartition granulométrique des sédiments, ainsi que la variabilité spatiale de la présence de polluants dans les sédiments. En conséquence, la segmentation du site d'étude en zones spécifiques soumises à une même influence de dynamique hydraulique permet de prendre en compte l'hétérogénéité de ces zones ;

- **Les caractéristiques des sources de pollution** peuvent permettre de définir différentes zones d'études impactées par une substance polluante plutôt qu'une autre.

Par ailleurs, dans le cas de la caractérisation biologique des sédiments, envisagée au niveau du Diagnostic Approfondi, la définition préalable de zones spécifiques au prélèvement peut être conditionnée par les limites d'applicabilité des tests biologiques ou d'inventaires sur site. Dans ce cas, les zones spécifiques d'étude sont concentrées dans les zones de dépôts préférentielles des sédiments actuels ou passés.

A titre d'exemple, certains sédiments présentant des caractéristiques particulières sont favorables à la présence d'organismes biologiques aquatiques, utilisés comme « organismes traceurs » : les larves de *Chironomus* utilisés dans le cadre des inventaires sur site sont préférentiellement présents dans les sédiments à structure granulométrique fine.

Les critères qui influent fortement sur l'apparition ou la non-apparition de certaines espèces sont définis au paragraphe 3.4, relatif à la caractérisation physico-chimique, au cours des pages suivantes.

Dans tous les cas, il est recommandé d'établir la définition du site et des zones spécifiques à étudier sur la base des informations disponibles ainsi que les observations réalisées lors d'une ou plusieurs visites du site. Les critères de choix utilisés pour cette définition devront être commentés dans le rapport du Diagnostic Approfondi.

3.3.3 Définition d'un sédiment de référence

Pour pouvoir interpréter les effets observés lors de la réalisation d'analyses physico-chimiques et de tests biologiques, il convient de comparer les résultats à ceux obtenus avec un sédiment relativement propre et qui présente des caractéristiques comparables.

L'utilisation d'un sédiment de référence provenant du même système aquatique que le système sédiment devant être caractérisé est surtout approprié lorsqu'un gradient de pollution déterminé doit être inventorié.

Les modalités de définition d'un témoin sont décrites de façon générale à la Fiche C de l'Annexe Technique AT0.

Dans le cadre du Diagnostic Approfondi, quelques recommandations complémentaires de définition d'un sédiment de référence sont formulées, notamment en raison des spécificités que ce sédiment de référence doit présenter pour pratiquer une caractérisation biologique.

Dans le cas d'une caractérisation biologique, la zone de référence choisie est un site relativement propre dont les caractéristiques pédologiques (carbone organique, granulométrie et teneur en eau) sont comparables à celles du site du prélèvement. Par ailleurs, le sédiment de référence doit être le siège d'un développement biologique optimal en vue de l'évaluation de la qualité et du développement normal des organismes testés.

Par défaut, l'opérateur pourra éventuellement se référer aux standards de qualité définie à partir de la biodiversité des communautés et de la valeur écologique des populations.

Dans le cas où le Diagnostic Approfondi intègre de manière complémentaire la caractérisation physico-chimique et biologique, le sédiment de référence est commun aux deux types de caractérisation. De plus, il présente au minimum les recommandations requises pour la caractérisation biologique.

3.3.4 Phase de prélèvement et d'échantillonnage

Les outils relatifs au prélèvement (engins et stratégies de prélèvement) et à l'échantillonnage (composite, moyen ou séquentiel), respectivement décrits dans les Annexes techniques AT2 et AT3, sont spécifiques de la morphologie et la nature de certains milieux et utilisés à l'identique dans le cadre du Diagnostic Initial (DI) et du Diagnostic Approfondi (DA).

La différence entre les deux protocoles (DI et DA) réside dans l'**intensité** et la **précision** avec laquelle l'information est recherchée. En conséquence, les stratégies de prélèvement et d'échantillonnage employées donneront un plus grand nombre d'échantillons visant à caractériser de manière approfondie la colonne de sédiment.

A titre d'exemple, la stratégie de prélèvement par maillage pourra être appliquée pour un DI ou un DA, à la différence que la maille choisie dans le cas du DA pourra être plus fine que dans celle du DI.

De même, la caractérisation de la colonne de sédiments pourra concerner chaque 50 centimètres d'épaisseur dans le cadre du DA et l'échantillon moyen de la colonne dans le cadre du DI. Dans le premier cas, la stratégie d'échantillonnage employée permettra de vérifier que les concentrations en polluants ne présentent pas de différences significatives dans chacune des couches de sédiments de 50 centimètres d'épaisseur, tandis que dans le second cas, une image globale de la qualité de la colonne de sédiment sera obtenue.

Par ailleurs, l'introduction de la caractérisation biologique au niveau du DA induit des restrictions dans l'application des outils de prélèvement et d'échantillonnage, présentés dans les Annexes Techniques AT2 et AT3.

En effet, la période de prélèvement est conditionnée par l'activité biologique variable au cours de l'année et la nature de la caractérisation biologique. Par exemple, dans le cadre de la réalisation de bio-essais, les prélèvements s'opèrent en principe toute l'année, tandis que pour l'inventaire sur site, la période la mieux appropriée se situe de préférence entre fin octobre et début avril.

Par ailleurs, la liste des engins de prélèvement, décrite dans l'Annexe technique AT2 est réduite :

- Au **carottier-boîte** (AT2 - Fiche C1-2) pour les sédiments durs ou sablonneux du fait que le sédiment reste totalement préservé pendant l'échantillonnage,

- A la **benne Ekman** (AT2 - Fiche C2-1) pour les sédiments à structure meuble.

Pour les tests biologiques, les prélèvements se font préférentiellement dans la couche superficielle (comprise dans les 30 premiers centimètres d'épaisseur).

Les différentes stratégies d'échantillonnage décrites à l'Annexe technique AT3 sont applicables en fonction de l'information recherchée. Dans tous les cas, l'opérateur argumente ses choix dans le rapport d'intervention.

3.4 CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE

Dans le cadre du Diagnostic Approfondi, la caractérisation physico-chimique des sédiments a un objectif double :

- D'une part, elle doit permettre de caractériser la source de pollution par la **détermination qualitative et quantitative** des substances indésirables organiques et minérales (xénobiotiques) présentes dans les sédiments, dans le but de comprendre les mécanismes de transfert des substances indésirables dans l'environnement et de définir le devenir des matériaux susceptibles d'êtres extraits,

- Et d'autre part, elle permet de vérifier l'applicabilité des tests biologiques.

A ce titre, la liste des paramètres à **qualifier et quantifier sur différentes matrices solide et liquide du sédiment** pourra être étendue en fonction de nouvelles données historiques ou de la caractérisation biologique envisagée.

3.4.1 Caractérisation physico-chimique de qualification et de quantification de la pollution

Dans ce cas, la caractérisation physico-chimique permet de vérifier si suffisamment de paramètres analytiques ont été déterminés sans commettre d'impasse sur la liste des substances polluantes retenues comme pertinentes à l'issue de l'étude historique.

Parallèlement, certaines analyses spécifiques telles que la spéciation des métaux ou d'autres composés (soufre, chlore…) en phase liquide pourront être envisagées par l'évaluateur selon le niveau d'approfondissement recherché.

Toutefois, il semble difficile d'imposer une liste de paramètres arrêtée et applicable dans toutes les situations de Diagnostic Approfondi, tant la diversité des situations rencontrées est grande.

En conséquence, une liste des principaux paramètres (les plus couramment observés) est mise à la disposition des opérateurs à titre indicatif.

La sélection des paramètres pourra être affinée au fur et à mesure de l'approfondissement des connaissances sur le site étudié et s'opérer en fonction des critères de sélection suivant :

- Les résultats du diagnostic initial du site (contexte historique et environnemental),
- La présence constatée de la substance (détectée en quantité significative),
- La mobilité de la substance dans l'eau et dans l'air (solubilité et volatilité),
- La toxicité de la substance,
- La probabilité de présence des substances dans le contexte du site d'étude (métaux lourds, hydrocarbures, nutriments (N, P, K), micro-polluants organiques).

S'il existe une corrélation entre les concentrations des divers polluants dans un sédiment pollué, le choix des analyses à réaliser sur les échantillons obtenus lors du Diagnostic Approfondi pourra être réduit à la détermination d'un ou deux paramètres "indicateur(s)".

Tableau 3 : Liste des principaux paramètres de caractérisation physique

PARAMETRES	REFERENCES AU GUIDE	INFORMATIONS APPORTEES
Température	-	Conditionne les propriétés physico-chimiques des substances polluantes (solubilité, mobilité, par exemple)/ mesure in situ.
pH	AT4 – Fiche C22	Certaines substances sont stables en milieu basique, tandis qu'elles sont mobiles en milieu acide. La solubilité des métaux dans l'eau dépend du pH.
Potentiel redox	-	Certaines substances sont stables en milieu oxydant, tandis qu'elles sont mobiles en milieu réducteur. mesure in-situ.
Teneur en eau ou siccité	AT4 - Fiche A	De fortes teneurs en eau augmentent la possibilité de lixiviation.
Analyse granulométrique	AT4 – Fiche A et Fiche C12	Détermine la nature du sédiment et oriente le choix des techniques de curage
Teneur en soufre	AT4 - Fiche C18	Peut perturber certains résultats analytiques.
Teneur en carbonates	AT4 - Fiche C4	Carbonates très peu solubles mobilisent les métaux
Teneur en carbone et en argile	AT4 - Fiche A	De fortes teneurs en substances humiques mobilisent les particules hydrophobes et l'argile mobilise les particules chargées
Activité microbienne des sédiments et des sols récepteurs	-	Ce sont des accepteurs d'électrons dont la présence peut favoriser les conditions de biodégradabilité
Volume	AT4 - Fiche A	Utile pour convertir les volumes en m3 dans le cadre du transport et du devenir des matériaux
Liquidité et plasticité	AT4 - Fiche A	Conditionne le potentiel d'adsorption des substances polluantes sur les sédiments et caractérise l'aspect physique.
Tests de maturation	AT4 - Fiche D1	Caractérise le devenir des sédiments extraits
Tests de vitesse de sédimentation	-	Caractérise le devenir des sédiments extraits ; test non standardisé dont le résultat pourrait orienter les travaux de la future mise en dépôt des sédiments.
Tests de lixiviation	AT4 - Fiche D3	Détermine la teneur en sels des substances indésirables dans les fractions lixiviables.
Tests de percolation	AT4 - Fiche D4	Détermine le comportement des substances indésirables en cas de remontée de la nappe ou de précipitations
Tests de spéciation chimique des métaux et autres composés	AT4 - Fiche D2	Détermine la ou les formes spécifiques (moléculaire, ionique ou complexée) sous la ou lesquelles se présente l'élément chimique.

L'ensemble des protocoles d'analyses des paramètres chimiques mentionnés ci-dessus est proposé dans l'Annexe Technique AT4.

3.4.2 Caractérisation physique et physico-chimique préalable à la caractérisation biologique

Essais biologiques

La caractérisation physico-chimique permet par exemple de définir les conditions limites d'applicabilité des bio-essais proposés dans le cadre de l'approche TRIADE et décrits dans l'Annexe Technique AT5.

En effet, les micro-organismes (*D. magna, C.riparius, P. phosphoreum, et oligochètes*) des tests de caractérisation biologique des sédiments de l'approche TRIADE présentent des conditions limites de survie pour chaque espèce.

La caractérisation physico-chimique préalable à la réalisation des essais biologiques permet de vérifier que les conditions physico-chimiques du sédiment respectent les conditions limites de survie de chaque microorganisme test

Certains paramètres physico-chimiques, dont la liste (non exhaustive) est présentée dans le tableau suivant, caractérisent les conditions de survie des micro-organismes.

Tableau 4 : Liste des paramètres physico-chimiques de définition des conditions limites de survie des organismes des essais biologiques

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	REFERENCES AU GUIDE
pH	AT4 Fiche C22
Conductivité	mesure in-situ
Oxygène dissous	mesure in situ
Carbonates	AT 4 Fiche C4
Nitrates	AT4 Fiche C21
Ammoniac	AT4 Fiche C1
Ion ammonium	AT4 Fiche C1
Chlorures	AT4 Fiche C6

Ces analyses de routine sont effectuées sur la matrice aqueuse des sédiments (surnageant, élutriat et eau interstitielle) dans tous les cas.

Dans certains cas spécifiques, dépendant des sources de pollution locales ou des données historiques, d'autres composés peuvent également être analysés en complément.

La définition des conditions limites est traitée séparément dans l'Annexe Technique AT5.

Essais de bio-accumulation

Pour les analyses des micro-polluants contenus dans les organismes, aucune méthode standard internationale ou nationale n'est encore disponible.

Une description succincte des méthodes d'analyses sur les organismes d'essais est proposée en Annexe Technique AT4.

Inventaires sur site

Certaines données physico-chimiques influencent la densité et l'apparition de certaines espèces de la macro-faune. La détermination de ces paramètres physico-chimiques préalablement à la réalisation de l'inventaire sur site permet une meilleure interprétation des résultats observés.

Tableau 5 : Liste des paramètres physico-chimiques influençant l'inventaire sur site

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		INFORMATIONS APPORTEES
Distribution granulométrique :	AT4 Fiche A et Fiche C12	A partir d'un classement en pourcentage de particules < 63 µm, une distinction est opérée entre vase/argile (> 40 %) et sable (< 40 %). Dans les sédiments sablonneux, des compositions d'espèces divergentes apparaissent
Carbone organique :	AT4 Fiche C3	Les sédiments à teneur > 15 % de carbone organique sont classés en sédiments tourbeux. Ces derniers présentent souvent des compositions d'espèces divergentes.
Degré d'humidité :	AT4 Fiche A et Fiche C17	Sert pour le calcul d'une constante empirique Ks. La constante permet d'identifier le type de sédiment et de caractériser sa stabilité. Dans les sédiments meubles (Ks < 1), les *chironomides* ont du mal à creuser leurs galeries.
Turbidité (mesure sur site)	-	Détermination du type d'eau : – Eau eutrophe – Eau hypertrophe.
Azote, Phosphore	AT4 Fiches C1, C2 et C18	
Teneur en chlorophylle	-	
Vitesse du courant (mesure en m/s).	-	Vitesses des courants : fort courant, eau stagnante ou semi-stagnante ou zone caractérisée par une marée. Sédimentation ou re-suspension.
Teneur en chlorures :	AT4 Fiche C6	Mesurée dans l'eau interstitielle. Dans les sédiments plus salés, d'autres espèces (*Chironomus salinarius* par exemple) apparaissent, variant en nombre (et présentant des écarts de profil de la mâchoire) par rapport aux espèces des sédiments d'eaux douces qui ont une teneur en carbone organique et une granulométrie comparables.
NH4+ / NH3 :	AT4 Fiche C1	De fortes teneurs en ammoniac dans l'eau interstitielle peuvent attester de la présence de *chironomides* dans le sédiment.

Le tableau suivant indique les quantités nécessaires pour pratiquer la caractérisation physico-chimique.

Tableau 6 : Quantités indicatives de sédiment et d'eaux interstitielles nécessaires pour les analyses physico-chimiques

PARAMETRES	SEDIMENTS (ml)	EAUX INTERSTITIELLES (ml)	TOTAL SEDIMENT (ml)
Caractérisation	200	-	200
Critères limites d'essais	-	150	450
Métaux lourds	100	1000	3100
PCB / pesticides	100	1000	3100
HAP	100	1000	3100
Nutriments	-	150	450
COD	-	100	300
Total	**500**	**3500**	**11000**

Pour les analyses chimiques, le sédiment doit être traité dans le mois qui suit son prélèvement.

3.5 CARACTERISATION BIOLOGIQUE

La caractérisation biologique apporte des informations complémentaires concernant les risques d'exposition de l'homme au regard des substances indésirables contenues dans les sédiments.

En effet, l'exposition de l'homme aux substances indésirables renfermées par les sédiments s'effectue selon le processus de bio-accumulation via la chaîne alimentaire "faune benthique → poisson → homme".

Dans ce contexte, l"approche Triade" (Chapman,1990) est un protocole de Diagnostic Approfondi retenu dans le cadre de cette étude, et dont une présentation est proposée dans l'Annexe Technique AT5.

Il s'agit d'un **système intégrant trois types de caractérisation** :

- La **caractérisation physico-chimique** : quantification des concentrations en polluants,
- La **caractérisation biologique** : quantification des effets biologiques par l'utilisation des essais de toxicité pratiqués en laboratoire,
- **L'inventaire de la composition et densité** des populations benthiques par l'identification in-situ des effets biologiques dus à la présence de sédiments pollués.

Les recommandations relatives à la caractérisation biologique sont formulées dans les Annexes Techniques AT5.

4 RAPPORT DE SYNTHESE

Le rapport de synthèse du Diagnostic Approfondi pourra comprendre les informations suivantes :

I INTRODUCTION

- Cadre de réalisation du Diagnostic Approfondi (DA) : raisons, contexte (projet de curage ou de la surveillance des sédiments), description des conditions générales au moment des investigations…
- Synthèse des conclusions du DI ayant conduit à la réalisation d'un DA
- Enoncé des hypothèses de travail

II DESCRIPTION DU SITE

- Localisation, et description détaillée du site,
- Localisation et identification des sources de pollution (reconnues)
- Identification des cibles considérées (en particulier en fonction du projet de curage ou de la surveillance des sédiments)

III PRESENTATION DES STRATEGIES D'INVESTIGATION

- Description de la campagne des travaux de terrain : intensité des investigations
- Justification des choix de l'opérateur quant aux méthodes et techniques retenues
- Mention des conditions restrictives survenues lors de la réalisation de ce diagnostic, par exemple l'impossibilité d'effectuer des prélèvements sur certaines parties du site
- Justification des choix des substances retenues
- Les précautions prises pour la sécurité des personnes et de l'environnement

IV DESCRIPTION DES TRAVAUX

- La mise en œuvre et la réalisation des investigations de terrain
- Les techniques de prélèvement, d'échantillonnage et de conditionnement
- La localisation des points de prélèvement sur plan
- Les entreprises intervenantes, et leur rôle respectif
- La description des sédiments faisant l'objet d'une caractérisation
- Les problèmes rencontrés et les remarques formulées

V LES RESULTATS ANALYTIQUES

- Identification du laboratoire compétent
- Enumération des pré-traitements, des paramètres analytiques et des techniques appliquées (limite de détection, limite de quantification,…)
- La synthèse des résultats bruts (terrain et laboratoires) sous forme de tableau
- L'interprétation de ces résultats par rapport à la caractérisation biologique (à défaut de système d'évaluation existant).

VI CONCLUSIONS

Les conclusions et recommandations formulées en fonction des objectifs du DA; notamment au regard des niveaux de pollution observés, des mesures à mettre en œuvre à court et moyen termes (éventuelles actions préventives ou correctives) et à long terme (surveillance, servitudes, …).

Introduction
aux
Annexes Techniques

INTRODUCTION

Cette seconde partie du guide a pour but de compléter et de fournir les outils permettant la caractérisation physique, chimique et biologique des sédiments.

Pour plus de clarté, ces annexes ont été scindées en 6 chapitres thématiques :

L'Annexe Technique AT0 « Outils Préalables à La Caractérisation » regroupe les outils permettant la collecte d'informations nécessaires à la caractérisation physique chimique et biologique des sédiments. Cette étape de recherche concerne le Diagnostic Initial et le Diagnostic Approfondi.

L'Annexe Technique AT1 « Caractérisation des Sédiments en Fonction Des Milieux » regroupe sous forme de fiches, la méthodologie de caractérisation préconisée en fonction des cas, c'est à dire en fonction des milieux concernés. Quatre cas généraux subdivisés en 12 sous-cas particuliers sont traités, de sorte que toutes les situations sont envisagées de manière précise.

L'Annexe Technique AT2 « Prélèvement » regroupe l'ensemble des outils nécessaires au développement d'une stratégie de prélèvement, et à sa mise en œuvre technique (outils).

L'Annexe Technique AT3 « Echantillonnage » propose les stratégies d'échantillonnage les plus usitées, ainsi que les précautions à prendre en matière de traitement et de conditionnement des échantillons.

Enfin les **Annexes Techniques AT4 et AT5** définissent les paramètres et les techniques propres à la caractérisation physico-chimique (AT4) et biologique (AT5).

SOMMAIRE DETAILLE DES ANNEXES TECHNIQUES

AT0 OUTILS PREALABLES A LA CARACTERISATION 108

FICHE A GUIDE D'ENQUETE 111

Partie A1 CONTEXTE DU MILIEU 111
Partie A2 OBSERVATION SUR LE TERRAIN 112
Partie A3 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 116

GROUPE B INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE (D.I.)

Fiche B1 CAS DES FOSSES ROUTIERS ET AUTOROUTIERS 121
Fiche B2 CAS DES FOSSES AGRICOLES 122
Fiche B3 CAS DES RUISSEAUX 123
Fiche B4 CAS DES RIVIERES ET FLEUVES NAVIGABLES 124
Fiche B5 CAS DES RIVIERES ET FLEUVES NON NAVIGABLES 125
Fiche B6 CAS DES CANAUX NAVIGABLES 126
Fiche B7 CAS DES CANAUX NON NAVIGABLES 127
Fiche B8 CAS DES ETANGS NATURELS 128
Fiche B9 CAS DES LACS NATURELS 129
Fiche B10 CAS DES LACS DE BARRAGE HYDROELECTRIQUE 130
Fiche B11 CAS DES BASSINS DE RETENU 131
Fiche B12 CAS DES BASSINS ROUTIERS ET AUTOROUTIERS 132

FICHE C DETERMINATION DU TEMOIN REGIONAL 133

GROUPE D ESTIMATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS

Fiche D1 BATHYMETRIE PAR NIVELLEMENT 134
Fiche D2 BATHYMETRIE PAR ECHO-SONDEUR 135
Fiche D3 BATHYMETRIE PAR NILOMETRE 136

FICHE E MATRICE CROISANT ACTIVITES HUMAINES ET CONTAMINANTS DANS LES SEDIMENTS 137

AT1 CARACTERISATION DES SEDIMENTS EN FONCTION DES MILIEUX 138

GROUPE A PROJET DE SURVEILLANCE DES SÉDIMENTS 140

Fiche A1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES COURS D'EAU 141
Fiche A2 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX 143
Fiche A3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES PLANS D'EAU 145

GROUPE B PROJET DE CURAGE 146

Fiche B1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES FOSSES 147
Fiche B2 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES COURS D'EAU 149
Fiche B3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX 152
Fiche B4 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES PLANS D'EAU 154

AT2 PRELEVEMENT 159

GROUPE A CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Fiche A1 PROJET DE CURAGE - CAS D'UN PLAN D'EAU 161
Fiche A2 PROJET DE CURAGE - CAS D'UN COURS D'EAU 163
Fiche A3 SURVEILLANCE DES SEDIMENTS - CAS D'UN PLAN D'EAU 165
Fiche A4 SURVEILLANCE DES SEDIMENTS - CAS D'UN COURS D'EAU 167

GROUPE B TYPES DE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Fiche B1 PRELEVEMENT EN MAILLAGE 169
Fiche B2 PRELEVEMENT ALEATOIRE 171
Fiche B3 PRELEVEMENT PAR JUGEMENT 172
Fiche B4 PRELEVEMENT SELON UN PROFIL EN LONG 174

GROUPE C OUTILS DE PRELEVEMENT

Fiche C1 LES CAROTTIERS 175
Fiche C2 LES BENNES 193
Fiche C3 LES DRAGUES 200
Fiche C4 AUTRES 203
Fiche C5 PRELEVEMENT D'EAU ET DE SEDIMENTS EN SUSPENSION 205

GROUPE D DU PRELEVEMENT A L'ECHANTILLONNAGE

Fiche D1 FICHE DE TERRAIN 211
Fiche D2 EXEMPLE DE FICHE DE TERRAIN 213

AT3 ECHANTILLONNAGE 215

GROUPE A STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Fiche A1 CHOIX D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE 217
Fiche A2 ECHANTILLONNAGE COMPOSITE EN SURFACE OU EN PROFONDEUR 218
Fiche A3 ECHANTILLONNAGE PONCTUEL MOYEN 219
Fiche A4 ECHANTILLONNAGE SEQUENTIEL 220

GROUPE B CONDITIONNEMENT ET TRAITEMENTS DES ECHANTILLONS

Fiche B1 CONDITIONNEMENT 221
Fiche B2 TRAITEMENTS PREALABLES A LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE 223
Fiche B3 TRAITEMENTS PREALABLES A LA CARACTERISATION BIOLOGIQUE 225

AT4 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE 227

1 INTRODUCTION 230

2 RECOMMANDATIONS GENERALES 231

2.1 LE FLACONNAGE 231
2.2 LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES ECHANTILLONS 231
2.3 L'ACHEMINEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE D'ANALYSES 232
2.4 LE TRAITEMENT ET LA CONSERVATION DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE 232

FICHE A CARACTERISATION PHYSIQUE 233

FICHE B CARACTERISATION CHIMIQUE 239

GROUPE C DESCRIPTION DES METHODES ANALYTIQUES 242

Fiche C1 AZOTE AMMONIACAL (NH_3 / NH_4) 245
Fiche C2 AZOTE KJEDHAL (NTK) 246
Fiche C3 CARBONE ORGANIQUE TOTAL (COT) 247
Fiche C4 CARBONATES ($CaCO_3$) 248
Fiche C5 CHLOROBENZENES 249
Fiche C6 CHLORURES SOLUBLES (Cl^-) 250
Fiche C7 CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (E_C) 251
Fiche C8 CHROME VI (Cr_6^+) 252
Fiche C9 COMPOSES ORGANO-HALOGENES EXTRACTIBLES (EOX) 253
Fiche C10 COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS (VOX) 254
Fiche C11 COMPOSES ORGANO-HALOGENES ABSORBABLES (AOX) 255
Fiche C12 GRANULOMETRIE POUR CLASSIFICATION STRUCTURALE 256
Fiche C13 HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) 257
Fiche C14 HYDROCARBURES TOTAUX 258
Fiche C15 INDICE PHENOLS 260
Fiche C16 MATIERE ORGANIQUE 261
Fiche C17 MATIERES SECHES OU RESIDU D'EVAPORATION 262
Fiche C18 METAUX PAR ICP-AES 263
Fiche C19 METAUX LOURDS PAR FOUR GRAPHITE 264
Fiche C20 MERCURE 266
Fiche C21 NITRATE / NITRITE (NO_3^- / NO_2^-) 267
Fiche C22 PH 268
Fiche C23 POLYCHLOROBIPHENILS (PCB) ET PESTICIDES CHLORES 269
Fiche C24 PESTICIDES ORGANOPHOSPHORES ET AZOTES 271
Fiche C25 PHYTOSANITAIRES PHENYL UREES 273
Fiche C26 PHENOLS, CHLOROPHENOLS ET CRESOLS 274
Fiche C27 PHOSPHATES (ORTHOPHOSPHATES) 276
Fiche C28 PHATLATES 277
Fiche C29 SOLVANTS AROMATIQUES ET CHLORES 278
Fiche C30 MESURES IN - SITU 280

GROUPE D CARACTERISATION DES MATERIAUX DE CURAGE 282

Fiche D1 PROCESSUS DE MATURATION DES MATERIAUX DE CURAGE 283
Fiche D2 TEST DE SPECIATION : PROTOCOLE DE TESSIER *ET AL.* 285
Fiche D3 TEST DE LIXIVIATION 288
Fiche D4 TEST DE PERCOLATION 289

AT5 CARACTERISATION BIOLOGIQUE : PARTIE 1 - GENERALITES 290

1 INTRODUCTION 296
1.1 APPROCHE SOUTENUE PAR LA REGLEMENTATION 296
1.2 L'APPLICATION DE LA RECHERCHE BIOLOGIQUE 296
1.3 APPROCHE SPECIFIQUE AU SITE ETUDIE 297
1.4 EFFICACITE DES MOYENS EMPLOYES 297
2 PROPOSITION D'UN SYSTEME DE CARACTERISATION BIOLOGIQUE 297
3 MODALITES D'APPLICATION DU SYSTEME 299
3.1 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°1 299
3.2 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°2 300
4 SELECTION DES TECHNIQUES DE CARACTERISATION 300
4.1 CRITERES DE SELECTION 300
4.2 TECHNIQUES SELECTIONNEES 301
4.3 JUSTIFICATION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES 302
4.4 DESCRIPTION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES 305
5 SYNTHESE DE LA DEMARCHE PROPOSEE 306
5.1 ÉTAPE 0 : PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES 309
5.2 ÉTAPE 1 : UTILISATION DES ESSAIS DE BALAYAGE "SCREENING TESTS" (BIO-ESSAIS « AIGUS ») 309
5.3 ÉTAPE 2 : REALISATION DES ESSAIS « CHRONIQUES » EN LABORATOIRE 310
5.4 ÉTAPE 3 : REALISATION DES ESSAIS DE BIO-ACCUMULATION AVEC *OLIGOCHETES* 310
5.5 ÉTAPES 4 ET 5 : DENSITE ET NOMBRE DES ESPECES *CHIRONOMIDAE* ET *OLIGOCHETES* 311
6 CARACTERISATION DES EFFETS TOXIQUES 312
6.1 EVALUATION DE LA PROBABILITE DE L'OBSERVATION DES EFFETS 312
7 CARACTERISATION DES RISQUES DE BIO ACCUMULATION 315
7.1 BIOACCUMILATION 315
7.2 ESSAI DE BIOACCUMULATION (OLIGOCHETES) 315
8 CARACTERISATION DES EFFETS OBSERVES SUR SITE 316
8.1 CARACTERISATION DE LA QUALITE ECOLOGIQUE 316
8.2 CARACTERISATION DES EFFETS PATHOGENES 316
9 SELECTION DE BIO-ESSAIS 316
10 INTERPRETATION DES EFFETS OBSERVES 317
10.1 BIO-ESSAIS 317
10.2 SITES DE REFERENCE LOCAL 317
10.3 INVENTAIRE IN SITU 318
11 RECOMANDATIONS 319
11.1 PRELEVEMENT 319
11.2 LE PRE-TRAITEMENT DES ECHANTILLONS 321
11.3 CONSERVATION DES ECHANTILLONS TRAITES 322
12 CARACTERISATION DES CONDITIONS LIMITES DES SYSTEMES BIOLOGIQUES TESTES 323

AT5 CARACTERISATION BIOLOGIQUE : PARTIE 2 - FICHES TECHNIQUES

1 CODIFICATION DES FICHES TECHNIQUES 324

1.1 DISPONIBILITE 324

1.2 COUT 324

1.3 DUREE 324

1.4 PERIODE 325

1.5 COMPOSITION DES FICHES 325

GROUPE A EVALUATIONS BIOLOGIQUES AIGUËS 326

Fiche A1 TEST AIGU SUR ALGUES 327
Fiche A2 TEST AIGU BACTERIOLOGIQUE 331
Fiche A3 TEST AIGU THAMNOTOXKIT F 335
Fiche A4 TEST AIGU SUR DAPHNIES 339
Fiche A5 TEST AIGU ROTOXKIT F 342

GROUPE B EVALUATIONS BIOLOGIQUES CHRONIQUES 345

Fiche B1 TEST CHRONIQUE SUR DAPHNIES 346
Fiche B2 TEST CHRONIQUE SUR LARVES DE MOUSTIQUES 350
Fiche B3 TEST SUR *HYDRA ATTENUATA* – 96 HEURES 354
Fiche B4 ESSAI DE REPRODUCTION DE *CERIODAPHNIA DUBIA* – 7 JOURS 355
Fiche B5 TEST SUR *BRACHIONUS CALICYFLORUS* – 48 HEURES 356
Fiche B6 TEST SUR *HYALELLA AZTECA* – 14 JOURS 357
Fiche B7 TEST D'INHIBITION DE CROISSANCE D'ALGUES D'EAU DOUCE 358
Fiche B8 TEST BACTERIEN **Met**PLATE™ 359
Fiche B9 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE GERMINATION 361
Fiche B10 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE LA CROISSANCE 362
Fiche B11 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DU DEVELOPPEMENT 364

GROUPE C TESTS DE GENOTOXICITE 365

Fiche C1 TEST DE GENOTOXICITE : TEST MICRONOYAU XENOPE 366
Fiche C2 TEST DE GENOTOXICITE : TEST DES COMETES EN CONDITIONS ALCALINES 369

FICHE D TEST D'ACCUMULATION BIOLOGIQUE D'OLIGOCHETES 371

GROUPE E INVENTAIRE SUR LE TERRAIN 375

Fiche E1 INDICE OLIGOCHETES DE BIOINDICATION DES SEDIMENTS (IOBS) 376
Fiche E2 DENSITE TOTALE ET NOMBRE D'ESPECES DE CHIRONOMIDAE ET D'OLIGOCHETES 379
Fiche E3 MALFORMATIONS DE LA MACHOIRE CHEZ LES LARVES DE CHIRONOMUS 383

FICHE F SENSIBILITE DES BIO-ESSAIS POUR DES POLLUANTS SPECIFIQUES 386

FICHE G VALEURS K_p POUR UN SEDIMENT STANDARD 387

FICHE H PROBABILITE D'OBSERVATION DES EFFETS POUR 0% DE DEPASSEMENT DES CONCENTRATIONS DE BASE (UPA) 388

AT0

Annexes Techniques 0

Outils préalables à la caractérisation

SOMMAIRE

FICHE A	**GUIDE D'ENQUETE**	**110**
Partie A1	**CONTEXTE DU MILIEU**	**111**
Partie A2	**OBSERVATION SUR LE TERRAIN**	**112**
Partie A3	**RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**	**116**
GROUPE B	**INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE (D.I.)**	
Fiche B1	**CAS DES FOSSES ROUTIERS ET AUTOROUTIERS**	**121**
Fiche B2	**CAS DES FOSSES AGRICOLES**	**122**
Fiche B3	**CAS DES RUISSEAUX**	**123**
Fiche B4	**CAS DES RIVIERES ET FLEUVES NAVIGABLES**	**124**
Fiche B5	**CAS DES RIVIERES ET FLEUVES NON NAVIGABLES**	**125**
Fiche B6	**CAS DES CANAUX NAVIGABLES**	**126**
Fiche B7	**CAS DES CANAUX NON NAVIGABLES**	**127**
Fiche B8	**CAS DES ETANGS NATURELS**	**128**
Fiche B9	**CAS DES LACS NATURELS**	**129**
Fiche B10	**CAS DES LACS DE BARRAGE HYDROELECTRIQUE**	**130**
Fiche B11	**CAS DES BASSINS DE RETENUE**	**131**
Fiche B12	**CAS DES BASSINS ROUTIERS ET AUTOROUTIERS**	**132**
FICHE C	**DETERMINATION DU TEMOIN**	**133**
GROUPE D	**ESTIMATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS**	
Fiche D1	**BATHYMETRIE PAR NIVELLEMENT**	**134**
Fiche D2	**BATHYMETRIE PAR ECHO-SONDEUR**	**135**
Fiche D3	**BATHYMETRIE PAR NILOMETRE**	**136**
FICHE E	**MATRICE CROISANT ACTIVITES HUMAINES ET CONTAMINANTS DANS LES SEDIMENTS**	**137**

FICHE A
Guide d'enquête

NOM DU LIEU : .....

Nom de l'enquêteur : .....
Organisme : .....
Pour le compte de : .....
Date : ...../ ...../ .....

A1) CONTEXTE DU MILIEU

Cartographie
Fournir un plan général de situation comprenant le cours d'eau, l'étang, le port, etc au 1/25 000.
Fournir des photographies.

Type de milieu
rivière / canal / plan d'eau / fossé de voirie / zone portuaire fluviale / zone portuaire maritime / autre : ....

Désignation : .....
Longueur : .....
Largeur : .....
Surface : .....

Bassin versant (Nom, n°) : .....
Source : .....
Affluents : .....
Embouchure / Confluence : .....

Dans le cas d'un cours d'eau :
Domanial / non domanial
propriétaire : .....
adresse : .....
tél : .....

Référence SDAGE / SAGE (ressource –eau / usage : milieux remarquables, zones sensibles) : .....
.....

Existence de syndicats de gestion Communaux / Intercommunaux / Départementaux / Inter-départementaux : OUI / NON (mettre la liste en annexe en précisant les compétences de chacun)

Qui assure la police des eaux ? .....

A2) OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN

Ê **Localisation du secteur concerné**

Commune : .....
Département : .....
Carte topographique / localisation : .....
Coordonnées Lambert X : .....m Y : .....m Z : ..... m
Autre repérage : .....
Propriétaire : .....
.....
Condition d'accès : .....

Ë **Environnement du site**

Zone rurale : ❒ *agricole*
❒ *forestier*

Zone naturelle ❒

Zone industrielle ❒

Zone commerciale ❒

Zone habitée : ❒ *urbaine*
❒ *périurbaine*
❒ *dispersée*

Fréquentation du site et de ses abords :

è **Pédestre** aucune ❒
occasionnelle ❒
régulière ❒

è **Navigation**

❒ Loisirs aucune ❒
occasionnelle ❒
régulière ❒
Type d'embarcations : .....

❒ touristique aucune ❒
occasionnelle ❒
régulière ❒
Type d'embarcations : .....

❒ Commerciale aucune ❒
occasionnelle ❒
régulière ❒
Gabarit de la navigation : .....

Ì **Description détaillée du site**

è Cette description doit être accompagnée de photographies et d'une cartographie au 1/5000 : .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

è Caractéristiques géométriques moyennes (préciser si les valeurs sont estimées ou mesurées) :

Largeur : .....m
Longueur : .....m
Profondeur : .....m

è Eau :

Ecoulement régulier / irrégulier
vitesse au moment de l'observation : .....
quand y a-t-il de l'eau ? .....
débit observé : .....
débit moyen au point d'observation : .....
origine : .....
Couleur de l'eau : .....
Présence de mousse : oui / non
Présence de bulles : oui / non
Présence de débris : oui / non

è Berges :

Enherbées ❒
Boisées ❒
Enrochées ❒
Plaquées ❒
Autres : .....

Stabilité : ❒ *bonne*
❒ *moyenne*
❒ *mauvaise*

Ravinement / Ruissellement Rive G / D
Présence d'un chemin / route Rive G / D

è Entretien :

Récent / Ancien
Régulier / Irrégulier
Sous quelle forme ? .....
Par qui ? .....
Etat d'envasement : Fort / Moyen / Faible
Rapidité d'envasement : .....
Date du dernier curage : ...../..../....
Risque de décolmatage du fond après curage : oui / non

è Présence de superstructures et d'ouvrages : nombre .....
(typologie de celles-ci en annexe)

Nom	Type	Etat	Dimension	Utilisation	Accès

Í **Indications sur la pollution potentielle du milieu**

Pollution des eaux de surface

Signes de pollution (faune, flore) :
❒ oui
❒ non

Utilisation du site :
❒ non
❒ oui, nature : .....
distance : .....

Présence d'une source de pollution :
❒ non
❒ oui, de quel type : .....
distance : .....

Existence de rejets dans le cours d'eau :
❒ non
❒oui, origine : réseau d'assainissement ❒ rejets agricoles ❒
rejets de particuliers ❒ routes ❒
rejets industriels ❒ autres : .....

Présence d'une ou de plusieurs décharges ou sites de dépôts :

❒ non
❒ oui, de quel type : ❒ sauvage
❒ contrôlée
Nature des déchets : .....

Signe de ruissellement (érosion...) :

❒ non
❒ oui

Situation en zone d'inondation potentielle :

❒ non
❒ oui

Pollution des eaux souterraines

❒ non
❒ suspectée
❒ oui

Pollution des sédiments

❒ non
❒ suspectée
❒ oui

Atteintes à la faune

❒ non
❒ suspectée
❒ oui

Atteintes à la flore

❒ non
❒ suspectée
❒ oui

A3) RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Ê **Environnement du site**

Le site est-il situé dans une zone écologique particulière, PNR, ZNIEFF, Zico… ?
Si oui, laquelle ? .....
.....
.....
.....

Ë **Gestion et utilisation du site**

Cours d'eau exploité (au point d'observation) : oui / non

Nature de l'exploitation :

- ❒ Natura 2000
- ❒ agricole (irrigation)
- ❒ industrielle (pompage)
- ❒ commerciale (port/canal)
- ❒ touristique
- ❒ pisciculture
- ❒ pêche Existence d'un syndicat de pêche : oui / non
  Nom : .....
  adresse : .....
- ❒ autres : .....

Ì **Historique des aménagements**

Lister l'ensemble des activités ayant eu lieu sur le site (industrie...) et les différents aménagements effectués.
Cette recherche sera effectuée à partir de photos IGN, archives, mairies, plan de conception de précédents travaux.

Nom	Année	Activité	Caractéristiques particulières

Í **Estimation du volume et de la nature des sédiments**

Les renseignements ci-dessous sont à trouver à partir d'éventuelles études antérieures. Il ne s'agit pas, à ce niveau de l'étude, de réaliser des mesures et analyses.

Volume de sédiments à curer (si connu) : ..... m^3.

Nature des sédiments : .....
.....
.....
.....

Î **Cartographie du réseau hydrographique**

Existence de rejets d'eaux usées dans le site :

❒ non

❒ oui, origine : réseau d'assainissement ❒ rejets agricoles ❒
rejets de particuliers ❒ routes ❒
rejets industriels ❒ autres : .....

Connaissance des volumes et de la qualité des effluents : .....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Etat de l'assainissement :

raccordé ❒ .....%

unitaire ❒ oui séparatif ❒ oui
❒ non ❒ non

Existence de rejets d'eau pluviale dans le site :

❒ oui

❒ non

Connaissance des volumes et de la qualité des effluents : .....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Inventaire des réseaux eaux pluviales et eaux usées et des autres points de rejet (collecte de l'information existante et plan des réseaux d'assainissement) : .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Signe de ruissellement (érosion...) : ❒ oui
❒ non

Situation en zone d'inondation potentielle : ❒ oui
❒ non

Historique des inondations (entretien avec les riverains, par exemple) :

Récurrence des inondations : .....
Date de la dernière inondation : du ..../...../..... au ...../...../.....
Date de l'inondation la plus importante : ...../...../.....
Couleur de l'eau pendant les crues : .....

Ï **Indications sur la pollution potentielle du milieu**

Pollutions / accidents déjà constatés

Date	Type	Origine	Manifestations principales

Ð **Analyses des causes des problèmes constatés**

Lister les causes possibles des problèmes d'envasement constatés : .....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Ñ **Annexes**

Personnes rencontrées lors de l'observation, ou à rencontrer :

NOM	Qualité (riverain, propriétaire, exploitant, élu (fonction), gestionnaire (société), association..)	Téléphone

Avis des personnes rencontrées par rapport à d'éventuelles actions envisageables :

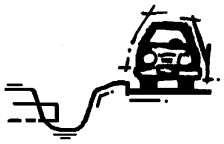
❒ Arrêt d'une source d'alimentation en eau potable (AEP)
❒ Création de réseau de surveillance des eaux souterraines
❒ Curage
❒ Débroussaillage, faucardage
❒ Démolition d'infrastructures
❒ Enlèvement de déchets, végétation, encombrants, ...
❒ Evacuation du site
❒ Restriction d'accès au site
❒ Remplacement d'une d'AEP
❒ Stabilisation / arrêt des émanations polluantes (bassins...)
❒ Autres : .....
.....
.....
.....

Documents annexes

Documents concernant le milieu, ou le point d'observation
Analyses déjà effectuées (avant cette étude) :

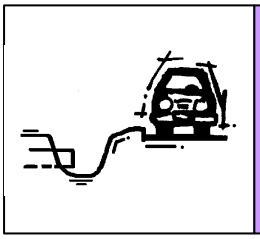
Organisme prélevé	Date	Lieu	Nature de l'échantillon	Méthode de prélèvement	Méthode d'analyse	Laboratoire d'analyse

Autres documents : .....



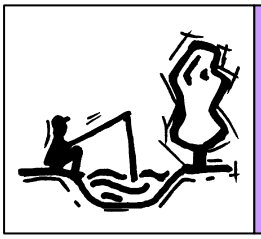
FICHE B1
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Fossés Routiers et Autoroutiers

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Enquête publique réalisée lors de la construction (Etude d'Impact).	Conseil Régional
	Etudes préalables à la construction, et gestion du suivi	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
	Gestion et suivi des écoulements	Syndicat Intercommunal
	Gestion, et construction	DDE
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
	Estimation du trafic	DDE
	Informations complémentaires	Enquête auprès des riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources provenant du réseau routier	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
	Sources provenant des activités environnantes	Enquête auprès des riverains



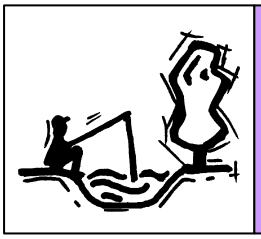
FICHE B2
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Fossés Agricoles

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Etude de Remembrement	Conseil Régional
	Etudes préalables à la construction, et gestion du suivi	Communes et Syndicats Intercommunaux
	Gestion et suivi des écoulements	Enquête auprès des Agriculteurs
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Commune et Syndicats intercommunaux
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Agriculteurs
Nature des sources de pollution potentielles	Sources d'origine Agricole	Enquête auprès des Agriculteurs, et Chambre d'Agriculture
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE



FICHE B3
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Ruisseaux

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Etude de Remembrement	Conseil Régional
	Gestion et suivi du site	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
		Communes et Syndicats Intercommunaux
	Autres informations ou études particulière	Enquête auprès des Riverains, et Associations
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Commune et Syndicats intercommunaux
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Agriculteurs
Nature des sources de pollution potentielles	Sources d'origine Agricole	Enquête auprès des Agriculteurs, et Chambre d'Agriculture
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
	Autres informations	Communes et Syndicats Intercommunaux

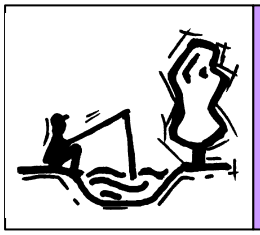


FICHE B4

INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE

Cas des Rivières et Fleuves navigables

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Enquête Publique (si curage > 5 000 m^3)	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Gestion et suivi du site	VNF et autres gestionnaires (CNR)
		Agence de l'Eau
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée (Gestion du patrimoine)	Informations sur la qualité de l'Eau	DIREN (SEMA)
		Agence de l'eau ou organisme chargé de la surveillance des Sédiments
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Services de navigation et Police des eaux
		Agence de l'Eau
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Historique	Archives Communales ou départementales
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources générales	Services de navigation et Police des eaux
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
	Connaissance du milieu	Association locale de protection de la nature, Sports et Loisirs.
Evolution spatiale de la zone d'étude	Photographies aériennes des zones d'étude	IGN ou gestionnaire

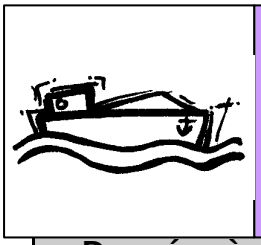


FICHE B5

INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE

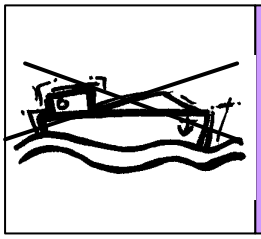
Cas des rivières et fleuves non navigables

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerne	Gestion et suivi du site	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
		Conseil Supérieur de la Pêche
	Etudes antérieures	Agence de l'Eau RNB
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée (Gestion du patrimoine)	Informations sur la qualité de l'Eau	Banque des données Hydro
		Agence de l'eau
		DIREN (SEMA)
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Syndicat Intercommunaux
		Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Historique	Archives Communales ou départementales
	Gestion Hydraulique des écoulement	Parc Naturel Régional
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources générales	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
		Archives Communales ou départementales
	Connaissance du milieu	Association locale de protection de la nature, Sports et Loisirs.
Evolution spatiale de la zone d'étude	Photographies aériennes des zones d'étude	IGN



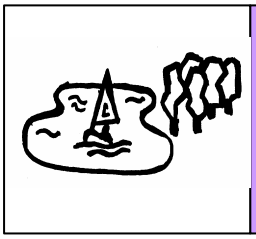
FICHE B6
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Canaux navigables

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Enquête Publique (si curage > 5 000 m^3)	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Gestion et suivi du site	Services de navigation et Police des eaux
		Conseil Supérieur de la Pêche
		Agence de l'Eau
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée (Gestion du patrimoine)	Informations sur la qualité de l'Eau	Banque des données *(à créer)*
		Agence de bassin
		DIREN (SEMA)
		Agence de l'eau *ou tout autre organisme qui serait chargé de la surveillance des sédiments*
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Syndicat Intercommunaux, et communes
		Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
		VNF
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources générales	Services de navigation et Police des eaux
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
		Archives Communales ou départementales
	Connaissance du milieu	Association locale / DIREN
Evolution spatiale de la zone d'étude	Photographies aériennes des zones d'étude	IGN



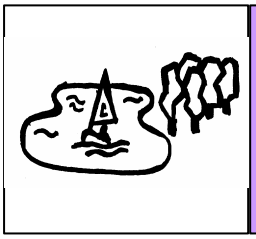
FICHE B7
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Canaux non navigables

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerne	Gestion et suivi du site	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
		Conseil Supérieur de la Pêche
		Communes et Syndicats Intercommunaux
		Agence de l'Eau
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée (Gestion du patrimoine)	Informations sur la qualité de l'Eau	Banque des données *(à créer)*
		BNDE
		DIREN (SEMA)
		Agence de l'eau *ou tout autre organisme qui serait chargé de la surveillance des sédiments*
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Syndicat Intercommunaux
		Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Historique	Archives Communales ou départementales
	Gestion Hydraulique des écoulements	Parc Naturel Régional
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources générales	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
		Archives



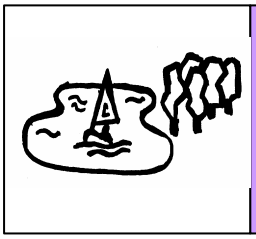
FICHE B8
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Etangs Naturels

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Gestion et suivi du site	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
		Communes
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Gestion du milieu	Associations locales Pêche, Sports et Loisirs
Nature des sources de pollution potentielles	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
	Connaissance du milieu	Association locale, DIREN ou toute autre source d'information sur les pollutions



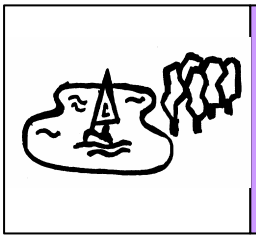
FICHE B9
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Lacs Naturels

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Gestion et suivi du site	Communes et Syndicats Intercommunaux
		Propriétaire du site
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée **(Gestion du patrimoine)**		Communes et Syndicats Intercommunaux
		Propriétaire du site
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Agence de l'Eau
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
	Historique	Archives Communales ou départementales
	Informations complémentaires	Enquête auprès des Riverains
Nature des sources de pollution potentielles	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
Evolution spatiale de la zone d'étude	Photographies aériennes des zones d'étude	IGN



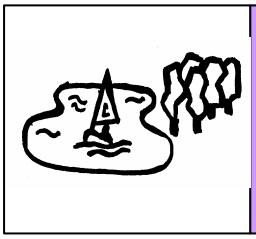
FICHE B10
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Lacs de barrage hydroélectrique

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Enquête Publique (titre de concession ou d'autorisation)	Réseau de surveillance local, gestionnaire ou exploitant (EDF, DDE, producteurs autonomes…)
	Gestion et suivi du site	Communes
Qualité Chronique des Sédiments de la zone considérée **(Gestion du patrimoine)**	Gestion de la qualité des eaux et des sédiments	Réseau de surveillance local, gestionnaire ou exploitant (EDF, DDE, producteurs autonomes…)
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des accidents	Réseau de surveillance local, gestionnaire ou exploitant (EDF, DDE, producteurs autonomes…)
	Déversements d'origine Industrielle	DRIRE
Nature des sources de pollution potentielles	Sources possible	Réseau de surveillance local, gestionnaire ou exploitant (EDF, DDE, producteurs autonomes…)
	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
	Connaissance du milieu	Association Protection de la nature / DIREN
Evolution spatiale de la zone d'étude	Photographies aériennes des zones d'étude	IGN / gestionnaire



FICHE B11
INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE
Cas des Bassins de retenue

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Enquête Publique	Mission Inter-service de l'Eau (Police des eaux)
	Gestion et suivi du site	Syndicats Intercommunaux et Communes Syndicats d'Aménagement Hydraulique
Gestion du site	Evolution du bassin	Parc Naturel Régional
Nature des sources de pollution potentielles	Sources d'origine Industrielle	DRIRE
	Gestion et suivi du site	Syndicats Intercommunaux et Communes Syndicats d'Aménagement Hydraulique



FICHE B12

INFORMATIONS POUR L'ETUDE HISTORIQUE

Cas des Bassins routiers et autoroutiers

Données à collecter	Information spécifique	Organisme
Etudes morphologiques et Hydrauliques antérieures, réalisées sur le site concerné.	Gestion et suivi du site	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
	Etudes préalable à la réalisation des travaux	DDE
Inventaire historique des déversements accidentels ou non sur une période récente	Inventaires des événement et historique	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
		DDE
Nature des sources de pollution potentielles	Sources inventoriées	Entreprise gérante de la route ou de l'Autoroute
	Environs	DDE

FICHE C
Détermination du témoin régional

De toute évidence il est préférable de comparer les teneurs en polluant détectées dans un sédiment, au sédiment non pollué du bassin versant considéré, plutôt qu'à un standard mondial qui ne prend pas en compte la géologie locale. C'est pourquoi la détermination d'un témoin régional s'impose.

Deux méthodes sont décrites par ROBBE en 1981 :

PRELEVEMENT DE SURFACE

Méthode :
Prélèvement en amont des sources de pollution et des habitations (dans la mesure du possible).

Données :
Plusieurs prélèvements permettent d'établir un histogramme des valeurs et d'en déduire la valeur la plus fréquente.

Inconvénients :
Cette méthode implique :

- ☹ Une bonne connaissance de la géologie du bassin versant,
- ☹ Une bonne connaissance du fonctionnement des nappes (zones de résurgences, etc.),
- ☹ Un choix judicieux des points de prélèvement.

PRELEVEMENT DE CAROTTES

Méthode :

- ✓ Prélèvement de carottes non-remaniées,
- ✓ Découpage en tranches pertinentes,
- ✓ Observation de la distinction entre fond naturel géochimique et apport anthropique superficiel.

Données :
Les analyses sont effectuées à différents niveaux sur la carotte et permettent de différencier les horizons.

Avantage :

- ☺ Cette méthode limite le nombre de prélèvement et d'analyses à effectuer.

Inconvénients :

- ☹ Méthode plus délicate : la manipulation de la carotte doit se faire sous inertage à l'azote afin de limiter l'oxydation des formes réduites ce qui fausserai les résultats,
- ☹ Cette méthode n'est valable que pour les cours d'eau n'ayant pas encore subit de dragage,
- ☹ Méthode valable pour les cours d'eau naturels.

FICHE D1
ESTIMATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS
Bathymétrie par Nivellement

cours d'eau en milieu rural ou rivières	**canaux navigables**

Types de sédiment appropriés

Cette méthode est appropriée aux sédiments mous, et vaseux.

Protocole d'estimation

A partir d'une embarcation, le relevé s'effectue à l'aide d'une mire. Les mesures suivantes sont obtenues par nivellement :

- Hauteur d'eau à partir de la couche supérieure de vase,
- Hauteur d'eau à partir du fond dur.

L'épaisseur de sédiment est alors déduite pour chaque point et le calcul de volume s'effectue de la façon suivante :

$$V = S \times L$$

S = section envasée, épaisseur de sédiment × largeur de la section (en m^2),
L = distance entre deux points de mesure,
V = volume de sédiment.

5 points par profil minimum sont recommandés.

Avantages

☺ Méthodes simples demandant une formation rapide du personnel.
☺ Coût limité de la location des appareils de mesure…..

Inconvénients

☹ Incertitude sur la mesure de hauteur d'eau. En effet il n'existe pas de moyen de savoir que le vieux fond est bien atteint, et que la mesure n'a pas été prise à partir d'une couche de sédiment durcie.
☹ Même incertitude en ce qui concerne la mesure à partir de la surface de sédiment.
☹ Nécessité de maintenir la mire en position verticale pour permettre une mesure exacte. Cet exercice s'avère difficile sur une embarcation non fixé au sol.
☹ Technique applicable aux faibles profondeur (≤ 1 m au maximum)

FICHE D2
ESTIMATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS
Bathymétrie par Echo-sondeur

fleuves	**canaux navigables**	**canaux non navigables**	**plans d'eau**

Types de sédiment appropriés :
Tous types.

Protocole d'estimation
Cette méthode utilise le principe de réflexion des ondes sur le fond d'un cours, et de leur réflexion et réfraction différente selon le type de sol rencontré. Elle nécessite un équipement spécifique nommé Echo-sondeur.

Le nombre de point de prélèvement est limité et doit être localisé précisément par GPS. La vitesse du bateau doit être constante.

Le volume de sédiment est calculé par informatique, avec, comme hypothèse de départ, la cote projet à atteindre.

Avantages
- ☺ Fiabilité et précision des données répertoriées.
- ☺ Utile pour les mesures en eaux profondes qui ne permettent pas l'utilisation de matériels plus légers.
- ☺ Existe en sonde mono - faisceau (ondes linéaires) et multi - faisceaux (ondes surfaciques, apportant davantage d'information).

Inconvénients
- ☹ La manipulation est effectuée par un personnel formé, et les interprétations sont réalisées par un ingénieur qualifié.
- ☹ Le coût de la location du matériel, et le paiement des journées de Technicien et d'Ingénieur est relativement élevé.
- ☹ La vase trop fluide n'est pas prise en compte par l'appareil car les ondes la traverse de la même façon que l'eau.

FICHE D3
ESTIMATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS
Bathymétrie par Nilomètre

cours d'eau de faible profondeur	**Bassins**

Type de sédiment appropriés :
Tous types.

Protocole d'estimation
Cette méthode utilise la propriété de conductivité de l'eau et des sédiments pour définir la limite entre ces deux milieux. Les mesure sont effectuées à partir du bord pour les cours d'eau ou les bassins étroits, et partir d'une embarcation pour les autres.

Le nilomètre, fixé à une tige verticale est enfoncé dans l'eau et le sédiment au maximum, et en différents points répertoriés sur une carte. L'appareil mesure l'épaisseur de sédiment rencontrée, ainsi que la hauteur d'eau traversée.

A l'aide des cotes de fond et de surface, l'épaisseur de sédiment est calculée à l'aide d'un logiciel informatique (Ex : Surfer).

Avantages
- ☺ Méthodes simples demandant une formation légère du personnel.
- ☺ Possibilité de déceler l'éventuel présence de couche de sédiment endurée, et de calculée le volume total de sédiment présent
- ☺ Coût relativement faible de location de l'appareil de mesure.
- ☺ Rapidité de la prise de mesure sur le terrain.

Inconvénients
- ☹ Incertitude de mesure liée au positionnement plus ou moins verticale du nilomètre.
- ☹ Nécessité de connaître les cotes exactes des « vieux fonds » et « vieux bords » au niveau de chaque point de mesure.

FICHE E
Matrice croisant activités humaines et contaminants dans les sédiments

CONTAMINANTS \ INDUSTRIES	Aluminium	Munitions	Peinture antisalissure	Automobile	Batteries	Chimie	Agriculture intensive	Galvanisation	Produits laitiers	Détergents / Agents de surface	Teintures	Appareils électriques	Explosifs	Verre plat	Fruits et légumes	Cuir / Tannerie	Industrie de la viande	Finition du métal	Processus métallurgiques	Fabrication d'acide nitrique	Fabrication d'oxyde	Parfums	Pesticides / Engrais	Raffineries de pétrole	Extraction du phosphate	Phosphore	Photographie	Pigments / Encres	Plastiques	Planches d'impression	Fabrication de papier et carton	Caoutchouc	Force motrice à vapeur	Acier / Fer	Acide sulfurique	Textiles	Distribution d'eau, gaz, électricité	Extraction de minerais précieux	Traitement des eaux usées	Sources non ponctuelles potentielles	Chantiers navals	Ravitaillement des navires
Acénaphtène							•				•												•																	
Aldrine							•																•																	
Ammoniaque						•	•		•				•		•		•			•			•	•				•					•	•	•			•			
Aniline											•			•				•				•						•					•	•	•						
Arsenic				•														•	•							•	•						•	•					•		
Benzo(a)anthracène																																	•							•	•
Benzo(a)pyrène				•														•															•	•		•			•	•	•
Cadmium	•			•		•						•						•															•						•	•	
Chlordane																																						•			
Chrome	•			•		•		•								•		•			•						•						•					•	•	•	
Cuivre		•	•	•				•				•	•					•			•						•						•					•	•	•	
Cyanure								•										•															•								
DDE																							•																•		
DDT							•																•																	•		
Dieldrine							•																•																			
Endrine																							•																			
Ethylparathion																							•																			
Fluoranthène																																								•	•	•
Heptachlore																							•																			
HCB																							•																			
HCBD																																										
HCCPD					•													•																								
Plomb			•		•			•				•						•						•				•	•				•	•				•	•	•	
Mercure			•			•						•																•			•						•	•	•	•	
2-Méthylnaphtalène						•																																				
Nickel	•							•				•						•	•												•	•						•	•		
Huiles et graisses				•		•												•	•												•		•					•	•	•	•
Organo-étain / Etain			•																																						•	
PCB				•								•																					•					•		•	
Phenanthrène																																	•			•				•	•
Phosphore		•					•		•	•					•								•		•	•	•			•			•			•		•	•		
Pyrène																																	•			•			•	•	•	•
Sélénium						•						•		•										•			•	•				•				•				•		
TCDD																								•							•											
TCDF																								•							•											
Toxaphène						•	•																•																			
Zinc		•		•				•		•		•						•	•		•								•				•			•	•	•	•	•	

*Source : B.R.G.M., **2000**. Gestion des sites (potentiellement) pollués. BRGM Editions, MATE. Annexe 3 – Matrices simplifiées activités/polluants.*

AT1

Annexes Techniques 1

Caractérisation des sédiments en fonction des milieux

SOMMAIRE

GROUPE A PROJET DE SURVEILLANCE DES SÉDIMENTS 140

FICHE A1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES COURS D'EAU
Fiche A1-1 RIVIERE ET FLEUVES NON NAVIGABLES 141
Fiche A1-2 RIVIERE ET FLEUVE NAVIGABLES 142

FICHE A2 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX
Fiche A2-1 CANAL NON NAVIGABLE 143
Fiche A2-2 CANAL NAVIGABLE 144

FICHE A3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES PLANS D'EAU
Fiche A3-1 LAC NATUREL 145

GROUPE B PROJET DE CURAGE 146

Fiche B1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES FOSSES
Fiche B1-1 FOSSE ROUTIER ET AUTOROUTIER 147
Fiche B1-2 FOSSE AGRICOLE 148

Fiche B2 CAS DES COURS D'EAU
Fiche B2-1 RUISSEAU 149
Fiche B2-2 RIVIERE ET FLEUVES NON NAVIGABLES 150
Fiche B2-3 RIVIERE ET FLEUVE NAVIGABLES 151

Fiche B3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX
Fiche B3-1 CANAL NON NAVIGABLE 152
Fiche B3-2 CANAL NAVIGABLE 153

Fiche B4 CAS DES PLANS D'EAU
Fiche B4-1 LAC NATUREL 154
Fiche B4-2 LAC DE BARRAGE HYDROELECTRIQUE 155
Fiche B4-3 ETANG NATUREL 156
Fiche B4-4 BASSIN DE RETENUE 157
FICHE B4-5 BASSIN ROUTIER ET AUTOROUTIER 158

GROUPE A
Surveillance des sédiments

FICHE A1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES COURS D'EAU

Fiche A1-1 Rivière et fleuve non navigables 141
Fiche A1-2 Rivière et fleuve navigables 142

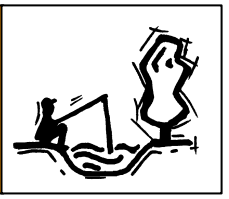
FICHE A2 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX

Fiche A2-1 Canal non navigable 143
Fiche A2-2 Canal navigable 144

FICHE A3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES PLANS D'EAU

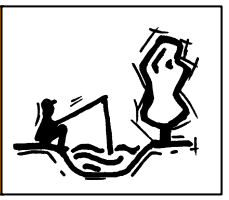
Fiche A3-1 Lac naturel 145

FICHE A1-1 Surveillance des sédiments Rivière et fleuve non navigables



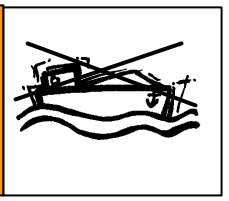
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, paragraphe 4.3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A4
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	CS K et CS PC Composite en profondeur	AT3 Fiche A2
	CS BIO Composite en surface	AT3 Fiches A2,
Ï **Analyses de routine**		Chap. 2, tab.1, 3, 7 & 8 / AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	En fonction de l'usage du site	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**		Chap 2, paragraphes 5.1.4/5.2.4/5.3.5.

FICHE A1-2 Surveillance des sédiments Rivière et fleuve navigables



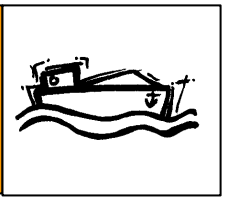
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, paragraphe 4.3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A4
Í **Outils de prélèvement**	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	CS K et CS PC Composite en profondeur	AT3 Fiche A2
	CS BIO Composite en surface	AT3 Fiches A2,
Ï **Analyses de routine**		Chap. 2, tab.1, 3, 7 & 8 / AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	En fonction de l'usage du site	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**		Chap 2, paragraphes 5.1.4/5.2.4/5.3.5.

FICHE A2-1 Surveillance des sédiments Canal non navigable



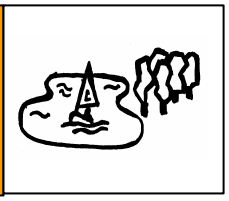
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, paragraphe 4.3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A4
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	CS K et CS PC Composite en profondeur	AT3 Fiche A2
	CS BIO Composite en surface	AT3 Fiches A2,
Ï **Analyses de routine**		Chap. 2, tab.1, 3, 7 & 8 / AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	En fonction de l'usage du site	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**		Chap 2, paragraphes 5.1.4/5.2.4/5.3.5.

FICHE A2-2 Surveillance des sédiments Canal navigable



Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, paragraphe 4.3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A4
Í **Outils de prélèvement**	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	CS K et CS PC Composite en profondeur	AT3 Fiche A2
	CS BIO Composite en surface	AT3 Fiches A2,
Ï **Analyses de routine**		Chap. 2, tab.1, 3, 7 & 8 / AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	En fonction de l'usage du site	Chap. 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**		Chap. 2, paragraphes 5.1.4/5.2.4/5.3.5.

FICHE A3-1 Surveillance des sédiments Lac naturel



Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, paragraphe 4.3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
Ì **Stratégies de prélèvement**	Maillage (SEQ$_{SED}$K & PC)	AT2 Fiche B1
	Autres	AT2 Fiche A3
Í **Outils de prélèvement**	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	CS K et CS PC Composite en profondeur	AT3 Fiche A2
	CS BIO Composite en surface	AT3 Fiches A2,
Ï **Analyses de routine**		Chap. 2, tab.1, 3, 7 & 8 / AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	En fonction de l'usage du site	Chap. 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**		Chap. 2, paragraphes 5.1.4/5.2.4/5.3.5.

GROUPE B
Projet de Curage

FICHE B1 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES FOSSES

Fiche B1-1	Fossé routier et autoroutier	147
Fiche B1-2	Fossé agricole	148

FICHE B2 CAS DES COURS D'EAU

Fiche B2-1	Ruisseau	149
Fiche B2-2	Rivière et fleuve non navigables	150
Fiche B2-3	Rivière et fleuve navigables	151

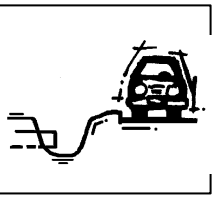
FICHE B3 APPROCHE PROPOSEE : CAS DES CANAUX

Fiche B3-1	Canal non navigable	152
Fiche B3-2	Canal navigable	153

FICHE B4 CAS DES PLANS D'EAU

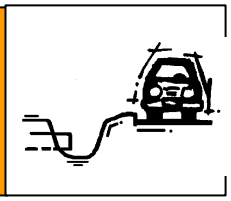
Fiche B4-1	Lac naturel	154
Fiche B4-2	Lac de barrage hydroélectrique	155
Fiche B4-3	Etang naturel	156
Fiche B4-4	Bassin de retenue	157
Fiche B4-5	Bassin routier et autoroutier	158

FICHE B1-1 Projet de curage Fossé routier et autoroutier



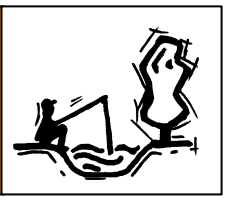
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab.1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B1
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Méthode simple	AT0, Fiches D
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
	Autres	AT2 Fiches C4
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Moyen sur la colonne de sédiment	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), HAP, Sélénium	AT0 fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
⑨ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4

FICHE B1-2 Projet de curage Fossé agricole



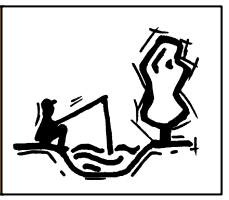
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab.1.
	Analyse Historique	AT0, Fiche B2
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Méthode simple	AT0, Fiches D
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
	Autres	AT2 Fiches C4
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Moyen sur la colonne de sédiment	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 fiche C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides Valeur agronomique, Métaux lourds	AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
⑨ Résultats	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4

FICHE B2-1 Projet de curage Ruisseau



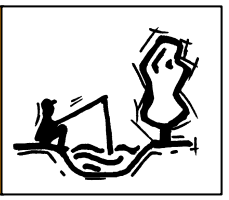
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab. 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B3
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
	Autres	AT2 Fiches C4
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Moyen sur la colonne de sédiment	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Selon historique du site	AT0 fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4

FICHE B2-2 Projet de curage Rivière et fleuve non navigables



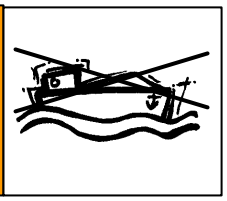
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B5
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Aléatoire dans DI Jugement dans DA	AT2 Fiche B2 AT2 Fiche B3
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routines**		Chap. 3, tab.7 AT 4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides En fonction de l'usage du site	Chap 2, tab 4 AT 4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B2-3 Projet de curage Rivière et fleuve navigables



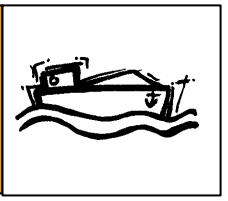
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B4
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Aléatoire dans DI Jugement dans DA	AT2 Fiche B2 AT2 Fiche B3
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides, Se, HAP	AT 4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
⓽ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B3-1 Projet de curage Canal non navigable



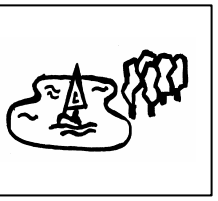
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B7
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Profil en long	AT2 Fiche B4
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Aléatoire dans DI Jugement dans DA	AT2 Fiche B2 AT2 Fiche B3
	Autres	AT2 Fiche A1b
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT 4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	HCT, HAP-Métaux En fonction de l'usage du site	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT 4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B3-2 Projet de curage Canal navigable



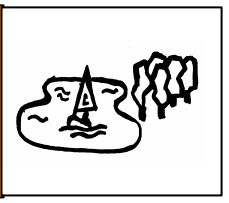
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, p62
	Analyse Historique	AT0, Fiche B6
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Aléatoire dans DI Jugement dans DA	AT2 Fiche B2 AT2 Fiche B3
	Autres	AT2 Fiche A1b
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT 4 fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides, Se, HAP	AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B4-1 Projet de curage Lac naturel



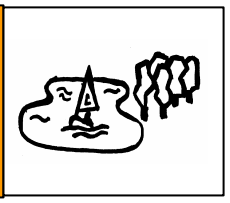
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, page 62
	Analyse Historique	AT0, Fiche B9
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
Ì **Stratégies de prélèvement**	Maillage	AT2 Fiche B1
	Autres	AT2 Fiche A1a
Í **Outils de prélèvement**	Bennes	AT2 Fiches C2
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides, HCT, HAP, métaux Valeurs agronomiques	AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B4-2 Projet de curage Lac de barrage hydroélectrique



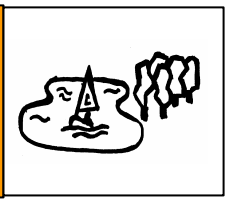
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B10
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Echo sondeur	AT0, Groupe D, Fiche D2
Ì **Stratégies de prélèvement**	Maillage	AT2 Fiche B1
	Autres	AT2 Fiche A1a
Í **Outils de prélèvement**	Carottier	AT2 Fiches C1
	Bennes	AT2 Fiches C2
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Phytosanitaires phényl urées (herbicides), pesticides, HCT, HAP, métaux Valeurs agronomiques	AT4 fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
⓽ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B4-3 Projet de curage Etang naturel



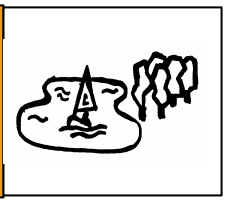
Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B8
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Méthode optimale	AT2 Fiche A1a
Í **Outils de prélèvement**	Carottiers	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7
Ð **Analyses spécifiques**	Selon usage et contexte du site Marqueur d'eutrophisation	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1 AT4 Fiches C
⓽ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B4-4 Projet de curage Bassin de retenue



Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 2, page ??
	Analyse Historique	AT0, Fiche B11
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Aide à la décision	AT2 Fiche A1a
Í **Outils de prélèvement**	Carottiers	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Choix d'une méthode	AT3 Fiche A1
	Explication des méthodes	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	Selon usage et contexte du site Marqueur d'eutrophisation	Chap 2, tab 4 AT0, Fiche E AT4 Fiches C
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

FICHE B4-5 Projet de curage Bassin routier et autoroutier



Actions	Moyens	Références au guide
Ê **Recherche d'informations**	Contexte Environnemental (DI)	Chap. 3, tab 1
	Analyse Historique	AT0, Fiche B12
	Visite du site (Guide d'enquête)	AT0, Fiche A
Ë **Bathymétrie**	Nivellement	AT0, Groupe D, Fiche D1
	Nilomètre	AT0, Groupe D, Fiche D3
Ì **Stratégies de prélèvement**	Méthode optimales	AT2 Fiche A1a
Í **Outils de prélèvement**	Carottiers	AT2 Fiches C1
	Drague à main	AT2 Fiches C3
Î **Stratégies d'échantillonnage**	Méthode optimale	AT3 Fiche A1
	Autres	AT3 Fiches A2, A3, A4
Ï **Analyses de routine**		Chap. 3, tab.7 AT4 Fiches C
Ð **Analyses spécifiques**	HAP, Métaux (Se, Cd et Pb, principalement)	Fiches AT4
Ñ **Conditionnement**	Selon les paramètres analysés	AT3 Fiche B1
❾ **Résultats**	Diagnostic initial, rapport final	Chap. 3, paragraphe 4
	Diagnostic approfondi, rapport final	Chap. 4, paragraphes 4

AT2

Annexes Techniques 2

Prélèvement

SOMMAIRE

GROUPE A CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Fiche A1 **PROJET DE CURAGE - CAS D'UN PLAN D'EAU** **161**
Fiche A2 **PROJET DE CURAGE - CAS D'UN COURS D'EAU** **163**
Fiche A3 **SURVEILLANCE DES SEDIMENTS - CAS D'UN PLAN D'EAU** **165**
Fiche A4 **SURVEILLANCE DES SEDIMENTS - CAS D'UN COURS D'EAU** **167**

GROUPE B TYPES DE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Fiche B1 **PRELEVEMENT EN MAILLAGE** **169**
Fiche B2 **PRELEVEMENT ALEATOIRE** **171**
Fiche B3 **PRELEVEMENT PAR JUGEMENT** **172**
Fiche B4 **PRELEVEMENT SELON UN PROFIL EN LONG** **174**

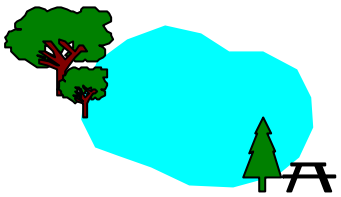
GROUPE C OUTILS DE PRELEVEMENT

Fiche C1 **LES CAROTTIERS** **175**
Fiche C1-1 CAROTTIER A GRAVITE 177
Fiche C1-2 CAROTTIER A BOITE 179
Fiche C1-3 CAROTTIERS A TUBE (A PISTON) 181
Fiche C1-4 ECHANTILLONNEURS BEEKER 182
Fiche C1-5 CAROTTIER ETANCHE 184
Fiche C1-6 CAROTTIER DE VRIJWIT (OU EN COIN) 187
Fiche C1-7 ECHANTILLONNEUR DE BOUES JENKINS 189
Fiche C2 **LES BENNES** **193**
Fiche C2-1 BENNE ECKMAN 195
Fiche C2-2 BENNE VAN VEEN 197
Fiche C2-3 BENNE SHIPECK 199
Fiche C3 **LES DRAGUES** **200**
Fiche C3-1 DRAGUE A MAIN DU CEMAGREF 200
Fiche C3-2 DRAGUE A MAIN 201
Fiche C4 **AUTRES** **203**
Fiche C4-1 LE SAC DE PRELEVEMENT 203
Fiche C4-2 CUILLERES, RACLOIRS OU SPATULES EN POLYPROPYLENE 204
Fiche C5 **PRELEVEMENT D'EAU ET DE SEDIMENTS EN SUSPENSION** **205**
Fiche C5-1 WATER TRAP 205
Fiche C5-2 LOAD SAMPLER 207
Fiche C5-3 DEPTH INTREGRATING SAMPLER 209

GROUPE D DU PRELEVEMENT A L'ECHANTILLONNAGE

Fiche D1 **FICHE DE TERRAIN** **211**
Fiche D2 **EXEMPLE DE FICHE DE TERRAIN** **213**

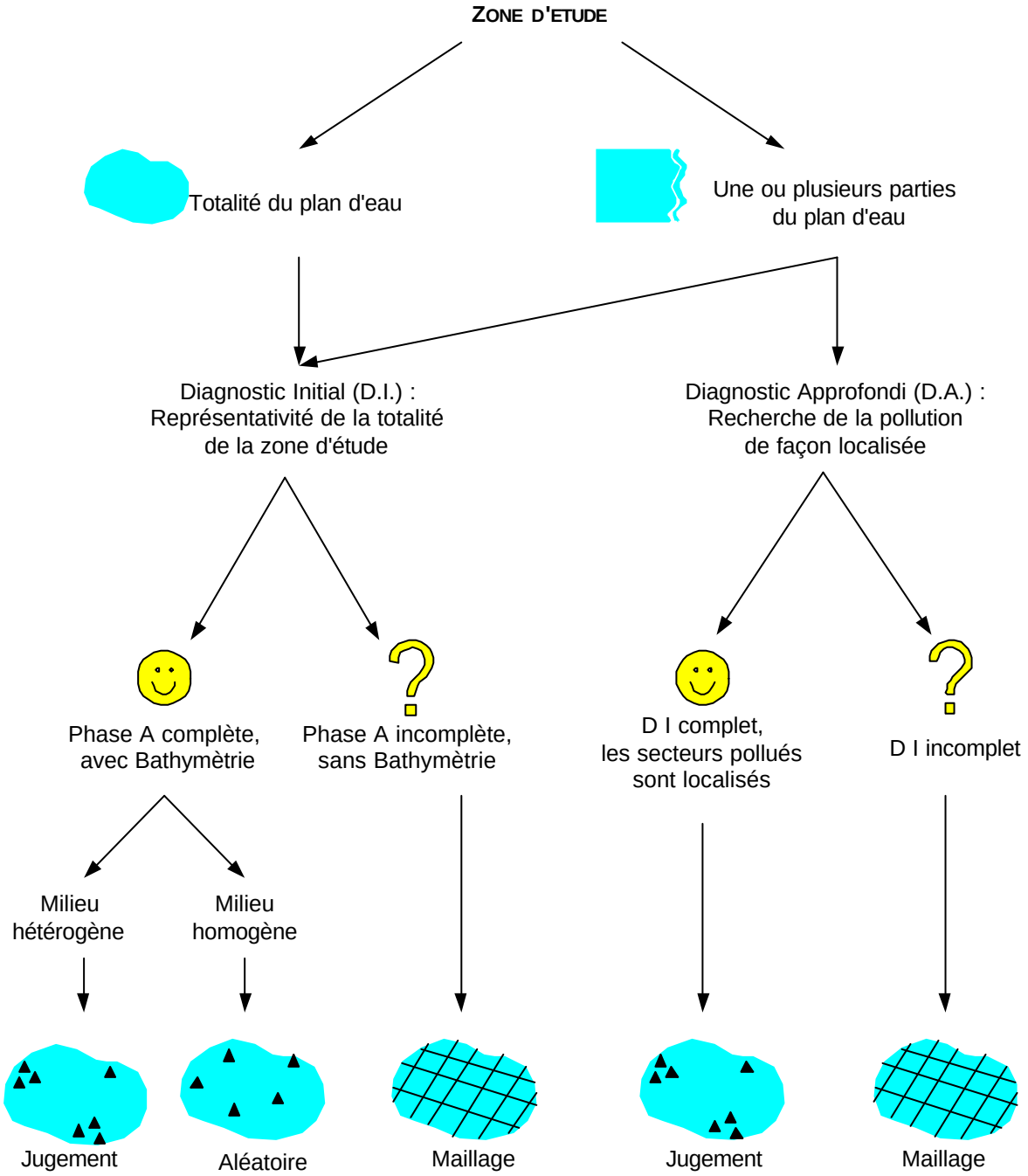
Cas d'un Plan d'eau



FICHE A1

CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Projet de curage



Avertissement :

Le schéma, en page précédente, est une aide à la prise de décision concernant le choix du mode de prélèvement. En fonction des informations dont le décideur dispose et de l'étape à laquelle il se situe dans la démarche de caractérisation, un type de prélèvement est proposé.

Notons que les modes de prélèvement figurant dans le schéma ne sont que des propositions faites au lecteur. En effet, d'autres méthodes de prélèvement pourraient convenir à la caractérisation des sédiments.

Schéma de lecture :

L'entrée du logigramme proposé, nous permet d'établir une stratégie de prélèvement, quelque soit le niveau d'étude de la zone. En effet :

- Si aucune donnée n'est disponible sur le plan d'eau, cela nécessite une première approche globale de la zone d'étude, cette approche se fait dans le cadre d'un DI.

- Si des données concernant la répartition préférentielle de la contamination existent (soit par connaissance du site, soit par un DI), l'objectif des prélèvements est de préciser ces informations, ce qui se fait classiquement dans le DA.

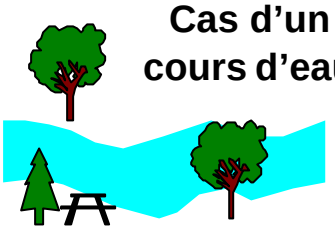
Ainsi le logigramme aide à la définition d'une stratégie de prélèvement, que l'on soit en DI ou en DA.

Dans le cadre d'un D.I., le mode de prélèvement est orienté en fonction des informations acquises au cours de la phase A (notamment la connaissance de la bathymétrie).

En effet, pour une sédimentation homogène sur un plan d'eau, les prélèvements peuvent être effectués selon un mode aléatoire. Par contre pour une sédimentation hétérogène, les prélèvements sont préférentiellement effectués dans les zones d'accumulation de sédiments : prélèvement au jugement.

En revanche lorsque la bathymétrie n'est pas connue, la méthode du maillage semble la mieux adaptée à la recherche d'une vision globale de la qualité des sédiments du plan d'eau.

Dans le cadre d'un D.A., si les secteurs présentant une anomalie qualitative ont été localisés lors du D.I. (diagnostic complet), des prélèvements dans les zones concernées peuvent être effectués selon une stratégie par jugement. En revanche si la localisation n'a pu être faite, la méthode par maillage est la plus adaptée.



Cas d'un cours d'eau

FICHE A2

CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Projet de curage

COURS D'EAU

Sédimentation homogène

Sédimentation hétérogène

Diagnostic Initial

Présence / Absence de pollution

Diagnostic Approfondi

Localisation et/ou Caractérisation de la pollution

Diagnostic Initial

Présence / Absence de pollution

Diagnostic Approfondi

Localisation et/ou Caractérisation de la pollution

Diagnostic Initial incomplet

Diagnostic Initial complet

Zones polluées localisées

Bathymètrie certaine

Bathymètrie incertaine

Fossé Ruisseau

Rivière Fleuve Canal

Profil en long

Aléatoire

Jugement

Maillage ou Aléatoire

Jugement

Avertissement :

Le schéma, en page précédente, est une aide à la prise de décision concernant le choix du mode de prélèvement. En fonction des informations dont le décideur dispose et de l'étape à laquelle il se situe dans la démarche de caractérisation, un type de prélèvement est proposé.

Notons que les modes de prélèvement figurant dans le schéma ne sont que des propositions faites au lecteur. En effet, d'autres méthodes de prélèvement pourraient convenir à la caractérisation des sédiments.

Schéma de lecture :

En ce qui concerne un cours d'eau, la démarche s'appuie sur le mode de sédimentation du tronçon considéré, puis selon l'étape dans la démarche de caractérisation (D.I. ou D.A.).

Ainsi pour une **sédimentation homogène** :

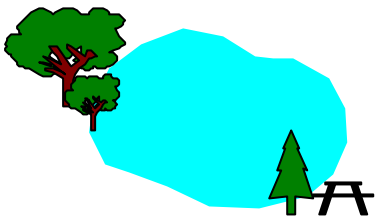
- dans le cadre d'un D.I., les prélèvements concernant les fossés ou les ruisseaux sont réalisés suivant un profil en long du fait de la faible largeur du cours d'eau. Ils seront fait de façon aléatoire pour les cours d'eau de largeur plus importante (rivière, fleuve, canal).

- dans le cadre d'un D.A., des prélèvements au jugement sont adaptés si le D.I. préalables est complet. Si ce n'est pas le cas, il est conseillé de le compléter.

Pour une **sédimentation hétérogène** :

- dans le cadre d'un D.I., des prélèvements au jugement permettront d'extraire les sédiments des zones d'accumulation si la bathymétrie est connue. Si ce n'est pas le cas, il sera préférable de pratiquer les prélèvements suivant un mode aléatoire ou en maillage.

- dans le cadre d'un D.A., les zones d'accumulation étant connues, un mode de prélèvement au jugement semble donc adapté.

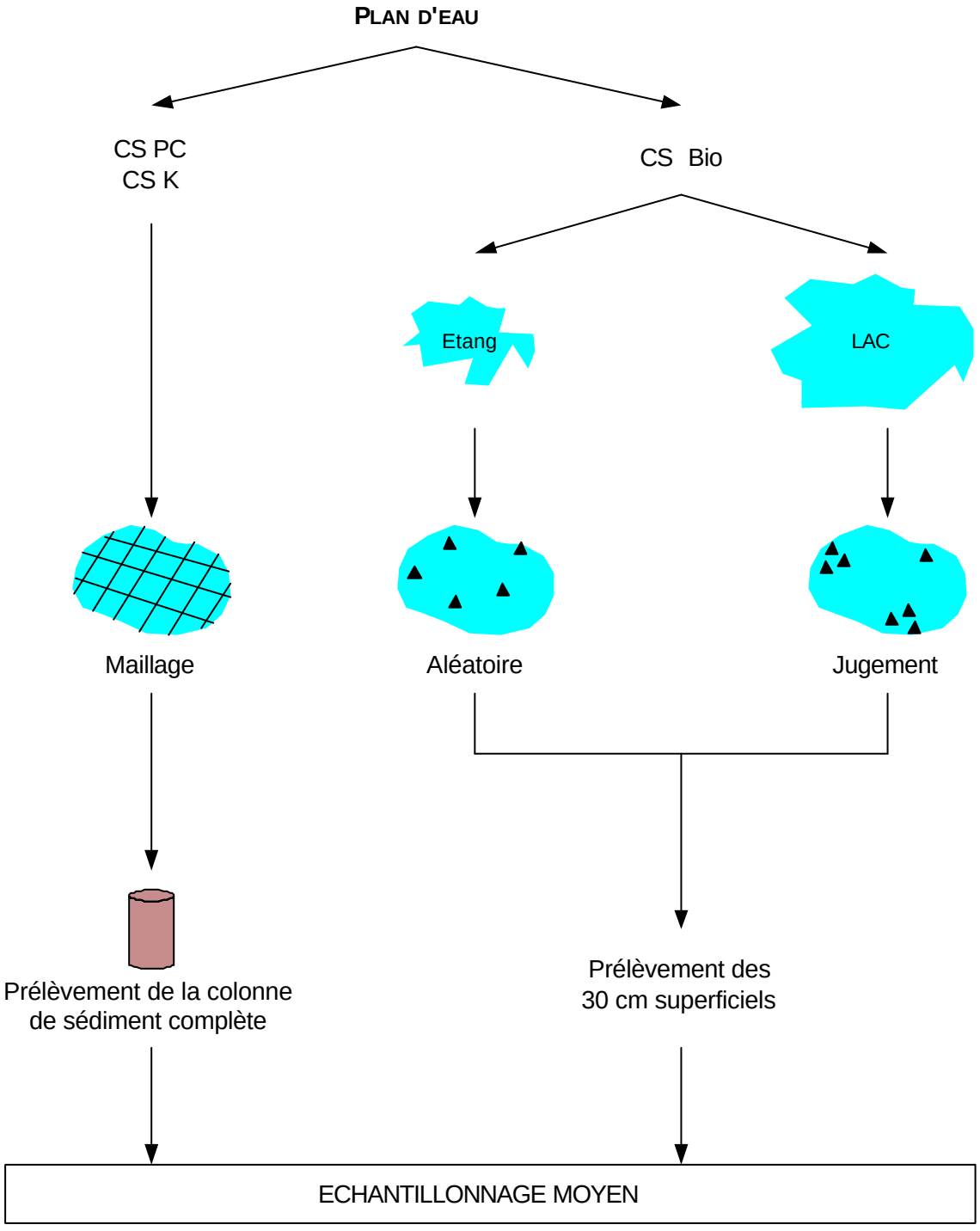


Cas d'un plan d'eau

FICHE A3

CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Surveillance des sédiments



Avertissement :

Le schéma, en page précédente, est une aide à la prise de décision concernant le choix du mode de prélèvement. En fonction des informations dont le décideur dispose et de l'étape à laquelle il se situe dans la démarche de caractérisation, un type de prélèvement est proposé.

Notons que les modes de prélèvement figurant dans le schéma ne sont que des propositions faites au lecteur. En effet, d'autres méthodes de prélèvement pourraient convenir à la caractérisation des sédiments.

Schéma de lecture :

Ce schéma fait apparaître à la fois des propositions concernant le mode de prélèvement, et le mode d'échantillonnage qui est spécifique à la surveillance des sédiments.

Dans le cadre d'un CS PC ou d'un CS K, le **prélèvement** en maillage est adapté à la recherche d'une vision globale de la qualité des sédiments d'un plan d'eau.

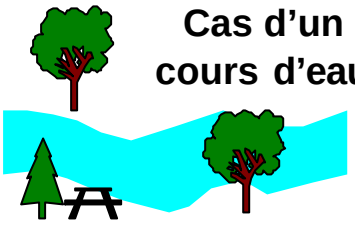
Dans le cadre d'un CS Bio, la composante biologique est ajoutée. Ainsi une distinction est à faire entre :

- un étang, plan d'eau où la zone profonde n'est que rarement soustraite à l'action de la lumière ce qui permet le développement des organismes vivants : des prélèvements sont effectués de façon aléatoire ;

- un lac, plan d'eau où la zone profonde est privée de lumière : seuls des prélèvements dans la zone soumise à l'action lumineuse sont effectués (prélèvement au jugement).

L'**échantillonnage** moyen est effectué sur les 30 centimètres superficiels de sédiments pour le CS Bio car plus en profondeur dans la colonne de sédiments, les organismes vivants ne sont plus représentés.

Au contraire, l'échantillon moyen pour le CS PC ou d'un CS K utilise la colonne complète de sédiments.

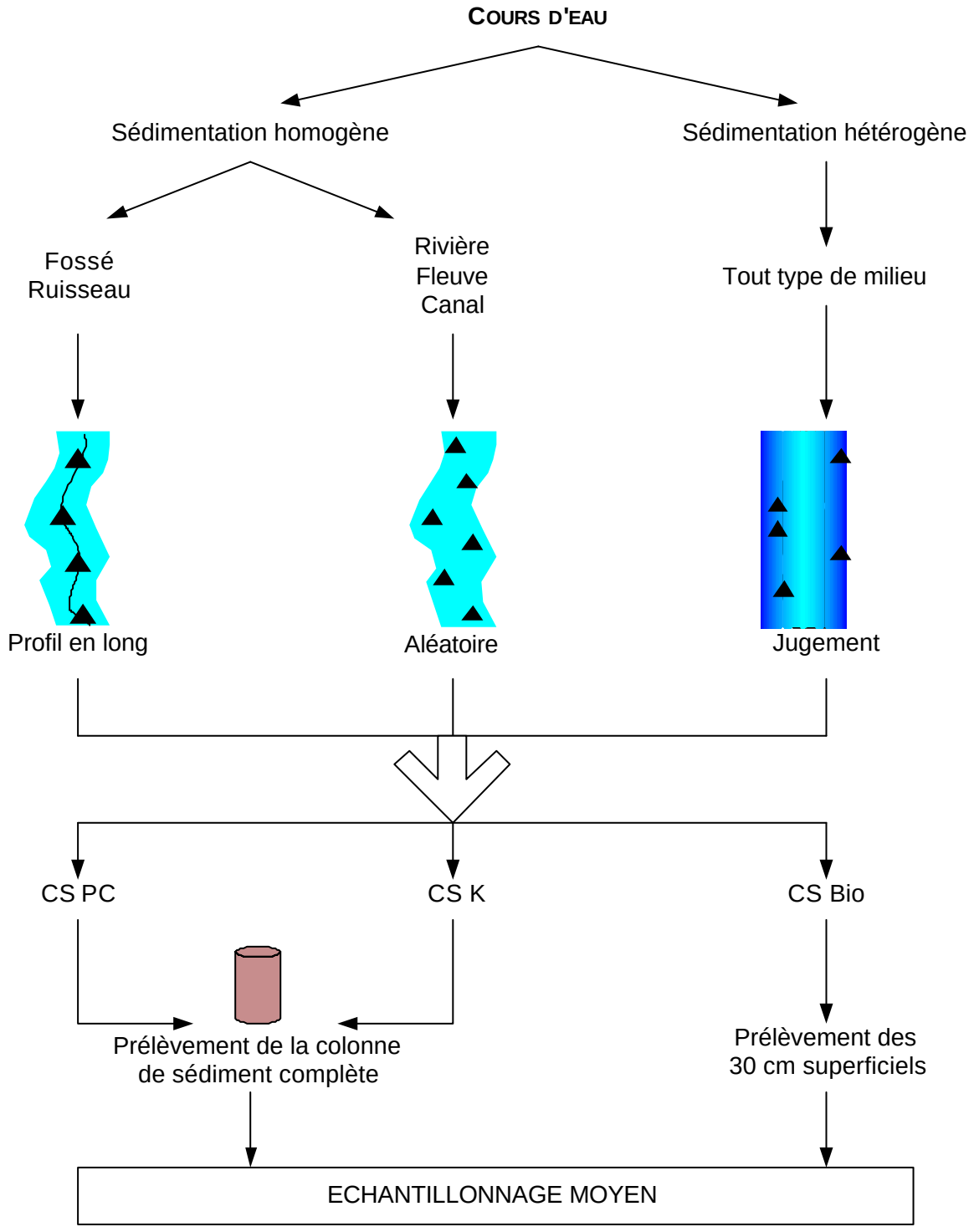


Cas d'un cours d'eau

FICHE A4

CHOIX D'UNE STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Surveillance des sédiments



Avertissement :

Le schéma, en page précédente, est une aide à la prise de décision concernant le choix du mode de prélèvement. En fonction des informations dont le décideur dispose et de l'étape à laquelle il se situe dans la démarche de caractérisation, un type de prélèvement est proposé.

Notons que les modes de prélèvement figurant dans le schéma ne sont que des propositions faites au lecteur. En effet, d'autres méthodes de prélèvement pourraient convenir à la caractérisation des sédiments.

Schéma de lecture :

Ce schéma fait apparaître à la fois des propositions concernant le mode de prélèvement, et le mode d'échantillonnage qui est spécifique à la surveillance des sédiments.

Le type de sédimentation oriente la démarche de **prélèvement** proposée par ce schéma.

Si la sédimentation est homogène, un mode en profil en long sera plus adapté à un fossé ou un ruisseau du fait de la faible largeur de ces cours d'eau. En revanche, des prélèvements aléatoires donneront une vision globale de la qualité des sédiments pour les cours d'eau de largeur plus importante (rivière, fleuve, canal).

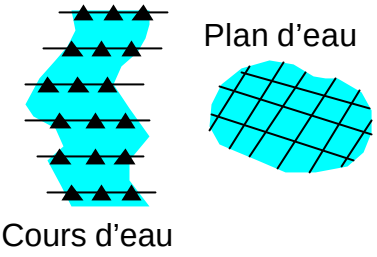
Pour une sédimentation hétérogène, le prélèvement au jugement permettra selon tout type de milieux de prélever dans les zones d'accumulation de sédiments.

L'**échantillonnage** moyen est effectué sur les 30 centimètres superficiels de sédiments pour le CS Bio car en profondeur dans la colonne de sédiments, le milieu anoxique devient peu propice aux organismes.

Au contraire, l'échantillon moyen pour le CS PC ou d'un CS K utilise la colonne complète de sédiments.

FICHE B1
Prélèvement par maillage

Intérêt	☺
Coût	☹
Stratégie d'échantillonnage conseillée	Ponctuel moyen ou séquentiel



Description

Cette méthode consiste à effectuer le prélèvement de façon systématique selon un quadrillage prédéfini.

Applications

Cette méthode concerne :

* Les zones où l'information concernant le sédiment est faible,
* Les cours d'eau de largeur importante.

Limites

Deux facteurs conditionnent directement la qualité des informations que peut apporter cette méthode :

- Le dimensionnement de la maille (en effet, plus la maille est fine, et plus l'information recueillie est précise),
- La méthode d'échantillonnage choisie :

Méthode d'échantillonnage	Information apportée
Ponctuel	une cartographie détaillée de la qualité du sédiment dans la zone d'étude
Composite	une information générale sur la qualité du sédiment, et ne permet pas de localisation de la contamination.

Avantages

☺ L'aspect systématique de la méthode ne permet pas d'erreur de jugement quant à l'emplacement des points de prélèvement,

☺ En l'absence d'informations concernant la bathymétrie, cette méthode permet de localiser les zones d'accumulation préférentielles,

☺ Un maillage fin permet une cartographie précise de la qualité du sédiment de la zone considérée. Ceci dans le cas où un échantillonnage ponctuel est pratiqué.

Inconvénients

☹ Un échantillonnage trop global (composite) limite l'intérêt de cette méthode quant à la localisation des zones contaminées,

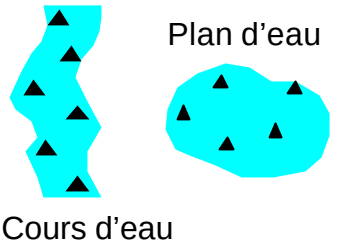
☹ L'acquisition d'informations est limitée lorsque la sédimentation est hétérogène. Le point de prélèvement défini peut ne pas avoir de sédiments.

☹ Une maille trop large limite l'intérêt de la méthode et laissant trop d'incertitudes,

☹ Cette méthode implique la réalisation d'un grand nombre de prélèvements. La stratégie est donc coûteuse par rapport à d'autre.

FICHE B2
Prélèvement aléatoire

Intérêt	😐
Coût	😐
Stratégie d'échantillonnage conseillée	Suivant informations recherchées



Description

Cette méthode consiste à prélever le sédiment de manière aléatoire sur le zone concernée. C'est à dire que les points sont déterminés « au hasard ».

Applications

Cette méthode concerne :

* milieux à sédimentation homogène,
* zones dont l'information concernant la qualité des sédiments est mal connue.

Limites

Le facteur prédominant qui conditionne la précision des informations apportées par cette méthode, est la stratégie d'échantillonnage adoptée.

Méthode d'échantillonnage	Information apportée
Ponctuel	une connaissance localisée de la qualité des sédiments
Séquentiel	une connaissance localisée de la qualité des sédiments de façon verticale et horizontale
Composite	une information générale sur la qualité du sédiment, mais incomplète étant donné la nature aléatoire des prélèvements

Avantages

☺ Cette méthode est facilement utilisable dans le cas de zone de taille réduite et où le respect d'un maillage semble trop contraignant,

☺ En l'absence d'informations concernant la bathymétrie, cette méthode permet de ne prélever qu'aux endroits où le manipulateur rencontre des sédiments.

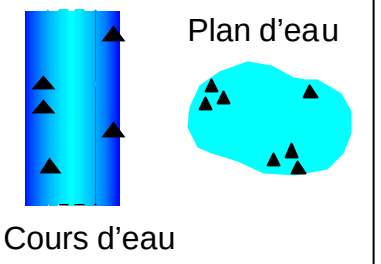
Inconvénients

☹ Cette méthode peut induire la non-détection de certaines zones contaminées,

☹ Cette méthode ne s'applique qu'aux milieux à sédimentation homogène.

FICHE B3
Prélèvement par jugement

Intérêt	☺
Coût	☺
Stratégie d'échantillonnage conseillée	Ponctuel moyen ou séquentiel



Description

Cette méthode consiste à effectuer un nombre de prélèvements limité, au niveau des points sensibles révélés par :

- La réalisation d'un Diagnostic Initial phase A,
- La réalisation d'une bathymétrie,
- La réalisation d'études antérieures.

Les prélèvements sont donc effectués par jugement au niveau des zones suspectées d'être contaminées, et des zones d'accumulation préférentielles.

Applications

Cette méthode ne concerne que les zones d'étude pour lesquelles :

* une collecte détaillée d'information a été réalisée,
* une campagne de prélèvement et d'analyses a déjà été effectuée.

Limites

Le facteur prédominant qui conditionne la précision des informations apportées par cette méthode, est la stratégie d'échantillonnage adoptée.

Méthode d'échantillonnage	Information apportée
Ponctuel	une cartographie globale de la qualité du sédiment au niveau des zones sensibles
Composite	une information générale sur la qualité du sédiment, et ne permet pas de localisation de la contamination.
Composite par zone sensible	une information sur la qualité du sédiment de façon globale pour chaque zone
Séquentielle	La localisation verticale de la pollution dans les zones sensibles

Avantages

☺ Cette méthode limite le coût de la réalisation des prélèvements puisqu'elle permet le choix des points de prélèvement les plus judicieux,

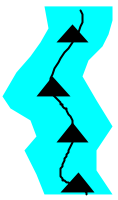
☺ Cette méthode permet un travail localisé au niveau des zones sensibles.

Inconvénients

☹ Si le choix des points de prélèvement n'est fondé que sur la base d'une recherche documentaire, il n'est pas impossible que certaines zones contaminées ne soient pas détectées.

FICHE B4
Prélèvement par profil en long

Intérêt	☺
Coût	☺
Stratégie d'échantillonnage conseillée	Selon l'information recherchée



Cours d'eau

Description

Cette méthode consiste à effectuer le prélèvement de sédiments de façon plus ou moins régulière le long d'un cours d'eau.

Applications

Cette méthode ne s'applique qu'au cours d'eau de faible largeur, types fossés ou ruisseau.

Limites

Le facteur prédominant qui conditionne la nature des informations apportées par cette méthode, est la stratégie d'échantillonnage adoptée.

Méthode d'échantillonnage	Information apportée
Ponctuel	une information localisée sur la qualité du sédiment
Composite	une information générale sur la qualité du sédiment du cours d'eau
Séquentielle	Une information sur la répartition verticale des polluants

Avantages

☺ Il s'agit d'une méthode adaptée aux petits cours d'eau pour lesquels d'autres méthodes seraient trop coûteuses,

Inconvénients

☹ La distance entre les points de prélèvement peut entraîner la non-détection de certaines zones contaminées.

GROUPE C
Outils de Prélèvement

FICHE C1 LES CAROTTIERS 175

Fiche C1-1	Carottier à Gravité	177
Fiche C1-2	Carottier à boîte	179
Fiche C1-3	Carottiers à tube (à piston)	181
Fiche C1-4	Echantillonneurs Beeker	183
Fiche C1-5	Carottier étanche	185
Fiche C1-6	Carottier de Vrijwit (ou en coin)	187
Fiche C1-7	Echantillonneur de boues Jenkins	189

FICHE C2 LES BENNES 193

Fiche C2-1	Benne Eckman	195
Fiche C2-2	Benne Van Veen	197
Fiche C2-3	Benne Shipeck	199

FICHE C3 LES DRAGUES 200

Fiche C3-1	Drague à main du Cemagref	200
Fiche C3-2	Drague à main	201

FICHE C4 AUTRES 203

Fiche C4-1	Le sac de prélèvement	203
Fiche C4-2	Cuillères, Racloirs ou Spatules en Polypropylène	204

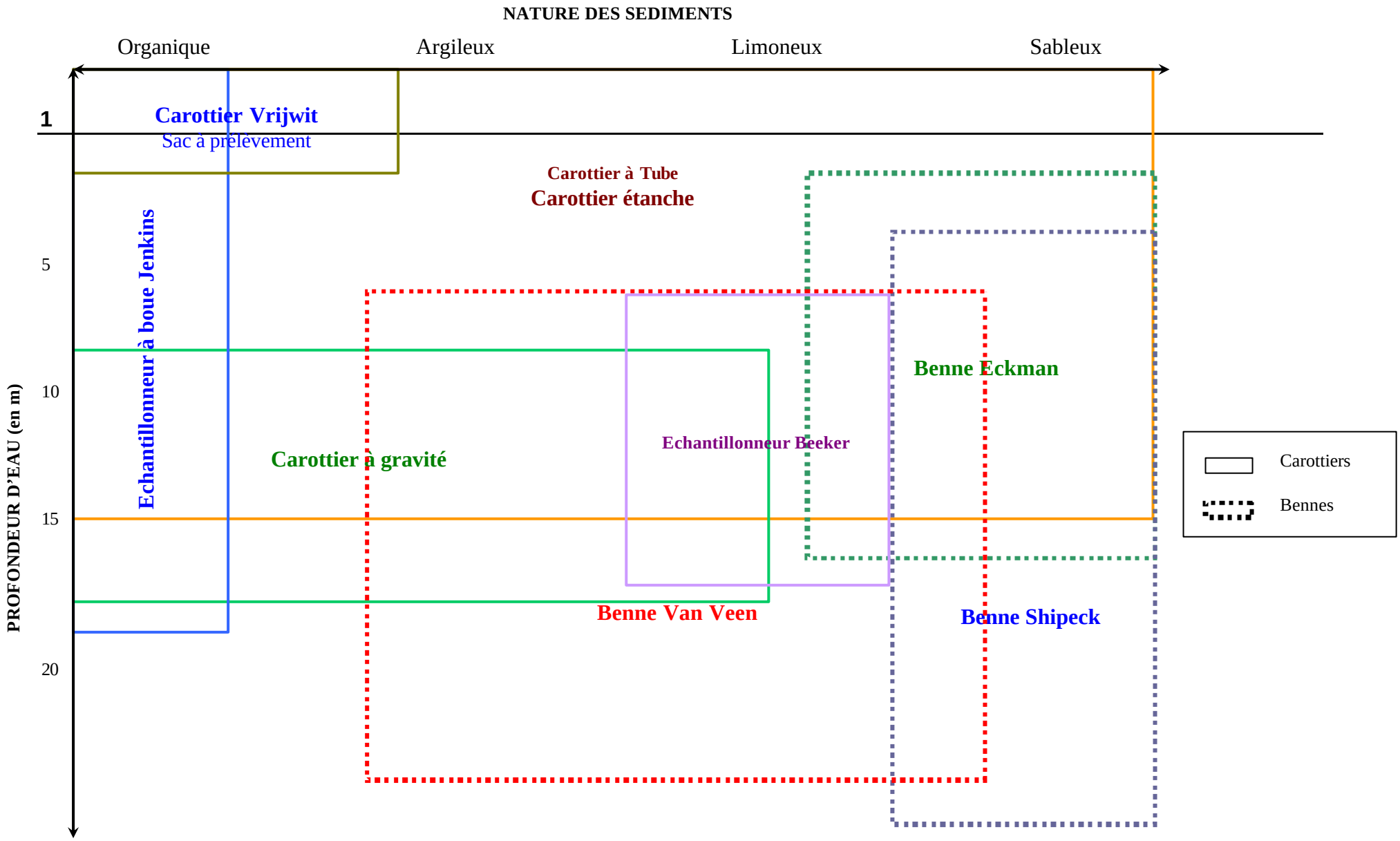
FICHE C5 PRELEVEMENT D'EAU ET DE SEDIMENTS EN SUSPENSION 205

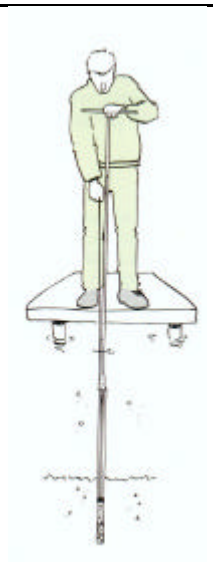
Fiche C5-1	Water Trap	205
Fiche C5-2	Load Sampler	207
Fiche C5-3	Depth Intregrating Sampler	209

Remarque :

La figure 1 présente, à la page suivante, un schéma permettant de choisir l'outil de prélèvement adéquate en fonction de la nature des sédiments et de la profondeur d'eau.

Figure 1 : Choix d'engins de prélèvement en fonction de la profondeur et de la nature du sédiment





FICHE C1 Les Carottiers	
Type de cours d'eau concerné	**Canaux, fossés, ports, lacs, estuaires,…**
Type de prélèvement	**Semi à Non-remanié.**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible
2. Cohésion des matériaux : utilisable sur matériaux cohésifs à non-cohésifs selon le type d'appareils.
3. Hauteur d'eau : variable suivant les appareils, utilisable en forte profondeur.
4. Granulométrie : inadapté aux gravels et autres sédiments de grosse taille.

n **Appareillage :**

Le carottier est utilisé lors d'étude historique des dépôts, entre autre.
Il existe trois types de carottier :

* Carottiers à gravité,
* Carottiers à piston,
* Carottiers à boîte.

Parmi chaque famille plusieurs appareils existent, se différenciant par leurs modes d'ouverture, de rétention des sédiments, etc.

Epaisseur de sédiment prélevée : adapter le carottier à l'épaisseur d'échantillon souhaitée.

☺ **Avantages :**

- ☺ Le carottier est de loin l'un des engins le plus performant pour l'échantillonnage de sédiment (A. BURTON).
- ☺ Il permet la collecte d'une grande épaisseur de sédiment (faux pour les carottiers à petit diamètre).
- ☺ Il minimise les perturbations et conserve la stratification.

☹ **Inconvénients / Recommandations :**

Inconvénients	Recommandations
Dispositifs de fermeture et de rétention du sédiment inopérant	Vérifier la qualité et le mode de fonctionnement de l'appareil
Le matériau constituant le carottier peut entraîner une contamination du sédiment	Chemisage de l'appareil : mise en place d'une gaine ajustée à l'intérieur du carottier (Polyéthylène, fibre de verre, perspex, acétobutyrate de cellulose, PVC, polycarbonate)
Possibilité de fluage à l'intérieur de l'engin	Utilisation d'un treuil pour remonté l'appareil.
Possibilité de bourrage de l'appareil	Prélever des épaisseurs réduites par rapport à la taille et au diamètre du carottier.

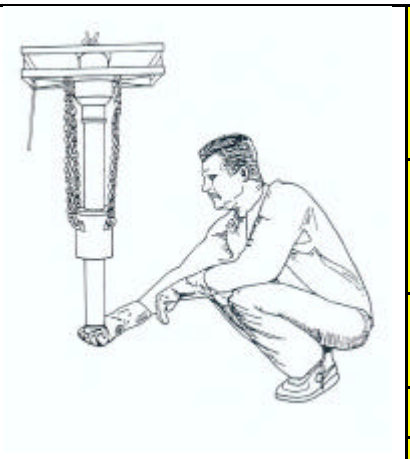
Dispositifs de retenu du sédiment :

Type de retenu	Matériau	Commentaires
Arrêtoir à lamelle souple	Acier ou plastique	☹ Efficace si le sédiment possède une certaine cohésion (vase, argile).
Sphincter (diaphragme) gonflable	Plastique	☺ Recueille de gros carottage (20 cm), ☺ Utilisable sur matériau peu cohésif (sables, sédiments liquides), ☹ Volume encombrant, ☹ Nécessité d'un compresseur lors des prélèvements.
Plaque montée sur étrier (Carottier de Giani)	Acier	☺ Utilisable sur sédiments fluides.

Dispositifs aspirants :

* Le piston,

Le système à bille ou à clapet, adapté aux sédiments cohésifs uniquement.



FICHE C1-1
Les Carottiers à Gravité

Type de cours d'eau concerné	**Canaux, fossés, ports, fleuves, estuaires.**
Type de prélèvement	**Superficiel, semi-remanié**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

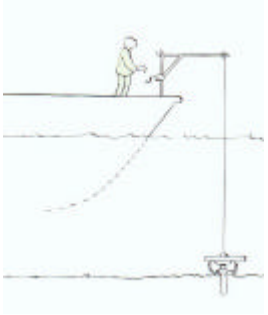
1. Vitesse de courants : utilisable en période de forts courants
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 10 m.
3. Granulométrie : mélanges sables/silts, éventuellement associés à une faible quantité de matière organique (ne convient pas aux sédiments grossier, sablonneux ou graveleux, ni les lits de sables durs).

n **Appareillage :**

Un tube d'échantillonnage en Perspex assujetti dans un porte-tube lesté.
Il existe différents types de carottage par gravité qui se distinguent par leurs longueurs et diamètres

La profondeur de pénétration peut atteindre 2 m.

$ **Fonctionnement :**



- ∃ Installation du carottier sur un bossoir.
- ∃ Chute libre du carottier sur le lit sédimentaire.
- ∃ Remontée du carottier.
- ∃ Un opérateur place un bouchon sous le tube afin d'empêcher l'échantillon de glisser hors du tube.

% **Echantillonnage**

- % Attente afin de laisser décanter les particules solides et d'obtenir une configuration homogène,
- % L'eau emprisonnée au dessus du prélèvement est siphonnée ou aspirée,
- % Description du prélèvement,
- % L'échantillonnage s'effectue en divisant le prélèvement en sous-échantillons.
- % Le prélèvement est stocké et regroupé avec d'autres effectués en différents endroits. Les sédiments sont mélangés afin d'y prélever, à l'aide d'un outil non-contaminant l'échantillon moyen de la zone.

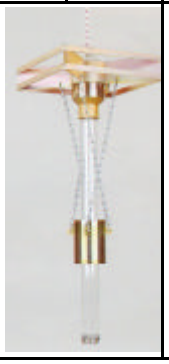
☺ **Avantages :**

- ☺ Cette technique ne nécessite pas le dégagement d'un espace important.
- ☺ Des carottiers manuels où à treuil existent.
- ☺ Le prélèvement peut s'effectuer même sur un cours d'eau à fort courant.
- ☺ Ce système peut être utilisé pour des prélèvements de couche superficielle à des fins d'analyses physiques, chimiques et biologiques.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Ne convient pas sur les lits de sédiments indurés, grossiers ou non cohésifs.
- ☹ Perturbation subie lorsque les lit ne sont pas consolidés.
- ☹ La profondeur de pénétration n'est pas toujours égale à la longueur du prélèvement, en raison des phénomènes de compression.
- ☹ Le relevage du carottier s'effectue au minimum à l'aide d'un système de poulie.

$ **Différents types d'appareil rencontrés :**

Nom	Pays	Taille	Diamètre	Commentaires	Coûts
KAJAK	France				
WILDCO	France				
FALLROHR	Allema-gne	2 m	60 mm	☺ Efficace pour le prélèvement de vases ou de mélange vases/sables. ☺ Utilisation possible en eau profonde et agitée. ☹ Ne convient pas aux prélèvement de sable. ☹ Treuil de 300 kg obligatoire pour la manipulation. ☹ Personnel qualifié, 3 personnes	
FREE FALL CORER	France				***20 000 à 35 000 Frs***

FICHE C1-2

Les Carottiers à Boîte

Type de cours d'eau concerné	**Canaux, fossés**
Type de prélèvement	**Superficiel, semi-remaniés**
Maniabilité	☹
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : indifférente
2. Hauteur d'eau : élevée
3. Granulométrie : indifférente

n **Appareillage :**

Epaisseur de sédiment prélevée : jusqu'à 60 cm, en fonction de la taille de la boîte.

$ **Fonctionnement :**

Difficile à trouver dans la littérature.

% **Echantillonnage :**

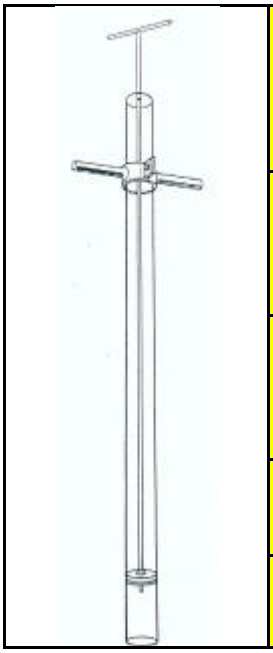
A l'aide de petits carottiers à main à l'intérieur de la boîte. Cette opération est effectuée en évitant les bords de l'appareil afin de minimiser les risques de contaminations.

☺ **Avantages :**

- ☺ Obtention d'échantillons sur une grande surface (de 25 à 2 500 cm^2).
- ☺ Maintien de l'intégrité des sédiments de surface.
- ☺ Collection d'une épaisseur de sédiment suffisant pour les études de toxicité.
- ☺ Possibilité de sous-échantillonner par carottier à main.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Taille et poids de l'engin, qui le redent encombrant et difficile à manier.
- ☹ Nécessité d'une capacité de levage de 2 000 à 3 000 kg.
- ☹ Faibles performances en milieu sableux



FICHE C1-3
Les Carottiers à Tube (à piston)

Type de cours d'eau concerné	**Canaux, rivières, ports, fleuves, estuaires.**
Type de prélèvement	**En profondeur, Semi-remaniés**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible
2. Hauteur d'eau : de faible à très fortes profondeurs.
3. Granulométrie : Efficace sur vases et sables,
   Inefficace sur sédiments liquides.

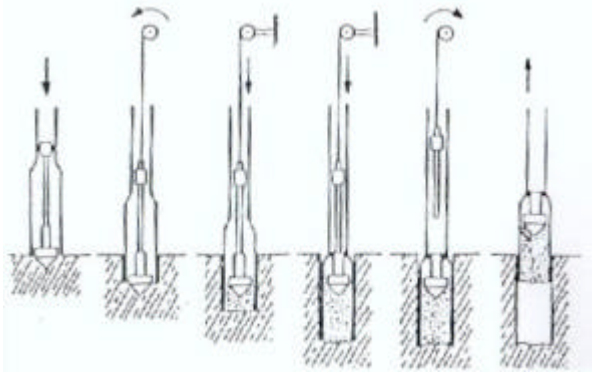
n **Appareillage :**

Il existe différentes dimensions de carottier à piston. Leur utilisation rappelle celle d'une seringue, avec un tube préleveur et un piston aspirant.

Le tube est généralement fait d'Acier inoxydable ou de plastique transparent.

Epaisseur moyenne collectée : 1 m.

$ **Fonctionnement :**



∃ Le tube contenant le piston est enfoncé dans le lit de sédiment.

∃ Le piston est remonté pendant l'insertion du tube dans le lit, facilitant ainsi la pénétration des sédiments dans le tube.

Ce carottier s'utilise à la main et par une seule personne. Des tiges d'extension permettent de prélever le sédiment jusqu'à des profondeurs importantes.

% **Echantillonnage :**

Plusieurs méthodes sont possibles, suivant le type d'échantillon recherché :

- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et l'échantillonnage s'effectue en différents points du profil.
- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et le prélèvement est stocké dans un pot non contaminant (polyéthylène, verre…). Plusieurs prélèvements sont effectués en différents endroits et les sédiments sont mélangés afin d'y prélever, à l'aide d'un outil non-contaminant l'échantillon moyen de la zone.

☺ **Avantages :**

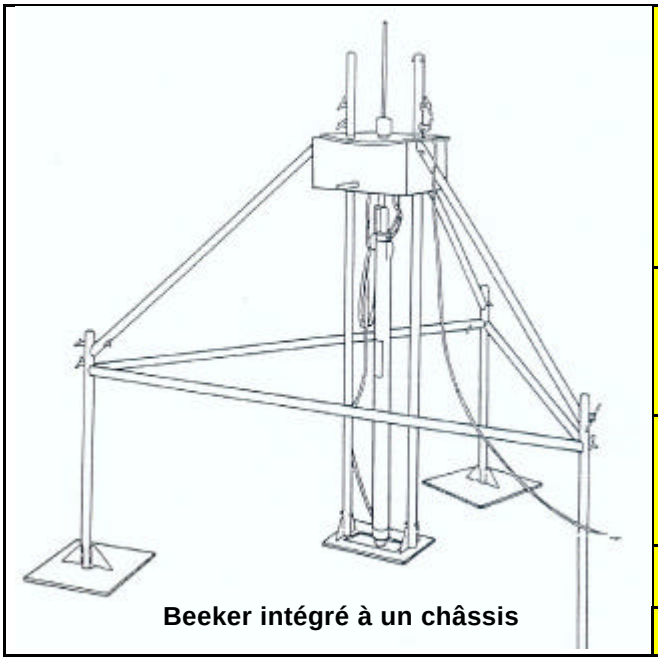
- ☺ Outil maniable et facile d'utilisation.
- ☺ Une seule personne suffit pour l'utiliser.
- ☺ Le prélèvement peut se faire à partir des berges ou sur une embarcation.
- ☺ Les tiges d'extension permettent d'adapter l'appareil aux dimensions du milieu concerné.
- ☺ Le prélèvement est semi-remanié, historique des couches.
- ☺ Pas ou peu de lessivage à la remontée.
- ☺ Coût faible.

☹ **Inconvénients :**

Inconvénients	Recommandations
Ne convient pas au prélèvement de sédiments liquides ou non cohésif (ceux-ci ne sont pas retenus dans le tube)	Mise en place de dispositifs de retenu des sédiments (arrêtoir à lamelle souple, sphincter, …)
Risques lors du prélèvement que le bateau soit poussé par le courant contre les tiges : ☹ Déformation des tiges, ☹ Inefficacité de l'échantillonnage, ☹ Risque pour le personnel.	Connaissance des dangers et mise en place de système de sécurité.
Compression des sédiments en raison, de l'affaissement des strates.	
Inefficace en milieu profond.	

$ Coûts de l'appareil:

De 6 000 à 8 000 frs selon les fournisseurs.



Beeker intégré à un châssis

FICHE C1- 4 L'Echantillonneur de Beeker

Type de cours d'eau concerné	**Tous types de cours d'eau.**
Type de prélèvement	**En profondeur, Semi à non-remanié**
Maniabilité	😐
Coût	☹

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible
2. Profondeur : jusqu'à 3 m, et plus pour l'échantillonneur à châssis,
3. Granulométrie : adapté aux prélèvements dans lits de limons consolidés ou non consolidés (peu adapté au prélèvement dans les lits de sable).

Caractéristiques des préleveurs :

On distingue deux types de préleveurs Beeker :

	Beeker muni de tiges d'extension	Beeker intégré dans un châssis
Dimensions	Longueur : de 2 à 6 m Diamètre interne : 63 mm	Hauteur : 1,80 m Base : 2 m Diamètre interne : 63 mm
Masse	5 à 15 kg	50 à 100 kg
Commentaires		Nécessite un treuil ou un bossoir (levage de 150 kg minimum).

n **Appareillage :**

Trépan ajusté sur un tube transparent en PVC qui est inséré en force dans les sédiments à l'aide de tiges d'extension ou d'un châssis. Le piston intégré dans le tube permet de réduire la pression à l'intérieur du tube facilitant ainsi le glissement de l'échantillon dans le tube d'échantillonnage en plastique. La base du tube est munie d'une garniture d'étanchéité en caoutchouc gonflable qui permet d'obturer la base du tube.

L'échantillonneur Beeker intégré à un châssis possède une option permettant de fixer une écho-sonde sur le châssis.

$ **Fonctionnement des appareils :**

Fonctionnement du Beeker à tiges d'extension :	**Fonctionnement du Beeker monté sur châssis :**
∃ Le bateau est placé en station immobile de sorte que le treuil demeure à l'aplomb du point d'échantillonnage.	
∃ Le tube d'échantillonnage est fixé entre le porte-tube et le trépan.	
∃ La hauteur d'eau est mesurée afin de déterminer le nombre de tige d'extension à utiliser.	∃ Le piston en position basse est fixé au châssis à l'aide d'un fil d'acier.
∃ Le vide est fait dans la garniture d'étanchéité, de sorte qu'elle reste appliquée contre la paroi interne du bord d'attaque.	
∃ Le tube est abaissé juste au-dessus des sédiments.	∃ Le châssis est abaissé dans l'eau (l'echo-sonde, si utilisée, permet de stopper le châssis juste au-dessus du lit sédimentaire) ∃ L'échantillonneur est déposé en douceur sur le lit et l'on donne du mou à la ligne afin que le tube pénètre dans le lit.
∃ Le piston est actionné de sorte qu'au moment où le tube est enfoncé dans le sédiment la pression baisse à l'intérieur du tube.	
∃ L'échantillon glisse facilement à l'intérieur du tube.	
∃ Lorsque le tube a atteint la profondeur requise le l'air est envoyé dans la garniture caoutchouc de sorte que l'échantillon est retenu dans le tube	

% **Echantillonnage :**

Plusieurs méthodes sont possibles, suivant le type d'échantillons recherché :

- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et l'échantillonnage s'effectue en différents points du profil.
- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et le prélèvement est stocké dans un pot non contaminant (polyéthylène, verre,…). Plusieurs prélèvements sont effectués en différents endroits et les sédiments sont mélangés afin d'y prélever, à l'aide d'un outil non-contaminant, l'échantillon moyen de la zone.

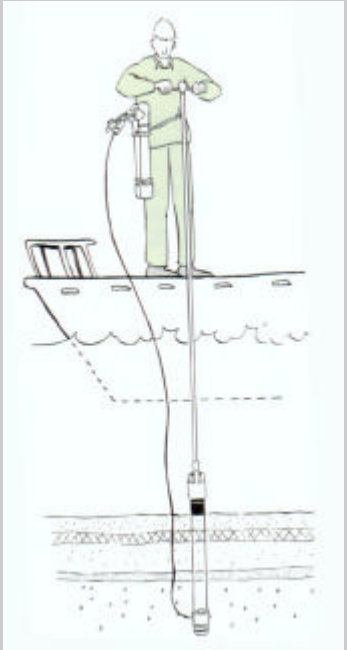
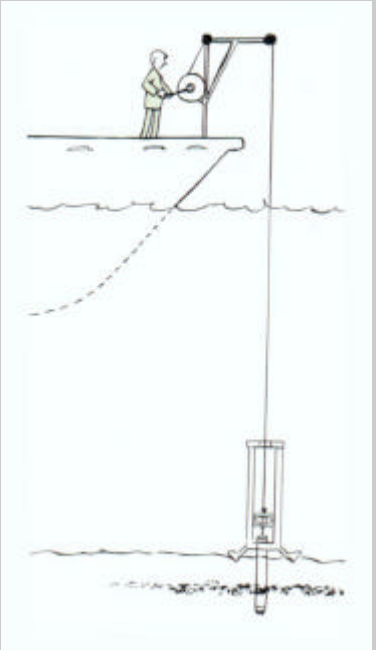
☺ **Avantages :**

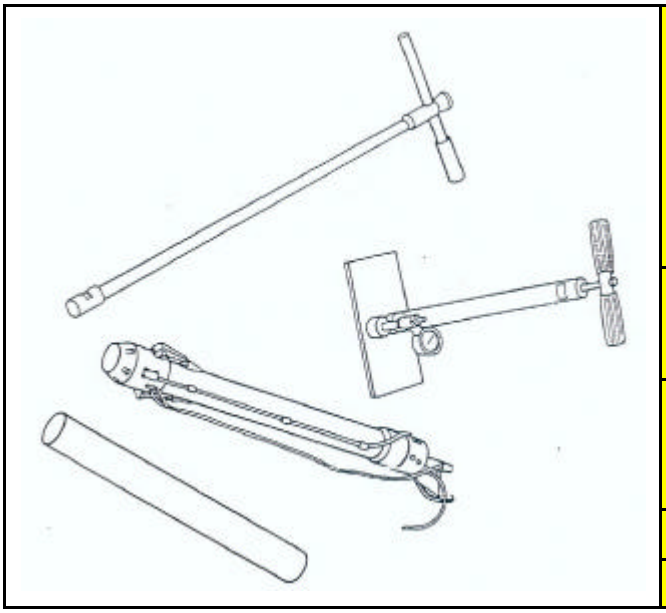
- ☺ L'échantillonneur de Beeker est adapté aux prélèvements d'échantillons à des fins d'analyses physiques, chimiques et biologiques..
- ☺ L'utilisation de tubes transparents permet d'établir une description du prélèvement pour une analyse morphologique succincte.
- ☺ Pour une analyse chimique le tube de PVC peut être remplacé par un tube en acier inoxydable à paroi fine pour éviter toute interférence entre les plastiques et les matériaux associés.
- ☺ Les tiges d'extension permettent le prélèvement, à partir des berges ou d'un bateau.
- ☺ Le prélèvement est semi à non-remanié.
- ☺ L'échantillonneur monté sur châssis permet un prélèvement à de forte profondeur d'eau.
- ☺ L'échantillonneur à tiges d'extension est adapté au prélèvement d'échantillons dans les lits sédimentaires meubles.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Le bateau doit rester en station immobile de sorte que le treuil demeure à l'aplomb du point de prélèvement.
- ☹ Le tube peut se briser lors de son retrait si la condition précédente n'est pas remplie.
- ☹ Techniques difficiles sur cours d'eau à forts courants.
- ☹ Peu adapté aux prélèvements dans les lits de sable.
- ☹ La technique de prélèvement avec tiges d'extension est difficilement utilisable dans les eaux de plus de 3 mètres de profondeur.
- ☹ L'échantillonneur monté sur châssis ne s'enfonce pas dans les lits meubles en raison des dimensions importantes de sa base et du poids faible du châssis.

$ Coûts :

BEEKER A TIGES D'EXTENSION	**BEEKER INTEGRE A UN CHASSIS**
	
Prix de l'appareil : ***30 000 à 60 000 Frs***	*Prix de l'appareil :* ***140 000 à 200 000 Frs***



FICHE C1-5
Le Carottier Etanche

Type de cours d'eau concerné	**Tous types de cours d'eau**
Type de prélèvement	**En profondeur, semi à non-remanié**
Maniabilité	☺
Coût	😐

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible,
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 10 m,
3. Granulométrie : adapté aux prélèvements dans lits de limons consolidés ou non consolidés, et les sables.

Caractéristiques du carottier :

Il n'existe qu'un seul type de carottier étanche sur le marché, ses dimensions sont les suivantes :

	Carottier étanche
Longueur	700 mm
Diamètre	58 mm variable
Masse	environ 15 kg
Pénétration	600 mm

n **Appareillage :**

Le carottier est composé d'un tube d'acier inoxydable muni d'une chemise Perspex. Les orifices supérieur et inférieur du tube de carottage peuvent être obturés à l'aide d'un soufflet en caoutchouc.

$ **Fonctionnement des appareils :**

- ∃ Mesure de la hauteur d'eau afin de connaître le nombre de tige à utiliser,
- ∃ Le tube est inséré dans le lit à l'aide des tiges (les soufflets supérieur et inférieur sont dégonflés),
- ∃ Lorsque la profondeur de pénétration voulue est atteinte, les soufflets en caoutchouc sont gonflés,
- ∃ Le sédiment est piégé et le prélèvement est remonté,
- ∃ Le trépan contenant les soufflets est déposé permettant de retirer du tube la chemise renfermant les sédiments.

% **Echantillonnage :**

Plusieurs méthodes sont possibles, suivant le type d'échantillon recherché :

- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et l'échantillonnage s'effectue en différents points du profil.
- % La carotte est extraite par pression sur le piston, et le prélèvement est stocké dans un pot non contaminant (polyéthylène, verre,…). Plusieurs prélèvements sont effectués en différents endroits et les sédiments sont mélangés afin d'y prélever, à l'aide d'un outil non-contaminant l'échantillon moyen de la zone.

☺ **Avantages :**

- ☺ Outil maniable et facile d'utilisation.
- ☺ Une seule personne suffit pour l'utiliser.
- ☺ Le prélèvement peut se faire à partir des berges ou sur une embarcation.
- ☺ Les tiges d'extension permettent d'adapter l'appareil aux dimensions du milieu concerné.
- ☺ L'échantillon prélevé ne subit aucunes perturbations.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Techniques difficiles sur cours d'eau à forts courants

$ Coûts de l'appareil:

De 6 000 à 8 000 Frs selon les fournisseurs.

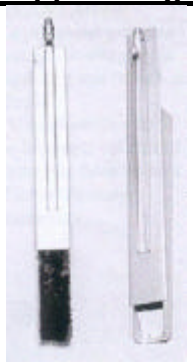
FICHE C1-6
Le Carottier Vrijwit
(ou « en coin »)

Type de cours d'eau concerné	**Milieux de faible profondeur**
Type de prélèvement	**En profondeur, semi à non-remanié**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 3 m,
3. Granulométrie : adapté aux prélèvements dans lits de limons consolidés ou argiles ou tourbes.

n **Appareillage :**



- La taille du carottier peut atteindre 1,5 m.
- Le tube de carottage est en acier inoxydable et en forme de rectangle tranchant
- Un des cotés du tube peut être ouvert à l'aide d'un volet coulissant.
- Appareil muni de tiges d'extension.

$ **Fonctionnement des appareils :**

∃ Mesure de la hauteur d'eau afin de connaître le nombre de tige d'extension à utiliser,
∃ Insertion du tube dans le lit sédimentaire jusqu'à la profondeur requise,
∃ Le volet coulissant est repoussé vers le bas à l'aide de tiges d'extension ;
∃ Le sédiment est piégé et le prélèvement est remonté.

% **Echantillonnage :**

Une fois remontée, la sonde est déposée horizontalement sur un plateau de réception, le volet coulissant est retiré et :

- % Le prélèvement est décrit et la partie intéressante prélevée,
- % Le prélèvement est divisé en sous-échantillons,
- % Le prélèvement est stocké afin d'être mélangé avec d'autres points de prélèvement pour former un échantillon moyen.

☺ **Avantages :**

- ☺ L'insertion par frottement réduit le problème de tassement de l'échantillon.
- ☺ Méthode simple et maniable.
- ☺ Le prélèvement peut se faire à partir des berges ou sur une embarcation.
- ☺ Les tiges d'extension permettent d'adapter l'appareil aux dimensions du milieu concerné.

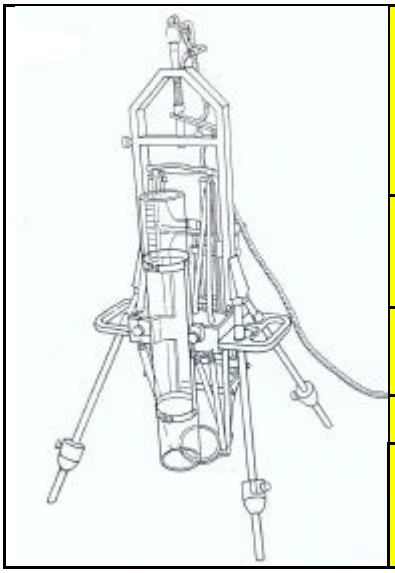
Outils particulièrement adapté au prélèvement au sein de milieux peu cohérents (argiles, sols sablo-limoneux ou tourbes et sols composés de matière organique).

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Inapproprié en milieu profond.
- ☹ Techniques difficiles sur cours d'eau à forts courants.
- ☹ Inefficace en milieu dont la résistance à la pénétration est trop forte.
- ☹ Inefficace sur sol fibreux (mauvaise fermeture du volet coulissant et perte d'échantillon).

$ Coûts de l'appareil :

De 8 000 à 10 000 Frs selon le fournisseur.



FICHE C1-7
L'échantillonneur à boue Jenkins

Type de cours d'eau concerné	**Milieux peu profonds à profonds**
Type de prélèvement	**Sédiments liquides en profondeur**
Maniabilité	☺
Coût	😐

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : nulle à très faible
2. Hauteur d'eau : importante profondeurs,
3. Granulométrie : adapté aux prélèvements de boues et de sédiments liquides.

n **Appareillage :**

La taille du carottier en Perspex atteint 50 cm.
Le masse totale du dispositif est de 15 kg.
L'appareil peut être mis en œuvre manuellement ou à l'aide d'un bossoir à partir des berges ou d'un bateau.
L'appareil est composé de :

- Un socle en acier supportant le tube de prélèvement,
- Un tube préleveur en Perspex obturé par deux systèmes de clapets en aluminium revêtus de caoutchouc.

$ **Fonctionnement des appareils :**

- ∃ Le tube muni des clapets est monté sur le socle,
- ∃ Les clapets sont verrouillés en position ouverte par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique,
- ∃ La hauteur d'eau est mesurée,
- ∃ L'appareil est déposé sur le lit sédimentaire,
- ∃ Le tube pénètre dans le lit sous l'effet de son propre poids,
- ∃ Les clapets sont refermés à l'aide de bras mécaniques,
- ∃ Le sédiment est piégé et le prélèvement est remonté.

% **Echantillonnage :**

Une fois remontée, le tube est déposé sur un plateau de réception. Le prélèvement est décrit, puis :

- % Le prélèvement est échantillonné,
- % Le prélèvement est stocké afin d'être mélangé avec d'autres points de prélèvement pour former un échantillon moyen.

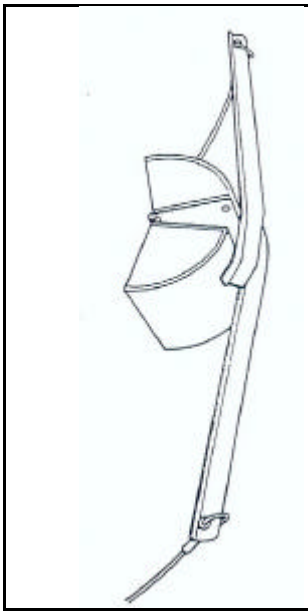
☺ **Avantages :**

- ☺ Cette techniques permet le prélèvement de boues ou sédiments particulièrement liquides
- ☺ Appareil relativement maniable.

Le prélèvement peut se faire à partir des berges ou sur une embarcation.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Mauvaises fermeture des clapets sur les terrains accidentés ou riche en racines et végétaux.
- ☹ L'utilisation de cet appareil nécessite des conditions de courants calmes.



FICHE C2 Les Bennes	
Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau moyens à importants, canaux, ports, lacs, estuaires, …**
Type de prélèvement	**Surface**
Maniabilité	😐 ☹
Coût	😐 ☹

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : indifférente.
2. Utilisation : lorsque l'usage de dragues à main est rendu trop difficile par la profondeur.
3. Granulométrie : efficace sur matériaux grossier (pertes importantes pour les sédiments fins, sauf exceptions).
4. Hauteur d'eau : indifférente.

Intérêt du prélèvement de surface :

* Déterminer la zone d'impact d'un rejet,
* Le suivi, à différentes époques, de l'évolution des teneurs en micropolluants métalliques d'un sédiment.

n **Appareillage :**

Le système est composé de deux godets mutuellement articulés, ouverts sur leur partie supérieure, et qui se referment lorsque le sédiment est prélevé.

Les différents modèles sont caractérisés par leur masses de 12 à 100 kg) et la capacité de leur godets ou mâchoires (de 0.5 à 25 l).
On distingue également les bennes possédant :

- ν Un clapet supérieur permettant de réaliser un prélèvement de surface,
- ν Un système de leste.

Les bennes sont généralement fabriquées en acier galvanisé ou inoxydable.

@ **Fonctionnement :**

- ∃ La benne preneuse est verrouillée en position ouverte,
- ∃ Mis à l'eau à l'aide d'un bossoir ou d'un treuil ou bien manuellement selon le gabarit,
- ∃ Le dispositif de verrouillage se déclenche dés que la benne entre en contact avec le lit de sédiments,
- ∃ La benne se referme en même temps qu'elle remonte,
- ∃ La benne est amenée sur un plateau de réception.

% **Echantillonnage :**

Plusieurs méthodes sont possibles, également suivant les modèles de benne utilisés :

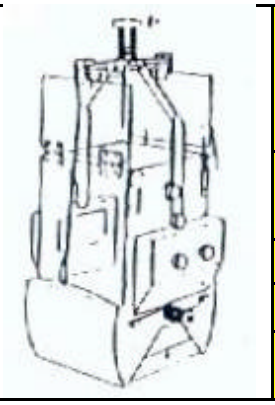
- % L'échantillon est basculé dans un réservoir collecteur ou l'échantillonnage est effectué,
- % L'échantillonnage est effectué à l'aide d'un outil non contaminant, au cœur de la benne au travers des clapets supérieurs amovibles.

☺ **Avantages :**

- ☺ Utilisation indifférente de la profondeur.
- ☺ Surface prélevée importante (200 à 1 000 cm^2).
- ☺ Présence éventuelle de couvercles supérieurs rabattables permettant le prélèvement de sous échantillon et limitant les risques de contamination.
- ☺ Le poids parfois léger de certains engins, qui facilite son utilisation.

☹ **Inconvénients/Recommandations :**

Inconvénients	Recommandations
Enfoncement aléatoire en fonction de la cohésion du sédiment	Avoir une bonne connaissance du sédiment à collecter avant le prélèvement
Perturbation du sédiment à la fermeture des mâchoires	Préférer une fermeture lente.
L'extraction par ouverture des mâchoires induit une nouvelle perturbation (pas d'historique des dépôts).	Prélèvement à l'intérieur de la benne au travers des couvercles supérieurs, et à l'aide d'un outils non contaminant.
Risque de contamination par les matériaux constituant la benne	
Lessivage plus ou moins prononcé de la surface fluide du sédiment, à la remontée.	Ce phénomène est réduit par la présence d'un couvercle



FICHE C2-1
Benne Eckman

Type de cours d'eau concerné	**Barrage, lac retenue d'eau**
Type de prélèvement	**Surface**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : indifférente.
2. Hauteur d'eau : efficace à forte profondeur (jusqu'à 13 m).
3. Granulométrie : efficace pour sédiments fins.

Utilisation :

En aval de retenues d'eau et barrage, à la main ou à partir d'une petite embarcation.

n **Appareillage :**

Le système est composé de deux godets mutuellement articulés, ouverts sur leur partie supérieure, et qui se referment lorsque le sédiment est prélevé.

1. Surface prélevée : 20×20 cm.
2. Epaisseur moyenne collectée : 10 cm.

@ **Fonctionnement :**

- ∃ La benne preneuse est verrouillée en position ouverte,
- ∃ Mis à l'eau manuelle,
- ∃ Dispositif de verrouillage se déclenche dés que la benne entre en contact avec le lit de sédiment,

% **Echantillonnage :**

L'échantillonnage est effectué à l'aide d'un outil non contaminant, au cœur de la benne au travers des clapets supérieurs amovibles.

Outils utilisés pour le sous-échantillonnage : carottier à main, spatule en polyéthylène, etc.

☺ **Avantages :**

- ☺ Utilisation jusqu'à 13 m de profondeur d'eau.
- ☺ Deux systèmes de récupération des sédiments (sous-échantillonnage ou ouverture des mâchoires).
- ☺ Appareil léger et maniable, et bon système de fermeture des mâchoires.
- ☺ Efficace pour la collecte de sédiments fins (fond silteux et vaseux).
- ☺ Efficace pour les études de toxicité des sédiments.
- ☺ Efficace pour l'étude des macro-invertébrés.
- ☺ Coût réduit de l'appareil et de son utilisation.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Faible efficacité pou récupérer les sédiments dans les canaux de faible profondeur.
- ☹ Temps de remontée du sédiment, important.

FICHE C2-2 Benne Van Veen	
Type de cours d'eau concerné	**Lac et cours d'eau de profondeur supérieure à 5 m**
Type de prélèvement	**Surface**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

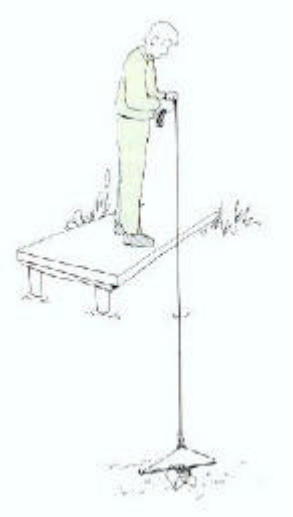
1. Vitesse de courants : nulle à très faible .
2. Hauteur d'eau : efficace à forte profondeur (supérieure à 5 m).
3. Granulométrie : efficace pour le prélèvement de silts, argiles ou sables.

n **Appareillage :**

Le système est composé de deux godets mutuellement articulés, ouverts sur leur partie supérieure, et qui se referment le sédiment est prélevé.
Différents types de benne Van Veen existent. Ils se différencies par leur dimensions (de 3 à 10 kg environ).

1. Surface prélevée : 30 × 20 cm.
2. Epaisseur moyenne collectée : 15-20 cm.
3. Poids : de 50 à 150 kg pleine.

@ **Fonctionnement :**



∃ La benne est verrouillée en position ouverte,

∃ Mis à l'eau à l'aide d'un treuil manuel ou mécanique,

∃ Le dispositif de verrouillage se déclenche dés que la benne entre en contact avec le lit de sédiment.

% **Echantillonnage :**

L'échantillonnage est effectué par ouverture des mâchoires et récupération des sédiments prélevés.

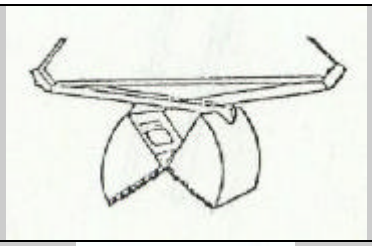
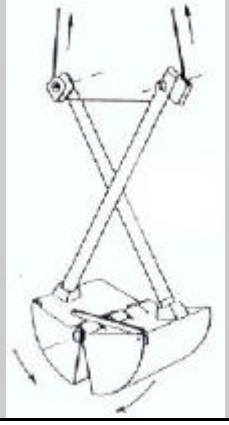
☺ **Avantages :**

- ☺ Utilisation à fortes profondeurs.
- ☺ Efficace pour les études particulières, type désoxygénation des fonds.
- ☺ Plusieurs dimensions disponibles.
- ☺ Maintien de l'intégrité des couches supérieures.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Faible efficacité dans les zones à courant fort
- ☹ Faible efficacité sur terrain accidenté : des débris de végétaux ou de coquilles peuvent empêcher la fermeture des godets.
- ☹ Maniabilité moyenne, nécessite au minimum un treuil à main.
- ☹ Lessivage des sédiments à la remontée.

$ Coût :

	Capacité	Coût de l'appareil
	0,5 L	***3 000 - 4 000 Frs***
	2 L	***4 000 - 5 000 Frs***
	6 L	***7 000 - 9 000 Frs***
	12 L	***11 000 - 15 000 Frs***

FICHE C2-3
Benne Shipeck

Type de cours d'eau concerné	**Lac et cours d'eau de profondeur supérieure à 5 m**
Type de prélèvement	**Surface**
Maniabilité	☹
Coût	😐

@ Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :

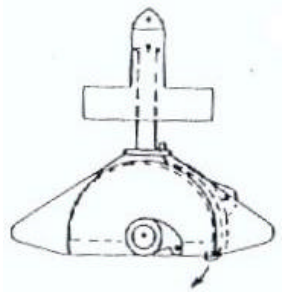
1. Vitesse de courants : nulle à forte .
2. Hauteur d'eau : efficace à forte profondeur (supérieure à 5 m).
3. Granulométrie : efficace des argiles aux graviers.

n Appareillage :

La benne est composée de deux parties : une partie supérieure fixe et un godet semi-cylindrique articulé dans la partie inférieure de l'appareil.

1. Surface prélevée : 40 cm^2.
2. Poids : environ 60 à 70 kg pleine.

@ Fonctionnement :



- ∃ La benne est verrouillée en position ouverte,
- ∃ Mis à l'eau à l'aide d'un treuil,
- ∃ Au contact du fond, le contrepoids tombe sur le système de déclenchement et entraîne la rotation de la mâchoire et la fermeture de la benne.
- ∃ Le sédiment est piégé.

% Echantillonnage :

L'échantillonnage peut s'effectuer par ouverture des mâchoires et récupération des sédiments prélevés, ou par l'ouverture de la partie supérieure de l'appareil.

☺ Avantages :

- ☺ Utilisation à fortes profondeurs.
- ☺ Le sédiment piégé est peu perturbé et non lessivé.
- ☺ Maintien de l'intégrité des couches supérieures.
- ☺ Grande fiabilité du déclenchement de la fermeture de l'engin.

☹ Inconvénients :

- ☹ Faible efficacité sur terrain accidenté : des débris de végétaux ou de coquilles peuvent empêcher la fermeture des godets.
- ☹ Poids important et nécessite de manipuler l'appareil à l'aide d'un treuil.

FICHE C3-1
La Drague à main du CEMAGREF

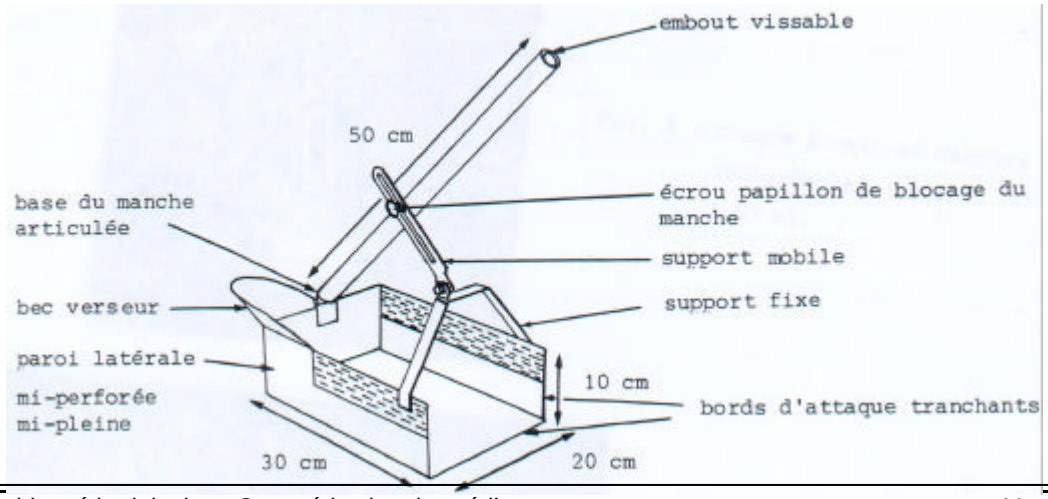
Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau calme et peu profond**
Type de prélèvement	**Remanié**
Maniabilité	☺
Coût	**/**

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible à nul.
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 5 m de profondeur.
3. Granulométrie :efficace sur sédiment fin (argiles, limons, vases).

n **Appareillage :**

- ν Surface prélevée : dépendante de la surface raclée par le technicien utilisateur de l'engin,
- ν Epaisseur prélevée : environ les 10 premiers centimètres en surface, cependant ce paramètre dépend de degré d'inclinaison de l'appareil,
- ν Poids : 2,7 kg sans le manche,
- ν La drague est en acier inoxydable non-peint,
- ν Les parois latérales sont perforées à mis hauteur,
- ν Présence d'un angle d'attaque réglable formé par le manche et la semelle de la drague : petit angle d'attaque þ raclage des couches superficielles,
  grand angle d'attaque þ raclage plus en profondeur.
- ν L'appareil est muni d'un bec verseur.



@ **Fonctionnement :**

- ∃ L'appareil est transporté à bord d'une embarcation,
- ∃ Au niveau du point de prélèvement, la drague est jetée à l'eau avec un certain angle d'inclinaison,
- ∃ La barque continue de progresser traînant la drague derrière elle,
- ∃ La drague est remontée, et l'eau en excédent retirée du prélèvement.
- ∃ Le prélèvement peut aussi se faire du bord de la rive.

% **Echantillonnage :**

L'échantillonnage est effectuer par ouverture de la drague et récupération des matériaux prélevés.

☺ **Avantages :**

- ☺ Simple d'utilisation,
- ☺ Manipulation par un seul opérateur,
- ☺ Efficace sur sédiments compacts,
- ☺ Masse importante collectée.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Lessivage partiel à total des fines lors de la remontée de la drague,
- ☹ Mélange des différentes strates du dépôt par raclage,
- ☹ Inefficace à fortes profondeurs,
- ☹ Inefficace en cours d'eau à régime torrentiel, contenant blocs et galets,
- ☹ Système coulissant de fermeture coince si le milieu est riche en cailloux, feuilles, branches, etc.

FICHE C3-2
La Drague à main

Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau calme et peu profond**
Type de prélèvement	**Remanié**
Maniabilité	☺
Coût	**/**

@ Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :

1. Vitesse de courants : faible à nulle,
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 5 m de profondeur,
3. Granulométrie : - efficace sur sédiment fin à grossier,
   - inefficace sur matériau consolidé.

n Appareillage :

1. Surface prélevée : dépendante de la surface raclée par le technicien utilisateur de l'engin,
2. Epaisseur prélevée : environ les 5 premiers centimètres en surface, cependant ce paramètre dépend de degré d'inclinaison de l'appareil,
3. La drague est en acier inoxydable non peint,
4. Benne de forme conique reliée à l'opérateur par un cordage.

@ Fonctionnement :

- ∃ L'opérateur placé sur la berge, jette la drague au sein du cours d'eau,
- ∃ L'appareil s'enfonce dans l'eau jusqu'à la couche de sédiment,
- ∃ La drague est traînée sur le fond et remontée à la surface manuellement.

% Echantillonnage :

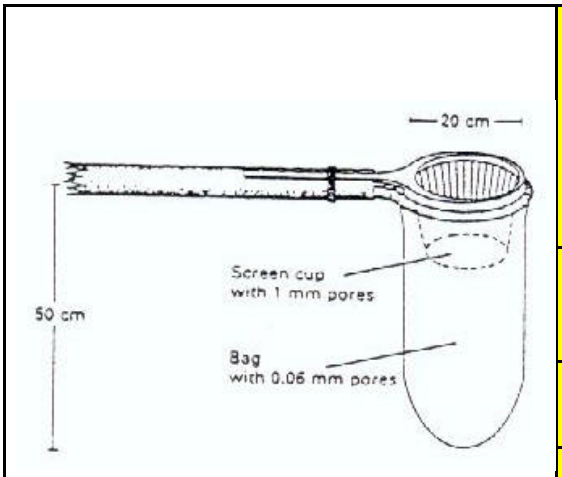
- % Les matériaux prélevés sont décantés au sein de la drague,
- % L'eau en excédent est éliminée par inclinaison de la drague,
- % L'échantillonnage se fait à la main (gantée) ou à l'aide d'une spatule.

☺ Avantages :

- ☺ Simple d'utilisation,
- ☺ Manipulation par un seul opérateur,
- ☺ Efficace sur sédiments compacts,
- ☺ Masse importante collectée.

☹ Inconvénients :

- ☹ Lessivage partiel à total des fines lors de la remontée de la drague,
- ☹ Mélange des différentes strates du dépôt par raclage,
- ☹ Inefficace à fortes profondeurs,
- ☹ Inefficace en cours d'eau à régime torrentiel, contenant blocs et galets,
- ☹ Système coulissant de fermeture coince si le milieu est riche en cailloux, feuilles, branches, etc.



FICHE C4-1
Le sac de prélèvement

Type de cours d'eau concerné	**Type torrentiel**
Type de prélèvement	**Remaniés**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :

1. Vitesse de courants :faibles à forts,
2. Hauteur d'eau : faible,
3. Granulométrie : le sac permet le prélèvement des sédiments fluides à dominante organique.

n Appareillage :

L'appareil est composé :

- ν D'une poche en toile de 60 µm de vide de maille,
- ν D'une ouverture obstruée par un tamis de 1 mm de vide de maille,
- ν D'un manche permettant son utilisation.

@ Fonctionnement :

- ∃ Le sac est plongé dans le sédiment et raclé sur le fond du cours d'eau, à l'aide son manche,
- ∃ Le sac est retiré du sédiment et maintenu à la verticale,
- ∃ L'eau en excédent est éliminer par pression et torsion du sac.

% Echantillonnage :

Le tamis obturant l'ouverture est retirée et le prélèvement est échantillonné :

- % A la main gantée,

A l'aide d'un outil non contaminant,

- % Par déversement du contenu du sac directement dans le flacon d'échantillonnage.

☺ Avantages :

- ☺ Permet un grand nombre de prélèvement de sédiment fluide à forte dominante organique,
- ☺ Utilisable dur cours d'eau de régime torrentiel.

☹ Inconvénients :

- ☹ Sédiment remanié,
- ☹ Inutilisable sur cours d'eau de forte profondeur.

FICHE C4-2
Cuillères, Racloirs ou Spatules en Polypropylène

Type de cours d'eau concerné	**Torrents, Fossés peu profonds**
Type de prélèvement	**Tous types**
Maniabilité	☺
Coût	☺

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants :faible à élevée
2. Hauteur d'eau : faible
3. Granulométrie :sédiment fins à sableux.

n **Appareillage :**

1. Surface prélevée : quelques centimètres
2. Munis d'un manche et d'un bec verseur.

@ **Fonctionnement :**

- ∃ L'appareil est manipulé par un seul opérateur,
- ∃ L'outils est utilisée comme une pelle, il est plongé dans le sédiment à la main et remonté pour effectuer l'échantillonnage.

% **Echantillonnage :**

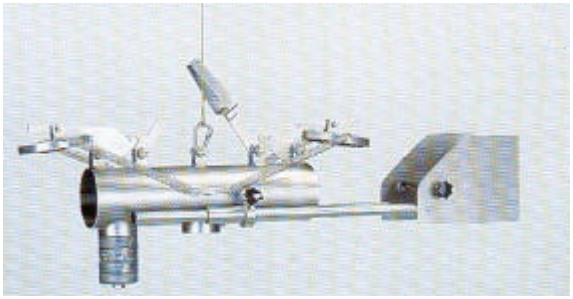
Le sédiment est directement transvasé de l'appareil de prélèvement vers le bocal d'échantillon à l'aide d'un bec verseur ou d'un entonnoir.

☺ **Avantages :**

- ☺ Convient aux cours à régime torrentiel,
- ☺ Ces appareils sont maniables et facilement transportable,
- ☺ Il est souvent possible de les fabriquer à partir de bocaux d'échantillonnage en polypropylène.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Ne convient pas pour l'échantillonnage de sédiments très grossier,
- ☹ Prélèvement d'une faible quantité de sédiment à chaque coup,
- ☹ Ne conserve pas la stratigraphie des sédiments.



Water Trap

FICHE C5-1
Prélèvement d'eau et de sédiments en suspension

Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau profonds**
Type de prélèvement	**Eau et sédiments**
Maniabilité	☺
Coût	😐

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

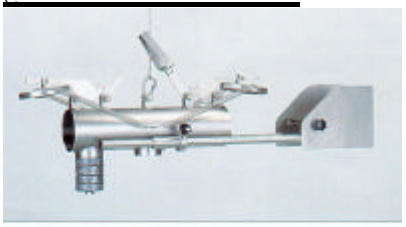
1. Vitesse de courants : faible à moyenne,
2. Hauteur d'eau : jusqu'à 25 m de profondeur.

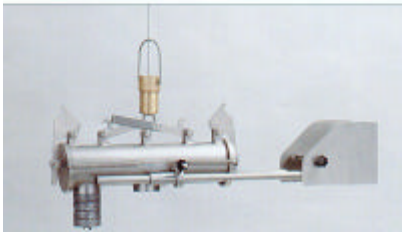
n **Appareillage :**

1. L'appareil est en acier inoxydable.
2. Il est constitué d'une partie permettant la capture d'une colonne horizontale d'eau à l'aide de deux clapets imperméables, et d'un câble en acier permettant son positionnement dans le cours d'eau,
3. L'appareil comprend un bras télescopique qui peut être fixé sur un pont ou un bateau,

Il est muni d'une queue permettant l'orientation de l'appareil dans le sens du courant, et d'un altimètre permettant son positionnement vertical dans le cours d'eau.

@ **Fonctionnement :**





- L'appareil est enfoncé dans l'eau à l'aide d'un bras télescopique, à partir du bord, d'un pont ou d'une embarcation,
- Lorsque le préleveur atteint la profondeur souhaitée le poids permettant la fermeture des clapets est lâché.
- Le poids glisse le long du câble en acier et oblige la fermeture du clapet aval, puis du clapet amont.
- Les clapets munis de caoutchouc permettent ainsi la capture de l'eau et des sédiments en suspension qu'elle contient.

% **Echantillonnage :**

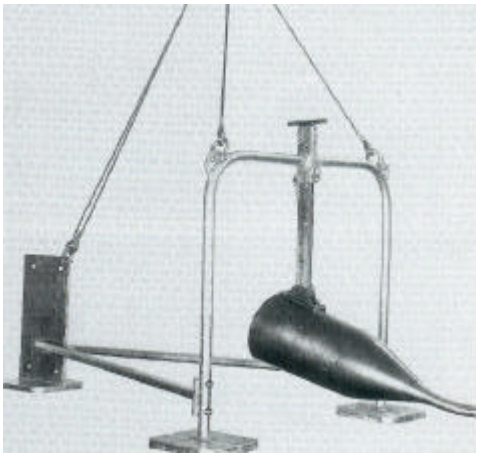
% L'eau est déversée directement à partir du préleveur dans des bocaux en verre ou en plastique, utilisés pour l'échantillonnage.

☺ **Avantages :**

- ☺ Utilisation par un seul opérateur,
- ☺ Facilité de manipulation,
- ☺ L'altimètre intégré permet la localisation exact des profondeurs de prélèvement.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Difficile à utiliser dans les zones à fort courant,
- ☹ Peu représentatif dans les lacs et bassins de décantation,
- ☹ La prise d'un échantillon représentatif nécessite une bonne maîtrise de l'engin (ajustement horizontal, mise au point des poids situés à l'avant de l'appareil.



Load Sampler

FICHE C5-2 Prélèvement de sédiments en suspension

Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau peu profonds à profonds**
Type de prélèvement	**Sédiments en suspension**
Maniabilité	☺
Coût	😐

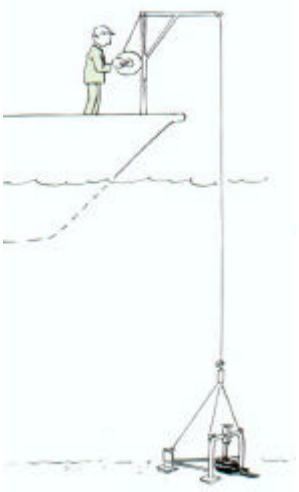
@ Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :

1. Vitesse de courants : faible à moyenne
2. Hauteur d'eau : indifférente

n Appareillage :

- ν L'appareil est composé d'une base en acier inoxydable, et d'un préleveur de forme conique
- ν L'embout en pointe est modifiable de sorte à ajuster la vitesse du courant à l'intérieur du préleveur.

@ Fonctionnement :



- ∃ L'appareil est plongé dans le cours d'eau à l'aide d'un bras télescopique,
- ∃ L'eau circule à l'intérieur du tube conique,
- ∃ Le courant est ralentie dans la partie fine du cône,
- ∃ Les sédiments en suspension se déposent au fond du tube et sont capturés par l'appareil.

% **Echantillonnage :**

Le sédiment est extrait à l'aide d'un outil non-contaminant et échantillonné au sein de bocaux adaptés au type d'analyses envisagées.

☺ **Avantages :**

- ☺ Le principe permettant à l'eau de s'écouler au travers du tube permet l'échantillonnage de sédiments en suspension dans un grand volume d'eau,
- ☺ Utilisation facile,
- ☺ Peut être utilisé quelques soit la profondeur du cours d'eau.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Le poids de l'instrument nécessite l'utilisation d'un treuil,
- ☹ Cet appareil ne permet pas une mesure directe des matériaux en suspension (MES),
- ☹ La mesure de la vitesse du courant, et du débit, pendant le prélèvement est nécessaire afin de permettre le calcul de la quantité de MES présente,

$ Coût :

De 100 000 à 150 000 Frs selon le fournisseur.

Depth Integrating Sampler

FICHE C5-3
Prélèvement de sédiments en suspension

Type de cours d'eau concerné	**Cours d'eau peu profonds**
Type de prélèvement	**Eau et sédiments en suspension**
Maniabilité	☺
Coût	😐

@ **Environnement physique des cours d'eau concernés par cette méthode :**

1. Vitesse de courants : faible à moyenne,
2. Hauteur d'eau : faible.

n **Appareillage :**

- ν Cet appareil léger est constitué d'une coque en métal renfermant une bouteille de verre,
- ν Une bouche d'ouverture calibrée permet à l'eau de s'écouler au sein de la bouteille,
- ν Une aération permet à l'air de s'échapper au fur et à mesure que la bouteille se remplie d'eau,
- ν Sa forme profilée assure la bonne orientation de l'appareil dans l'eau.

@ **Fonctionnement :**

- ∃ L'appareil est plongé dans le cours d'eau à partir du bord ou d'une embarcation,
- ∃ L'opérateur laisse l'appareil se positionné dans le sens de l'écoulement, et la bouteille se remplir,
- ∃ Une fois la bouteille arrivée à saturation, l'appareil est remonté avec précaution, et la bouteille est retirée afin d'être envoyée au laboratoire pour analyses.

% **Echantillonnage :**

L'eau et le sédiment en suspension sont directement échantillonné dans une bouteille placée au sein de l'appareil de prélèvement.

La bouteille est remplacée après chaque prélèvement.

☺ **Avantages :**

- ☺ Cet appareil permet l'échantillonnage in situ de l'eau et des sédiments en suspension,
- ☺ Le prélèvement passe directement de son milieu d'origine au laboratoire,
- ☺ La manipulation est simple, et nécessite la présence d'un seul opérateur.

☹ **Inconvénients :**

- ☹ Il est nécessaire de surveiller le remplissage de la bouteille afin de ne pas provoquer un courant inverse au sein de celle-ci,
- ☹ La taille de la bouche d'ouverture n'est pas modifiable,
- ☹ Cet appareil n'est pas recommandé pour les cours d'eau profonds.

$ Coût :

De 15 000 à 25 000 Frs selon les fournisseurs.

FICHE D1
Du prélèvement à l'échantillonnage
Fiche de terrain

Nom du site .....

Date du prélèvement .....

Conditions climatiques : ..... / ..... /.....

Nom des opérateurs .....

Prélèvement	P…	P…	P…	P…
Localisation				
Courant				
Sédimentation				
2 Quantité du prélèvement (litres)				
Epaisseur prélevée (cm)				
Outil				

Caractérisation				
Couleur				
Odeur (hydrocar-bures, H_2S, etc.)				
Hydrocarbure visible				
Consistance				
Homogénéité				
Stratification				

Echantillonnage				
3 Nombre de prélèvements				
4 Quantité échantillon (litres)				
Type				
Référence échantillon				

Pré-traitement				

Conditionnement				
Flaconnage				
Volume (litres)				

Analyses préconisées	routine	autres

Commentaires/problèmes rencontrés : .....

Attention : Il faut toujours localiser les points de prélèvement sur un plan ou une carte.

FICHE D2
Du prélèvement à l'échantillonnage
Exemple de fiche de terrain

Nom du site : cours d'eau Les Alouettes, section 5

Date du prélèvement : 25 / 03 / 2001

Conditions climatiques : pluie légère

Nom des opérateurs .....

Prélèvement	P1	P2	P3	P4
Localisation	Rive gauche, Amont effluent 5	Centre Amont effluent 5	Rive droite, Amont effluent 5	Au droit, zone de rejet 3
Courant	faible	moyen	fort	faible
Sédimentation	forte	moyen	faible	forte
5 Quantité du prélèvement (litres)	1,5 l	1,5 l	1 l	3 l
Epaisseur prélevée (cm)	20	15	10	40
Outil	benne	benne	benne	carottier

Caractérisation		P1 + P2 + P3		P4
Couleur		rouille		noire
Odeur (hydrocar-bures, H_2S, etc.)		forte		forte
Hydrocarbure visible		non		non
Consistance		sable		limons
Homogénéité		non (sables fins et graviers)		oui
Stratification		oui		non

Echantillonnage		P1+P2+P3		P4
6 Nombre de prélèvements		3		1
7 Quantité échantillon (litres)		1 l		1 l
Type		Mixte		Séquentiel
Référence échantillon		250301/4		250301/5

Pré-traitement		250301/4		250301/5
		homogénéisation		-

Conditionnement		250301/4		250301/5
Flaconnage		Plastique		Plastique
Volume (litres)		1 l		1 l

Analyses préconisées	routine	autres
250301/4	x	PCB
250301/5	x	-

Commentaires/problèmes rencontrés : .....

Attention : Il faut toujours localiser les points de prélèvement sur un plan ou une carte.

AT3

Annexes Techniques 3

Echantillonnage

SOMMAIRE

GROUPE A STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Fiche A1 CHOIX D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE **217**
Fiche A2 ECHANTILLONNAGE COMPOSITE EN SURFACE OU EN PROFONDEUR **218**
Fiche A3 ECHANTILLONNAGE PONCTUEL MOYEN **219**
Fiche A4 ECHANTILLONNAGE SEQUENTIEL **220**

GROUPE B CONDITIONNEMENT ET TRAITEMENTS DES ECHANTILLONS

Fiche B1 CONDITIONNEMENT
Fiche B1-1 CONDITIONNEMENT POUR L'ANALYSE DES POLLUTIONS METALLIQUES **221**
Fiche B1-2 CONDITIONNEMENT POUR L'ANALYSE DES POLLUTIONS ORGANIQUES **222**
Fiche B2 TRAITEMENTS PREALABLES A LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE **223**
Fiche B3 TRAITEMENTS PREALABLES A LA CARACTERISATION BIOLOGIQUE **225**

FICHE A1
Choix d'une méthode d'échantillonnage

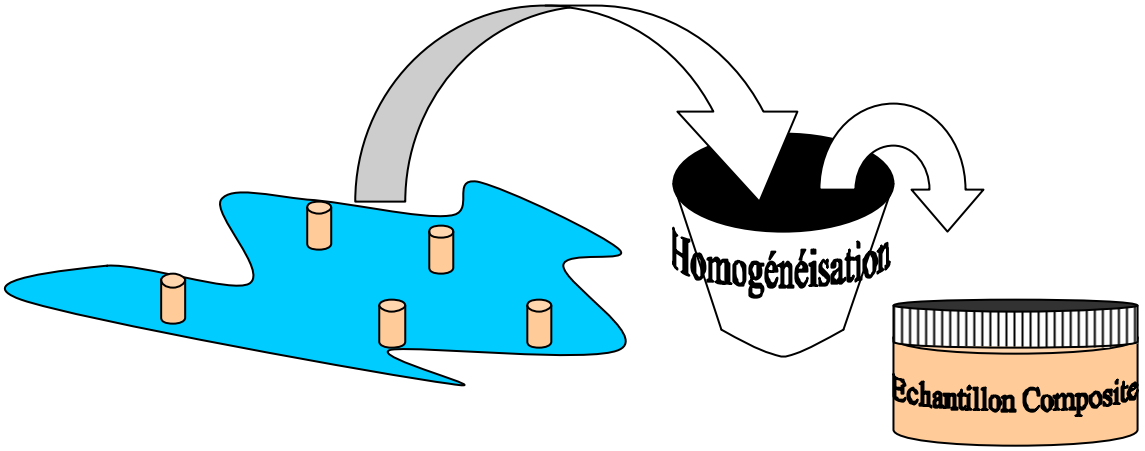
Le choix d'une méthode d'échantillonnage plutôt qu'une autre dépend du type d'information que l'on cherche à collecter. Le tableau suivant propose un inventaire des situations principales qui appellent à l'utilisation de certaines méthodes en priorité.

Situation	Informations recherchées	Méthode d'échantillonnage proposée
PROJET DE CURAGE		
On connaît l'épaisseur que l'on souhaite curer (rétablissement des « vieux fonds- vieux bords », par exemple).	Nature du sédiment qui va être curé	Echantillonnage composite sur l'épaisseur qui sera curée.
On ne connaît pas la nature du sédiment qui restera en contact avec l'eau après le curage.	Répartition verticale des polluants	Echantillonnage séquentiel
Le sédiment est réparti de façon hétérogène dans le cours d'eau ou le plan d'eau.	Répartition spatiale des polluants	Echantillonnage ponctuel moyen
On ne connaît pas l'épaisseur à curer.	Répartition verticale des polluants, jusqu'où le sédiment est-il pollué, s'il l'est ?	Echantillonnage séquentiel
SURVEILLANCE DES SÉDIMENTS		
CS Bio	Information globale sur zone d'étude	Echantillon composite en surface
CS PC	Information globale sur zone d'étude	Echantillon composite en profondeur

FICHE A2
Echantillonnage composite en surface ou en profondeur

Cette méthode consiste :
- à collecter un nombre « n » de prélèvement,
- à mélanger ces derniers,
- à échantillonner au sein de ce prélèvement composite.

Les résultats d'analyses fourniront une image moyenne de la qualité du sédiment. Tous les appareils de prélèvement permettent de pratiquer ce type de méthode. Il est à noter que l'échantillon composite en profondeur donnera une image moyenne horizontalement et verticalement de la qualité des sédiments étudiés.



Attention : L'échantillonnage composite peut se faire sur une profondeur importante de sédiment ou bien en surface. Il est donc important de toujours prélever la même épaisseur de sédiment à chaque point faisant partie d'un même composite.

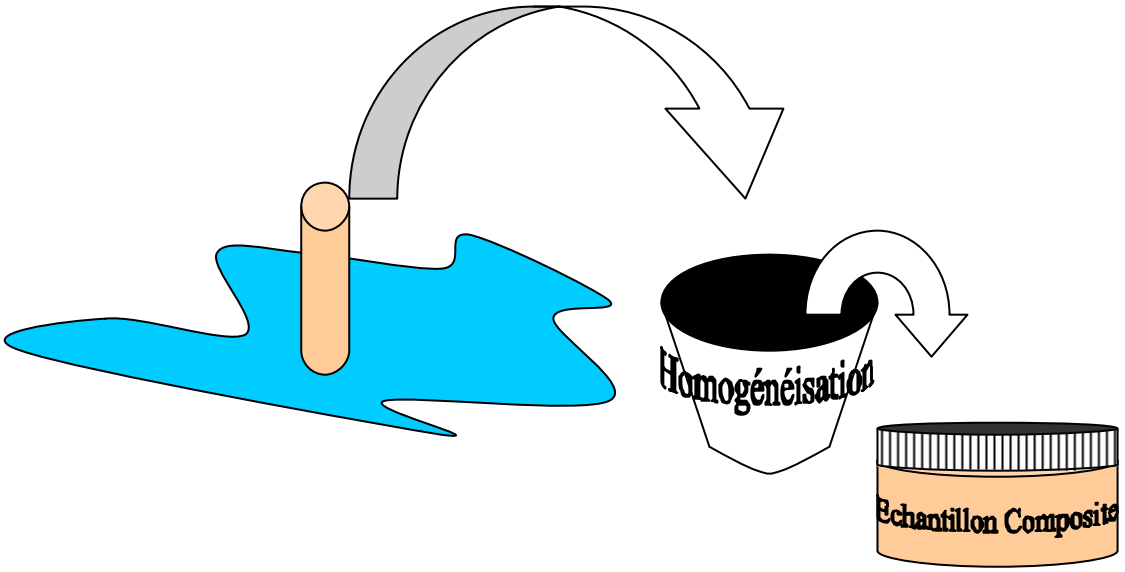
Deux solutions sont possibles quant à la répartition des différents prélèvements :

Méthode	Avantage	Domaine d'application
L'échantillon est un composite de toute la zone concernée par l'étude (cours d'eau ou plan d'eau). Les prélèvements peuvent être répartis de façon régulière ou aléatoire sur le site.	Les résultats d'analyses fournissent une image d'ensemble du site	• Milieu homogène avec absence de pollution localisées, • Surveillance des sédiments
L'échantillon est un composite d'une zone bien définie du site concerné par l'étude. Cette zone peut être définie : ▪ Par les informations récoltées lors de la phase 1, ▪ Par découpage régulier du site.	Les résultats d'analyses fournissent une image découpée du site. Les zones fortement polluées sont identifiées, et peuvent éventuellement faire l'objet d'investigations supplémentaires	• Milieu hétérogène, • Zones de sédimentation préférentielles, • Affluents, confluents, zones de rejet.

FICHE A3
Echantillonnage ponctuel moyen

Cette méthode consiste à prélever le sédiment sur une profondeur importante, à mélanger l'ensemble des horizons, et à échantillonner au sein de ce prélèvement unique. Les résultats des analyses fourniront une image moyenne de l'épaisseur de sédiment au niveau du point de prélèvement.

Tous les appareils de prélèvement permettent d'effectuer ce type de méthode. Seul variera l'épaisseur prélevée (cf. Annexes Techniques AT2, relatives au prélèvement).

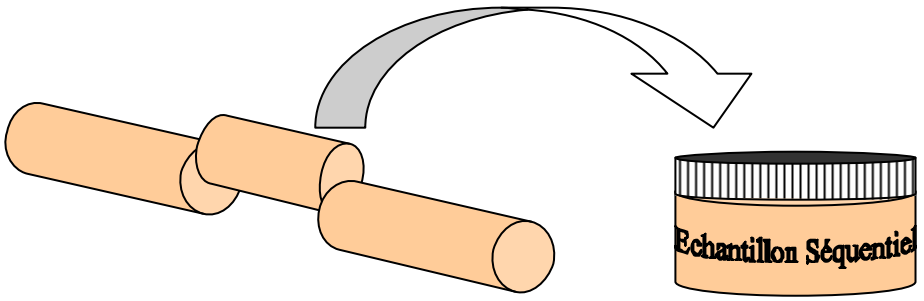


FICHE A4
Echantillonnage séquentiel

Cette méthode est rendue possible par l'utilisation de préleveur de type Carottier (Cf. Annexes Techniques). Il s'agit de prélever une carotte de sédiment et d'échantillonner sur une partie seulement de la carotte.

Différentes solutions sont alors possibles, après expulsion de l'eau surnageante :

- Découpe au niveau de l'interface sédiment oxydé, sédiment réduit. Opération effectuée sous atmosphère Azote à l'aide d'une boîte à gants,
- Découpe par tranche de 1, 2, 4, 5, ou 10 cm,
- Découpe par tranche d'épaisseur variable en fonction de la profondeur,
- Echantillonnage au niveau des couches visiblement polluées.



Il est également possible de réaliser des échantillonnages séquentiels composites.

FICHE B1-1
Conditionnement pour l'analyse de polluants métalliques

Les sédiments sont généralement conservés dans des flacons en **PLASTIQUE** :

- ✓ Polyéthylène,
- ✓ Polypropylène,
- ✓ Polycarbonate,
- ✓ Plexiglass,
- ✓ PTFE pour le flacon ou le bouchon du récipient.

Recommandations :

- ✓ Les flacons sont remplis à ras bord afin de limiter l'oxydation des métaux,
- ✓ L'échantillonnage peut se faire sous atmosphère Azote, à l'aide d'une boîte à gant, ce qui limite au maximum l'oxydation des métaux présents dans l'échantillon,
- ✓ Les flacons en Polyéthylène neuf montrent une certaine adsorption à l'égard du mercure.
- ✓ Les flacons sont prétraités afin d'éliminer tout sur-pollution du sédiment. Il s'agit :
  - D'un nettoyage à l'acide,
  - D'un traitement plus long pour les matériaux comme le téflon ou le Polyéthylène.

Transport :

Le temps de latence entre le prélèvement du sédiment, son échantillonnage et son arrivée en laboratoire doit être le plus cours possible (24 h maximum).
Les échantillons sont conservés :

- ✓ A – 6°C par congélation,
- ✓ A + 4°C par réfrigération,
- ✓ Dans des glacières,
- ✓ Dans des réfrigérateurs portables.

Fiche B1-2
Conditionnement pour l'analyse de polluants organiques

Plusieurs types de flaconnage sont possibles pour les échantillons voués aux analyses de polluants organiques :

- ✓ Flacon ou pilulier en verre, munis de joints de caoutchouc ou de feuilles d'aluminium ou de films plastiques pour l'étanchéité,
- ✓ Barquettes ou feuilles d'aluminium.

Recommandations :

- ✓ Le remplissage des flacons peut être effectué en un seul coup,
- ✓ Le remplissage des flacons peut être fait par palier afin de laisser le temps de sédimentation et de décantation du sédiment, ce qui permet également d'éliminer sur site le surnageant.

Prétraitement des flacons :

- ✓ Lavage du verre à l'acide nitrique, puis rinçage à l'eau du robinet ou à l'eau distillée ou à l'acétone ou à l'hexane,
- ✓ Lavage du verre au chloroforme et à l'éther de pétrole,
- ✓ Lavage du verre et du bouchon au détergent et rinçage à l'eau (sans pesticides), puis passage au four à 120 °C,
- ✓ Autre méthode du Water Quality National Laboratory of Environment au Canada.

Transport :

Le temps de latence entre le prélèvement du sédiment, son échantillonnage et son arrivée en laboratoire doit être le plus cours possible (24 h maximum).
Les échantillons sont conservés :

- ✓ A – 6°C par congélation,
- ✓ Sur glace ou en glacière à 4°C,
- ✓ Sur CO_2 solide à – 18°C.

Fiche B2
Traitements préalables à la caractérisation physico-chimique

Il existe différents types de pré-traitement des sédiments qu'il est possible d'effectuer sur site avant la mise en flacon.

Décantation :
Cette opération permet d'éliminer le surnageant du sédiment et de prélever un maximum de matrice sèche.

Mélange et homogénéisation de l'échantillon :
Cette opération permet une analyse plus pertinente de l'échantillon. Elle peut s'effectuer :

- ✓ Avec une main gantée (gant propre jetable),
- ✓ Avec une spatule en bois ou en polyéthylène,
- ✓ Avec une truelle métallique (pour les échantillons voués à l'analyse de polluants organiques),
- ✓ Dans une cuvette en plastique (PVC). Cette cuvette est nettoyée entre chaque prélèvement afin de limiter la sur-contamination.

Essorage :
Cette opération ne peut s'effectuer que pour un certain type d'échantillonneur : le sac en toile.
L'essorage se fait par torsion du sac.

Tamisage :
Cette opération permet d'éliminer les particules grossières et d'homogénéisée à nouveau l'échantillon. Deux méthodes existent :

- ✓ Tamisage sur tapis nylon de 60 µm et par voie humide (se qui suppose par la suite une décantation afin d'éliminer le surnageant),

  Attention, dans ce cas, la nature de l'eau utilisée, en l'occurrence une eau non ionisée, possède un pH très faible ! Le mieux est d'utiliser l'eau du site, si elle n'est pas polluée.

- ✓ Tamisage sur tamis standard en acier inox.

Ajout de stabilisateur chimique :
Cette technique peut être recommandée par certains laboratoires, qui sont alors à même de fournir les produits nécessaires à sa réalisation.

Extrusion (découpe de carotte) :

Cette opération est effectuée lors de l'utilisation de préleveur de type Carottier (AT2 *Groupe C, Fiches C1*).

Différentes méthodes sont possibles, après expulsion de l'eau surnageante :

- ✓ Découpe au niveau de l'interface sédiment oxydé, sédiment réduit. Opération effectuée sou atmosphère Azote à l'aide d'une boîte à gants,
- ✓ Découpe par tranche de 1, 2, 4, 5, ou 10 cm,
- ✓ Découpe par tranche d'épaisseur variable en fonction de la profondeur.

Recommandations :

- ✓ **Attention :** il existe un risque d'oxydation des formes métalliques réduites et une redistribution des métaux si la carotte n'est pas manipulée sous inertage Azote.

- ✓ En règle générale, les prétraitements sont donc réalisé en laboratoire en non sur site. En effet ces manipulations pouvant entraîner de nombreuses modifications du sédiment et fausser les résultats, il est souvent préférable de les effectuer au sein d'un cadre confortable, et sécurisé.

FICHE B3
Traitements préalables à la caractérisation biologique

Traitement des échantillons à leur arrivée au laboratoire

Les actions suivantes doivent être effectués aussi vite que possible après l'arrivée des échantillons au laboratoire:

- Pour chaque lieu de prélèvement, les 5 seaux "évaluation biologique" sont mélangés, homogénéisés mécaniquement puis répartis de nouveau sur les 5 seaux. Les échantillons sont refroidis et stockés à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation. L'eau qui remonte à la surface est conservée.

- Les 5 seaux "macro-faune" sont passés séparément au tamis de 500 µm et tout le matériel > 500 µm est transféré dans un petit pot en plastique (c'est-à-dire 5 petits pots par lieu de prélèvement). Avant la fermeture des pots, on ajoute de la formaline à des fins de conservation (concentration finale: environ 5% en volume). Les échantillons sont refroidis et stockés à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation;

- L'analyse physico-chimique des échantillons chimiques est idéalement effectuée par un laboratoire accrédité.

- Analyse K_s: les principes et la procédure à suivre sont expliqués dans la fiche 2-2 suivante.

Analyses physico-chimiques

Caractérisation

Pour les besoins de la caractérisation des sédiments (Cf. AT5), il est nécessaire **au minimum** de (faire) analyser les paramètres suivants, décrits dans AT4 :

- % matières sèches (MS) (entre autres pour la détermination du taux d'humidité, voir AT5),

- Répartition selon la grosseur des grains (en % des MS),

- Matières organiques (et carbones organiques).

Il convient de préférence de déterminer les carbones organiques en tant que pourcentage en carbones élémentaires. Toutefois, le calcul de la teneur en carbones organiques sur la base de la teneur en matières organiques déterminé à partir du résidu après chauffage (600°C) est acceptable.

La formule applicable est la suivante :

$$\% \text{ carbones organiques} = \frac{\% \text{ matières organiques}}{1{,}70}$$

Calculé de la sorte, un sédiment standard, contenant 10 % de matières organiques possède une teneur en carbones organiques de 5,88%, soit un pourcentage de 0,0588.

Il est en outre recommandé de rechercher au cours des analyses, le carbonate de calcium, le total en phosphates, les pourcentages de grains < 2 et < 210 µm, la base pH et l'azote Kjeldahl.

Détermination du degré de pollution (Cf. AT4)

Le degré de pollution des sédiments est idéalement déterminé par comparaison des résultats des analyses chimiques avec des normes ou valeurs guides.

Eléments dont l'analyse est recommandée (den Besten *et al.,* 1995)	
8 Métaux lourds	cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb, zinc, arsenic et mercure.
10 HAP	naphtalène, benzo(a)anthracène, benzo(ghi)pérylène, benzo(a)pyrène, phénanthrène, indeno(1, 2, 3)pyrène, anthracène, benzo(k)fluoranthène, chrysène, fluoranthène
7 PCB	PCB-28, 52, 101, 118, 138, 153, et 180
Pesticides	aldrine, dieldrine, endrine, DDT p,p' et o,p', DDE o,p' et p,p', DDD o,p' et p,p', HCH alpha, beta et gamme, endosulphane et endosulphate alpha, heptachlore et hepta-époxide, butadiène hexachloré, benzène hexachloré, benzène pentachloré.
Hydrocarbures totaux	

AT4

Annexes Techniques 4

Caractérisation physico-chimique

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 230

2 RECOMMANDATIONS GENERALES 231

2.1 LE FLACONNAGE 231
2.2 LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES ECHANTILLONS 231
2.3 L'ACHEMINEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE D'ANALYSES 232
2.4 LE TRAITEMENT ET LA CONSERVATION DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE 232

FICHE A CARACTERISATION PHYSIQUE 233

FICHE B CARACTERISATION CHIMIQUE 239

GROUPE C DESCRIPTION DES METHODES ANALYTIQUES 242

Fiche C1 AZOTE AMMONIACAL (NH_3 / NH_4) 245
Fiche C2 AZOTE KJEDHAL (NTK) 246
Fiche C3 CARBONE ORGANIQUE TOTAL (COT) 247
Fiche C4 CARBONATES ($CaCO_3$) 248
Fiche C5 CHLOROBENZENES 249
Fiche C6 CHLORURES SOLUBLES (Cl^-) 250
Fiche C7 CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (E_C) 251
Fiche C8 CHROME VI (Cr_6^+) 252
Fiche C9 COMPOSES ORGANO-HALOGENES EXTRACTIBLES (EOX) 253
Fiche C10 COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS (VOX) 254
Fiche C11 COMPOSES ORGANO-HALOGENES ABSORBABLES (AOX) 255
Fiche C12 GRANULOMETRIE POUR CLASSIFICATION STRUCTURALE 256
Fiche C13 HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) 257
Fiche C14 HYDROCARBURES TOTAUX 258
Fiche C15 INDICE PHENOLS 260
Fiche C16 MATIERE ORGANIQUE 261
Fiche C17 MATIERES SECHES OU RESIDU D'EVAPORATION 262
Fiche C18 METAUX PAR ICP-AES 263
Fiche C19 METAUX LOURDS PAR FOUR GRAPHITE 264
Fiche C20 MERCURE 266
Fiche C21 NITRATE / NITRITE (NO_3^- / NO_2^-) 267

(suite du sommaire à la page suivante)

Fiche C22	**pH**	**268**
Fiche C23	**POLYCHLOROBIPHENILS (PCB) ET PESTICIDES CHLORES**	**269**
Fiche C24	**PESTICIDES ORGANOPHOSPHORES ET AZOTES**	**271**
Fiche C25	**PHYTOSANITAIRES PHENYL UREES**	**273**
Fiche C26	**PHENOL, CHLOROPHENOLS ET CRESOLS**	**274**
Fiche C27	**PHOPHATES (ORTHOPHOSPHATES)**	**276**
Fiche C28	**PHTALATES**	**277**
Fiche C29	**SOLVANTS AROMATIQUES ET CHORES**	**278**
Fiche C30	**MESURES IN - SITU**	**280**

GROUPE D CARACTERISATION DES MATERIAUX DE CURAGE 282

Fiche D1	**PROCESSUS DE MATURATION DES MATERIAUX DE CURAGE**	**283**
Fiche D2	**TEST DE SPECIATION : PROTOCOLE DE TESSIER *ET AL*.**	**285**
Fiche D3	**TEST DE LIXIVIATION**	**287**
Fiche D4	**TEST DE PERCOLATION**	**288**

1 INTRODUCTION

L'**« Annexe Technique AT 4 : Caractérisation physico-chimique »** a pour principal objectif de développer un support technique, consacré à la caractérisation physico-chimique des sédiments.

La caractérisation physico-chimique est une méthode numérique, basée sur l'expression d'un résultat analytique, susceptible d'induire une classification en fonction de critères numériques (valeurs guides en cours de définition), par opposition à la caractérisation biologique qui est davantage une méthode descriptive des effets toxiques.

La liste des composés recherchés est très hétérogène selon les pays, les bassins hydrographiques, les gestionnaires et les objectifs de contrôle (obtenir une idée générale des niveaux et des zones de pollution, dimensionner des travaux de curage…).

D'un point de vue purement scientifique et technique, il est délicat d'arrêter une liste de paramètres en raison de la diversité des sites devant faire l'objet d'une caractérisation physico-chimique. Dans ce contexte, l'annexe technique AT4 propose une liste indicative de paramètres analytiques, arrêtée selon l'occurrence de présence, la rémanence dans l'environnement et le caractère toxique des substances au regard de la santé humaine et de l'environnement.

Les critères communs de sélection des paramètres analytiques ont été les suivants :

- les méthodes disponibles sur le territoire national, si possible standardisées et/ou normalisées,
- le rapport qualité/prix, la qualité étant définie selon des termes de temps et délais de réalisation et de fiabilité de la méthode.

Toutefois, l'affirmation d'une politique réglementaire nationale dans le domaine de la qualité de l'eau pourra proposer une liste indicative de paramètres à analyser comme le stipule l'introduction à la caractérisation chimique, **AT4 Fiche B**

La présente Annexe Technique AT4 s'articule autour de 4 parties, précédées par des recommandations générales relatives au flaconnage, aux techniques de conservation et aux conditions d'acheminement jusqu'à réception des échantillons au laboratoire d'analyses :

- Caractérisation physique (Fiche du groupe a)
- Caractérisation chimique (Fiche du groupe B)
- Description des méthodes analytiques (fiches du groupe C)
- Caractérisation des matériaux de curage (Fiches du groupe D).

2 RECOMMANDATIONS GENERALES

2.1 LE FLACONNAGE

Le type de flaconnage est souvent recommandé, voire même fourni par les laboratoires d'analyses, titulaires de la détermination des paramètres analytiques.

Le flaconnage proposé par les laboratoire d'analyses est à usage unique. Il est préférablement étiqueté ou identifié par inscription au marqueur indélébile. Dans ce dernier cas, il est important de demander l'avis du laboratoire concernant le type d'encre utilisé en fonction du flaconnage afin d'éviter tout risque d'interaction avec l'échantillon.

Les matériaux du flaconnage peuvent être différents selon le paramètre analytique devant être déterminé et le pré-traitement à pratiquer pour stabiliser l'échantillon :

- Le verre transparent ou brun (selon la photo-sensibilisation de l'échantillon) pour la plupart des micro-polluants organiques

- Le polyéthylène, très fréquemment répandu, notamment pour l'analyse des métaux.

2.2 LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES ECHANTILLONS

La préservation de la qualité de l'échantillon est assurée par l'application de plusieurs mesures, fortement recommandées par le laboratoire d'analyses, et relevant du savoir-faire de l'opérateur, chargé du prélèvement.

L'une des premières recommandations est de remplir le flaconnage au ras-bord afin d'éviter l'altération de l'échantillon à l'air, et notamment à l'oxygène, présent dans l'air.

Ensuite, plusieurs techniques de stabilisation et de conservation sont disponibles :

- Le pré-traitement physique

- Le pré-traitement chimique

- La réfrigération

- Et la congélation.

Dans tous les cas, le ou les pré-traitements nécessaires doivent être rigoureusement signalés par le laboratoire d'analyses et l'opérateur.

Le pré-traitement physique

Les techniques de mélange, d'homogénéisation, d'essorage, de tamisage ou de découpe de carottes de sédiments, pratiquées sur le terrain, sont peu décrites dans la littérature et ne font appel à aucune référence normative. Elles dépendent du savoir-faire de chaque opérateur.

Le pré-traitement chimique

L'ajout d'un stabilisateur chimique peut être recommandé par le laboratoire d'analyse selon le paramètre analytique devant faire l'objet d'une détermination.

A ce titre, la description sommaire des paramètres analytiques, exposées dans les pages suivantes, comporte une section réservée à ce thème.

Le flaconnage, fourni par le laboratoire d'analyses, peut contenir le pré-traitement. Dans ce cas, l'opérateur doit demander à ce que le flacon pré-traité soit clairement identifié.

La réfrigération

La réfrigération à l'aide de pains de glace dans des glacières est particulièrement recommandée pour les paramètres organiques. Elle doit être assurée depuis la prise d'échantillon sur le terrain à la réception des échantillons au laboratoire.

Les glacières, utilisées à cet effet, peuvent également servir de conditionnement pour le transport.

La congélation

La congélation est peu recommandée, à l'exception de l'analyse des métaux, car elle peut détériorer la structure physique et chimique de l'échantillon, le rendant moins représentatif.

2.3 L'ACHEMINEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE D'ANALYSES

Les délais maximums de réception des échantillons au laboratoire sont compris entre 24 et 48 heures. Toutefois, il est fortement recommandé de réduire au maximum le temps entre la prise d'échantillon et la réception afin de garantir la conservation.

2.4 LE TRAITEMENT ET LA CONSERVATION DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

La prise en charge des échantillons par le laboratoire relève de sa compétence interne et de l'équipement disponible.

Les traitements les plus fréquemment pratiqués concernent :

- La conservation par réfrigération ou congélation,
- Le séchage à l'air libre ou au four,
- La récupération des eaux surnageantes,
- Le broyage mécanique ou manuel (au mortier),
- Le tamisage.

L'ensemble des techniques sont décrites dans les manuels internes des laboratoires, parfois inspirés des recommandations des normes analytiques ou à défaut développé selon des méthodes internes.

DI
DA
SDS

FICHE A
Caractérisation physique

L'évaluation des caractéristiques physiques (volume, granulométrie, cohésion, densité des matériaux) s'intègre dans une démarche générale de caractérisation des sédiments, comprenant trois types de caractérisation : physique, chimique, biologique.

L'évaluation des caractéristiques physiques s'avère nécessaire pour :

- décrire et identifier les sédiments,
- apprécier leur résistance mécanique,
- choisir les équipements et méthodes de dragage,
- anticiper sur le devenir des produits de curage.

Le document «Etude géotechnique et reconnaissance des sols » de la revue française de géotechnique, édité par les Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, N°22, février 1983, donne un aperçu des essais de caractérisation physique, dont les protocoles sont décrits par les Laboratoires des Ponts et Chaussées.

Un résumé de ces essais est proposé au cours des paragraphes suivants.

Essais d'identification des sédiments

➢ *La teneur en eau (Cf. AT4 Fiche C17)*

Les sédiments sont essentiellement composés d'eau interstitielle et de particules solides. L'eau interstitielle peut représenter jusqu'à 90% du volume d'un sédiment non compacté et jusqu'à 50% pour des horizons plus profonds et plus compactés.

La teneur en eau est un élément important à considérer, notamment lors du choix des équipements et méthodes de dragage, transport, entreposage et traitement.

La teneur en eau est définie comme le rapport en % du poids d'eau que le sédiment contient au poids de ses éléments secs.

Le lecteur est prié de se reporter à la section AT4 Fiche C17, intitulée « Matières sèches (MS) / Résidu d'évaporation », décrivant le protocole d'obtention des éléments secs par dessiccation de l'échantillon de sédiment à l'étuve à 105°C.

➢ ***L'analyse granulométrique (Cf. AT4 Fiche C12)***

Comme pour les sols, les particules solides des sédiments sont principalement composées de sables, de limons, d'argiles, de matières organiques et d'oxydes de fer et de manganèse.

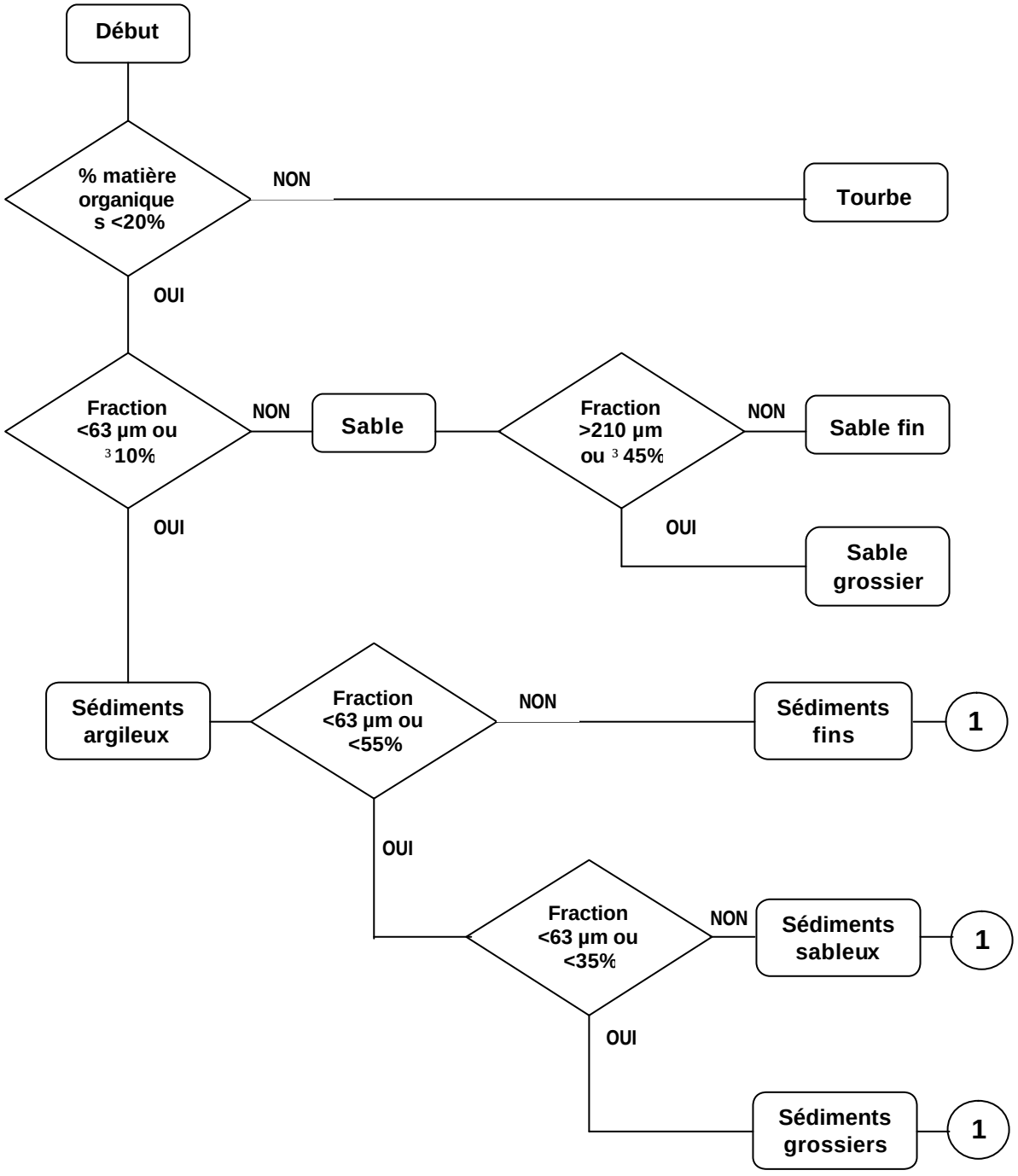
L'analyse granulométrique (cf. figure 1, en fin de fiche) permet de déterminer la distribution dimensionnelle en % du poids des éléments d'un matériau, par séparation des fractions grossières et fines :

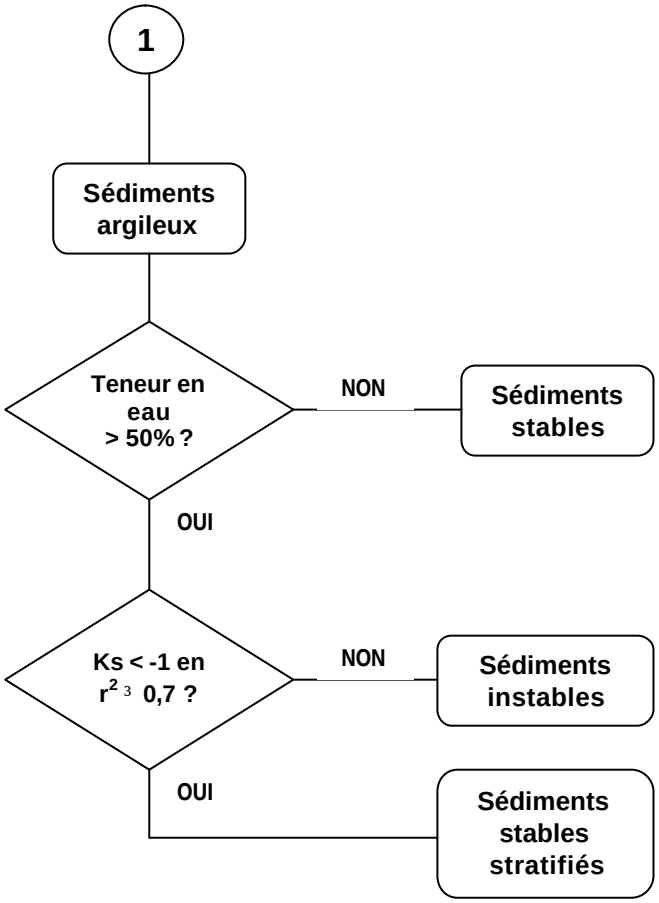
- Subdivisions de la fraction grossière (taille >50µm)
    - o Fraction dont la taille est supérieure à 2 mm : débris de végétaux ou agrégats de particules différentes,
    - o Fraction dont la taille est comprise entre 200µm et 2 mm : sables grossiers,
    - o Fraction dont la taille est comprise entre 50 et 200µm : sables fins.
- Subdivisions de la fraction fine (<50µm)
    - o Fraction dont la taille est comprise entre 20 et 50 µm : limons grossiers,
    - o Fraction dont la taille est comprise entre 2 et 20 µm : limons fins,
    - o Fraction dont la taille est inférieure à 2 µm : argiles.

Les pourcentages de fractions fines et grossières dépendent de la région et du milieu aquatique.

Le lecteur est prié de se reporter à la section AT4 Fiche C12, intitulée « Granulométrie pour classification structurale», décrivant le protocole d'obtention des différentes fractions.

Figure 1 : Caractérisation granulométrique des sédiments





Remarque : La siccité correspond au pourcentage d'eau dans le sédiment.

Sachant que : % teneur en eau = 100 - % matières sèches.

➢ ***Les limites d'Atterberg***

Ces limites sont les teneurs en eau caractérisant conventionnellement sur un sédiment fin remanié et selon le mode opératoire bien déterminé, disponible auprès des Laboratoires des Ponts et Chaussées :

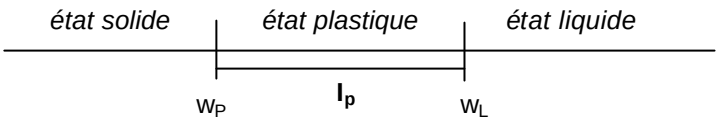
- Le passage de l'état liquide à l'état plastique : la teneur en eau correspondante est appelée $\mathbf{w_L}$, **limite de liquidité**

- Le passage de l'état plastique à l'état solide : la teneur en eau correspondante est appelée $\mathbf{w_P}$, **limite de plasticité**.

A partir de ces valeurs sont définis :

- l'**indice de plasticité**, $\mathbf{I_P}$, donné par la relation : $I_P = w_L - w_P$

I_p	*Degré de plasticité*
0-5	*Non plastique*
5-15	*Peu plastique*
15-40	*Plastique*
40	*Très plastique*



- l'**indice de consistance**, $\mathbf{I_C}$, donné par la relation : $I_P = \dfrac{w_L - w}{w_L - w_P}$

où w est la teneur en eau à l'état initial.

I_C		0	0,25	0,5	0,75	1	
état du sol	*liquide*	*très mou*	*mou*	*mi consistant*	*consistant*	*très consistant*	

<u>Les poids volumiques</u>

➢ *Le poids volumique du sol humide*

Il s'agit du rapport du poids total d'une certaine quantité de sédiment à une certaine teneur en eau, rapporté à son volume V.

➢ *Le poids volumique du sol sec*

Il s'agit du rapport du poids de matières sèches contenues dans le volume V d'une certaine quantité de sédiment à une certaine teneur en eau.

La teneur en matières organiques ***(Cf. AT4 Fiche C16)***

La matière organique est essentiellement composée de molécules colloïdales d'acides humiques et fulviques, résultant du processus d'humification. La matière humique possède une forte affinité pour les métaux et les polluants apolaires.

Le lecteur est prié de se reporter à la section AT4 Fiche C16, intitulée « Matières organiques», décrivant le protocole de détermination de la teneur en matière organique.

La teneur en carbonates de calcium ***(Cf. AT4 Fiche C4)***

Le calcium présente une grande affinité au regard des métaux lourds. C'est un élément essentiel dans l'évolution de la matière organique, la formation des argiles, la nature du complexe argilo-humique et la nutrition de la flore aquatique.

Le lecteur est prié de se reporter à la section AT4 Fiche C4, intitulée « Carbonates», décrivant le protocole de détermination de la teneur en carbonates.

Essais de résitance mécanique

Les essais de résistance mécanique ont pour objet de déterminer la résistance des sédiments au cisaillement, notamment après extraction et mise en dépôt.

Les essais les plus utilisés sont :

- L'essai de cisaillement rectiligne,
- L'essai de compression triaxiale,
- L'essai de compression simple.

Essais de compactage

Les essais de compactage ont pour but d'étudier l'influence de teneur en eau d'un échantillon de sédiment sur le poids volumique sec de ce même échantillon, soumis à une énergie de compactage donnée.

Un essai de compactage consiste à compacter avec une énergie définie, un échantillon de sédiment remanié dans un moule normalisé et à mesurer le poiiuds volumique sec obtenu.

Deux essais, dits « PROCTOR Normal (PN) » et « PROCTOR Modifié (PM) » sont disponibles. Le processus d'exécution de ces essais fait l'objet d'un mode opératoire établi par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Ces essais son inadaptés aux sédiments contenant plus de 25% en poids d'élément retenu aux tamis de 20 mm.

FICHE B
Caractérisation chimique

Les caractéristiques chimiques influencent la mobilité et la biodégradabilité des substances indésirables, susceptibles d'être présentes dans les sédiments. Toute variation des conditions environnementales peut entraîner une perturbation physico-chimique dans les sédiments, modifiant la mobilité et les conditions de transfert des substances indésirables. Par exemple, les carbonates métalliques peuvent relarguer des métaux si le pH diminue.

A ce titre, la caractérisation chimique des sédiments est importante, notamment lors de la conception d'un projet de curage ou de l'élaboration d'un scénario de traitement.

De plus, la caractérisation chimique permet d'évaluer le degré de contamination des sédiments. Parmi les substances indésirables à rechercher dans les sédiments lors de projets de curage, peuvent être cités :

- Les substances chimiques recherchées comme indicateurs de la nature des sédiments ou nécessaires à l'interprétation de tests biologiques, par exemple.

- Les substances analysées de façon routinière dans le cadre d'une gestion patrimoniale de la qualité des sédiments. Selon le contexte particulier du site où sont entreprises les opérations de dragage ou de restauration, le gestionnaire pourra ajouter ou retrancher un ou plusieurs paramètres analytiques.

- Les substances indésirables les plus fréquemment rencontrées dans les sédiments et recherchés pour :
    - leur caractère toxique au regard de la santé humaine,
    - leur rémanence dans l'environnement.

A ce titre, la ***proposition modifiée de décision du Parlement européen et du Conseil établissant la liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau*** propose 33 substances ou groupes de substances en tant que substances prioritaires au regard de la directive-cadre sur l'eau (législation en cours de préparation).

Le texte intégral de cette proposition de la Commission est consultable sur le site Internet à l'adresse suivante : http//europa.eu.int.

La liste des 33 substances ou groupe de substances extraite de ce projet de législation est proposée à titre informatif et indicatif au cours des pages suivantes.

Substances dangereuses prioritaires :

Parmi cette liste, 11 substances ou groupes de substances sont identifiées en tant que « **substances dangereuses prioritaires** » au regard de critères décrits dans le texte de la proposition. La liste de ces 11 substances ou groupes de substances est la suivante :

Tableau 1 : Liste des substances prioritaires

SUBSTANCES	GROUPES DE SUBSTANCES	REFERENCE AU GUIDE
Diphényléther bromé (uniquement pentabromodiphényléther)	Ethers	*en cous de développement*
Cadmium	Métaux	AT4 Fiches C18 et C19
Chloroalcanes C10-13	Chloroalcanes	*en cous de développement*
Hexachlorobenzène	Chlorobenzènes et pesticides chlorés	AT4 Fiches C5 et C23
Hexachlorobutadiène	Pesticides chlorés et Solvants aromatiques et chlorés	AT4 Fiches C23 et C28
Hexachlorocyclohexane	Pesticides chlorés	AT4 Fiche C 23
Mercure	Métaux	AT4 Fiche C20
Nonylphénols	Phénols	AT4 Fiche C26
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	HAP	AT4 Fiche C13
Pentachlorobenzène	Chorobenzènes	AT4 Fiche C5
Composés du tributylétain	Organométalliques	*en cous de développement*

Substances dangereuses prioritaires en cours d'examen :

14 substances ou groupes de substances prioritaires complémentaires sont proposées au titre de la directive-cadre eau en tant que « **substances dangereuses prioritaires en cours d'examen**». La décision finale concernant le statut de ces dernières sera proposée et adoptée lors de la révision de la liste des substances prioritaires, prévue dans les quatre ans suivant l'entrée en vigueur de la directive-cadre.

Tableau 2 : Liste des substances prioritaires en cours d'examen

SUBSTANCES	GROUPES DE SUBSTANCES	REFERENCE AU GUIDE
Anthracène	HAP	AT4 Fiche C13
Atrazine	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24
Chlorpyriphos	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24
Di(éthylhexyl)phtalate (DEHP);	Phtalates	AT4 Fiche C 27
Diuron	Phytosanitaires phényl urées	AT4 Fiche C25
Endosulfane	Pesticides chlorés	AT4 Fiche C 23
Naphthalène;	HAP	AT4 Fiche C13
Isoproturon	Phytosanitaires phényl urées	AT4 Fiche C25
Plomb	Métaux	AT4 Fiche C18 et C19

SUBSTANCES	GROUPES DE SUBSTANCES	REFERENCE AU GUIDE
Simazine	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24
Octylphénols	Phénols	AT4 Fiche C26
Pentachlorophénol	Phénols	AT4 Fiche C26
Trichlorobenzenes	Chorobenzènes	AT4 Fiche C5
Trifluraline	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24

Substances ou groupes de substances qui ne sont pas considérés comme des substances dangereuses prioritaires :

En ce qui concerne les 8 autres substances prioritaires, aucun élément, sur la base des meilleures connaissances disponibles, ne prouve qu'elles sont « toxiques, persistantes et bioaccumulables » ou qu'elles méritent d'être « considérées, à un degré équivalent, comme sujettes à caution ». La liste des 8 substances ou groupes de substances qui ne sont pas considérés pour le moment comme des substances dangereuses prioritaires est la suivante :

Tableau 3 : Liste des substances a priori non retenues comme substances prioritaires dangereuses

SUBSTANCES	GROUPES DE SUBSTANCES	REFERENCE AU GUIDE
Alachlore	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24
Benzène	Solvants aromatiques et chlorés	AT4 Fiche C 28
Chlorfenvinphos	Pesticides organo – phosphorés et azotés	AT4 Fiche C 24
Dichlorométhane	Solvants aromatiques et chlorés	AT4 Fiche C 28
1,2-Dichloroéthane	Solvants aromatiques et chlorés	AT4 Fiche C 28
Fluoranthène	HAP	AT4 Fiche C13
Nickel	Métaux	AT4 Fiche C18
Trichlorométhane.	Solvants aromatiques et chlorés	AT4 Fiche C 28

Outre ces listes indicatives, d'autres paramètres complémentaires, présentement décrits dans l'Annexe technique AT4, pourront être pratiqués sur les mêmes échantillons afin de faciliter l'interprétation des résultats analytiques et/ou l'interprétation de tests biologiques.

GROUPE C
Description des méthodes analytiques

FICHE C1	**AZOTE AMMONIACAL (NH_3 / NH_4)**	**245**
FICHE C2	**AZOTE KJEDHAL (NTK)**	**246**
FICHE C3	**CARBONE ORGANIQUE TOTAL (COT)**	**247**
FICHE C4	**CARBONATES ($CaCO_3$)**	**248**
FICHE C5	**CHLOROBENZENES**	**249**
FICHE C6	**CHLORURES SOLUBLES (Cl^-)**	**250**
FICHE C7	**CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (E_C)**	**251**
FICHE C8	**CHROME VI (Cr^{6+})**	**252**
FICHE C9	**COMPOSES ORGANO-HALOGENES EXTRACTIBLES (EOX)**	**253**
FICHE C10	**COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS (VOX)**	**254**
FICHE C11	**COMPOSES ORGANO-HALOGENES ABSORBABLES (AOX)**	**255**
FICHE C12	**GRANULOMETRIE POUR CLASSIFICATION STRUCTURALE**	**256**
FICHE C13	**HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)**	**257**
FICHE C14	**HYDROCARBURES TOTAUX**	**258**
FICHE C15	**INDICE PHENOLS**	**260**

FICHE C16	**MATIERE ORGANIQUE**	**261**
FICHE C17	**MATIERES SECHES OU RESIDU D'EVAPORATION**	**262**
FICHE C18	**METAUX PAR ICP-AES**	**263**
FICHE C19	**METAUX LOURDS PAR FOUR GRAPHITE**	**264**
FICHE C20	**MERCURE**	**266**
FICHE C21	**NITRATE / NITRITE (NO_3^- / NO_2^-)**	**267**
FICHE C22	**pH**	**268**
FICHE C23	**POLYCHLOROBIPHENILS (PCB) ET PESTICIDES CHLORES**	**269**
FICHE C24	**PESTICIDES ORGANOPHOSPHORES ET AZOTES**	**271**
FICHE C25	**PHYTOSANITAIRES PHENYL UREES**	**273**
FICHE C26	**PHENOL, CHLOROPHENOLS ET CRESOLS**	**274**
FICHE C27	**PHOSPHATES (ORTHOPHOSPHATES)**	**276**
FICHE C28	**PHTALATES**	**277**
FICHE C29	**SOLVANTS AROMATIQUES ET CHORES**	**278**
FICHE C30	**MESURES IN - SITU**	**280**

Les fiches sont composées de 5 paragraphes principaux spécifiant :

* La Matrice d'analyse

* Le Principe d'analyse

* La Référence normative

* La Limite de détection de la technique analytique

* Les Informations complémentaires relatives à :

  la Quantité minimale d'échantillon

  le Mode de conservation

  le Temps de conservation

  le Type de flaconnage

  le Délai minimum de réalisation de l'analyse

  le Coût moyen pratiqué pour un échantillon par les laboratoires (privés ou publics) en France en 2001.

Nota :

Les abréviations **SDS** (Surveillance Des Sédiments, Cf. Partie 1 - chapitre 2), **DI** (Diagnostic Initial, Cf. Partie 1 - chapitre 3), **DA** (Diagnostic Approfondi, Cf. Partie 1 - chapitre 4) figurant à droite de l'intitulé de chaque paramètre analytique, indiquent dans quel cadre (SDS, DI et/ou DA) le paramètre est proposé pour la caractérisation chimique.

FICHE C1
Azote ammoniacal (NH_3 / NH_4)

DI
DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Analyse en flux continu

L'échantillon de sédiment est mélangé à une solution de chlorure de calcium.

L'échantillon aqueux n'est pas pré-traité.

La concentration en ammonium dissout est déterminée par colorimétrie après distillation pour éliminer les interférences dans le cas des eaux.

Références :	ISO DIS 14256-1	matrice solide
	NFT90015-1	matrice aqueuse

Limites de détection :

Sol, Sédiment	0,1 g N/kg Ms
Eau	0,1 mg N/l

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l
Mode de conservation	acidifier avec H_2SO_4 jusqu'à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	verre, plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 20 € par élément (sol, sédiment)
	≈ 15 € (matrice aqueuse)

FICHE C2
Azote Kjedhal (NTK)

SDS

DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Analyse en flux continu

L'échantillon est digéré en milieu acide avec du sulfate de potassium et du sélénium comme catalyseur, permettant la conversion de l'azote Kjeldahl (azote organique) en ion ammonium.

La concentration en ion ammonium est mesurée avec un analyseur en flux continu.

Références :		
	NFX 31-111	matrice solide
	NF EN 90-110	matrice aqueuse

Limite de détection :

Sol, Sédiment	0,1 g N/kg Ms
Eau	0,5 mg N/

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,2 l
Mode de conservation	acidifier avec H_2SO_4 jusqu'à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	1 semaine
Type de flaconnage	verre ; plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48 h
Coût	≈ 25 € sur toutes matrices

FICHE C3
Carbone organique total (COT)

DA

Matrice : eau, sol sédiment

Principe : Détermination par spectrométrie Infra Rouge

Le carbone inorganique est éliminé de l'échantillon par acidification à l'acide nitrique par conversion en CO_2. L'échantillon est ensuite purgé à l'azote. Les composés organiques sont alors digérés et oxydés, en CO_2 et H_2O, par oxydation au péroxodisulfate de potassium et irradiation aux ultraviolets. Le CO_2 ainsi libéré est quantifié par spectrométrie InfraRouge.

Référence :		
	NF EN 1484	matrice aqueuse
	NFEN 14235	matrice solide

Limite de détection :

Eau	0,2 mg C/l
Sol, sédiments	0,1 mg C/kg Ms

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,3 l
Mode de conservation	acidifier avec H_3PO_4 à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	1 semaine
Type de flaconnage	verre
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48 h
Coût	≈ 43 € (matrices aqueuses)
	≈ 90 € (matrices solides)

FICHE C4
Carbonates ($CaCO_3$)

DA

Matrice : sol, sédiment

Principe :

La méthode consiste à mesurer le poids de gaz carbonique libéré après attaque acide d'un échantillon.

Références : NF ISO 10693/X31-105

Limites de détection: 0,1% MS

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	10 g
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	-
Type de flaconnage	Verre
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 33 €

FICHE C5
Chlorobenzènes

DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à capture d'électrons (DCE) ou spectromètre de masse basse résolution (SM).

Les chlorobenzènes les plus volatils (mono-, di- et tri-chlorobenzènes) sont extraits selon la technique "purge and trap" (gaz vecteur : azote), ou bien par extraction. L'extraction par "purge and trap" n'est possible que dans les cas des échantillons aux matrices idéales. Dans les cas contraires, on procédera par une extraction à l'aide d'acétone et de pentane. Le rendement d'extraction dans les deux cas est supérieur à 90%.

Les chlorobenzènes non volatils (tétra-, penta-, et hexa-) sont extraits comme les pesticides chlorés et les PCB, le pentane remplaçant l'éther de pétrole comme extracteur.

Références : Aucune.

Limites de détection :

Composés	**Eaux** (µg/l)	**Sols, boues, sédiments** (mg/kg MS)
Monochlorobenzène	0,1	0,02
1,3-Dichlorobenzène	0,1	0,02
1,4-Dichlorobenzène	0,1	0,02
1,2-Dichlorobenzène	0,1	0,05
1,2,5-Trichlorobenzène	0,05	0,02
1,2,4-Trichlorobenzène	0,05	0,02
1,2,3-Trichlorobenzène	0,05	0,02
1,2,3,4-Tétrachlorobenzène	0,01	0,001
1,2,3,5/1,2,4,5-Tétrachlorobenzène	0,01	0,001
Pentachlorobenzène	0,01	0,001
Hexachlorobenzène (HCB)	0,01	0,001

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	Acidifier à pH=1 avec HNO_3; et garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	8 h (produits volatils) et 48 h (non-volatils)
Coût	165 € (produits volatils et non volatils)

SDS

DA

FICHE C6
Chlorures solubles (Cl^-)

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Analyse par spectrophotometrie

Le sol est mis en suspension dans de l'eau déminéralisée. Les eaux ne subissent pas de prétraitement. La concentration en chlorures dans l'eau est déterminée par spectrophotométrie grâce à un analyseur en flux continu.

Références : aucune.

Limite de détection :

Eau	2 mgCl^-/l
Sol, sédiment	25 mgCl^-/kg MS

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l / 50 g (sol)
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	1 mois
Type de flaconnage	verre ou plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 49 € (sol, sédiment)
	≈ 22 € (matrice aqueuse)

FICHE C7
Conductivité électrique (E_C)

DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Mesure de la conductivité électrique

Les échantillons de sols sont mis en suspension dans l'eau, les échantillons d'eau ne subissent pas de pré-traitment. La conductivité électrique de l'échantillon est déterminée au moyen d'un appareil de mesure de la résistance électrique ; la conductivité électrique spécifique étant l'inverse de la résistivité électrique spécifique. Cette méthode permet d'obtenir rapidement et facilement un ordre de grandeur du contenu électrolytique de la solution.

Références : NFX31-113 matrice solide

NF EN 27888 matrice aqueuse

Limite de détection : 1 µS/cm (toutes matrices)

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre ; plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse sur eau	12 h
Délai minimum de réalisation de l'analyse sur sol	24 h
Coût	≈ 10 € (sol, sédiment)
	≈ 5 € (matrice aqueuse)

FICHE C8
Chrome VI (Cr^{6+})

DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination par spectrométrie

Les échantillons solides sont extraits à chaud, avec une solution basique. Le chrome VI relargué est dosé par spectrophotométrie.

Les échantillons d'eau ne sont pas prétraités.

Référence : NFT 90-043

Limite de détection :

Eau	10 µg Cr VI/l
Sol, sédiments	1 mg Cr VI/kg Ms

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 20 € sur matrice sol et sédiment
	≈ 18 € sur matrice aqueuse

FICHE C9
Composés organo-halogénés extractibles (EOX)

DA

Matrice : sédiments

Principe : Méthode micro-coulométrique

Les échantillons solides sont séchés à 60°C. Les échantillons sont extraits à l'aide d'acétone et d'éther de pétrole. L'extrait est incinéré à 850°C. Le taux de HX ainsi formé est déterminé par micro-coulométrie. Avec cette méthode, on détermine la totalité des composants chlorés contenus dans l'extrait à un point d'ébullition supérieur à 60°C. Les composants bromés et iodés ne sont pas détectés en totalité ; les composants fluorés ne sont pas détectés.

Le rendement d'extraction est généralement supérieur à 70%, mais dépend fortement du type et des caractéristiques des composants présents dans l'échantillon.

Références : méthode interne (extraction / combustion)

Limites de détection : ≈ 0,1 mg Cl/kg Ms matrice solide

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 146 €

FICHE C10
Composés organo-halogénés volatils (VOX)

DA

Matrice : eau, sol

Principe : Méthode micro-coulométrique

Les échantillons bruts sont purgés à 60°C, à l'aide d'azote. Les composants volatils ainsi purgés sont adsorbés sur un tube Ténax. Les composés extrêmement volatils comme le chlorure de vinyle sont partiellement adsorbés. Le Ténax est désorbé à 250°C, et les composants libérés sont incinérés à 850°C. Le taux de HX ainsi formé est déterminé par micro-coulométrie. Avec cette méthode, on détermine la totalité des composants chlorés contenus dans l'échantillon à un point d'ébullition inférieur à 60°C. Les composants bromés et iodés ne sont pas détectés en totalité ; les composants fluorés ne sont pas détectés.

Références : NF EN ISO 10-301 toute matrice

Limites de détection : ≈ 1 µg Cl/l matrice aqueuse

≈ 0,1 mg Cl/kg Ms matrice solide

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	Verre brun ou vert avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	72 h
Coût	≈ 100 € toute matrice

FICHE C11
Composés organo-halogénés absorbables (AOX)

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Méthode micro-coulométrique

Les composants organiques présents dans les échantillons d'eau sont adsorbés sur du charbon actif. Ensuite, le mélange est incinéré. Le taux de HX ainsi formé est déterminé par micro-coulométrie. Les échantillons de sols ou de boue sont mélangés avec du charbon actif et analysés directement par combustion.

Cette méthode permet la détermination de tous les composés chlorés adsorbables. Les composés bromés et iodés ne sont pas détectés en totalité. Les composés fluorés ne sont pas détectés.

Référence : NF EN 1485 toutes matrices

Limites de détection : non renseignées

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=1; et garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	72 h
Coût	≈ 130 € toute matrice

FICHE C12
Granulométrie pour classification structurale

SDS
DI
DA

Matrice : sol et sédiment

Principe : Détermination gravimétrique

Les composés non minéraux, tels que le calcaire et la matière organique, sont retirés de l'échantillon.

Suite à cette opération, les composés minéraux sont tamisés à sec sur une série de tamis de tailles de maille décroissantes, permettant de séparer les fractions les plus fines des plus grossières, calculées comme un pourcentage de la fraction totale.

Référence : NFX 31-107

Limite de détection : 1 % de la matière sèche

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	100 g
Délai minimum de réalisation de l'analyse	5 jours
Coût	≈ 100 €

SDS

DA

FICHE C13
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) avec détection UV et fluorescence

Le pré-traitement des échantillons d'eau et solides est réalisé selon la norme NFT 90-115. L'extrait est lavé puis purifié. La détermination des concentrations en HAP s'effectue par HPLC.

Si l'échantillon contient un trop grand taux d'huiles ou de produits combustibles, l'analyse des HAP ne peut se faire par HPLC, mais sera effectuée par GC/SM.

Références : NFT 90-115

Limites de détection :

Composés	**Sol, boue, sédiment** (mg/kg MS)	**Eau** (µg/l)
Naphtalène	0,05	0,05
Acénaphthylène	0,05	0,05
Acénaphthène	0,05	0,05
Fluorène	0,01	0,01
Phénanthrène	0,01	0,01
Anthracène	0,01	0,01
Fluoranthène	0,01	0,01
Pyrène	0,01	0,01
Benzo(a)anthracène	0,01	0,01
Chrysène	0,01	0,01
Benzo(b)fluoranthène	0,01	0,01
Benzo(k)fluoranthène	0,01	0,01
Benzo(a)pyrène	0,01	0,01
Dibenzo(a,h)anthracène	0,01	0,01
Benzo(g,h,i)pérylène	0,01	0,01
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,01	0,01

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=2 ; et garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre foncé avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	12 h
Coût	≈150 €

FICHE C14
Hydrocarbures totaux par CPG

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination par chromatographie phase gazeuse (CPG) avec détecteur à ionisation de flamme (FID)

L'extraction des échantillons est effectuée avec de l'heptane pour les eaux et avec de l'acétone et de l'heptane pour les sols. L'extrait est purifié sur gel de silice, afin d'extraire les composés polaires d'origine naturelle. La détermination des concentrations en hydrocarbures s'effectue par CPG équipé d'un détecteur FID, par étalonnage externe, les produits de référence étant composés d'huile moteur et diesel. Les hydrocarbures analysés correspondent aux alcanes en C10-C40 (point d'ébullition compris entre 175 et 525 °C).

Cette technique permet également une identification qualitative de produits ou d'huiles inconnus, ayant un point d'ébullition se trouvant dans la gamme étudiée.

La somme des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques du n-hexane (C6) au n-décane (C10) inclus peut être quantifiée de manière complémentaire par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse basse résolution (méthode SIM).

Références : NFX 31-410 (méthode B) matrices solides

NFT 90-114 matrices aqueuses

Limites de détection :

Eau	0,05 mg/l
Sol, sédiment	10 mg/kg Ms

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre foncé (brun ou vert) avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	8 h
Coût	≈50 € (supplément fractions C6-C10 ≈100 €)

SDS
DI
DA

FICHE C14 bis
Hydrocarbures totaux par IR

Matrice : eau, sol

Principe : Détermination par spectrophotométrie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FT-IR)

Les échantillons d'eau sont extraits au fréon 113 (1,1,2-trichloro-trifluoroéthane) ou au tétra-chlorure de carbone (solvant interdit par les accords de Montréal), purifiés et analysés par spectrophotométrie FT-IR.

Les échantillons de sol sont séchés, extrait au soxhlet avec du fréon, purifiés et mesurés par spectrophotométrie FT-IR (longueur d'ondes : 3030 ; 2958 ; 2925 cm^{-1}).

La nature du solvant d'extraction n'a pas d'incidence sur les résultats des teneurs en hydrocarbures.

L'utilisation de la spectrophotométrie IR ne permet pas d'identifier qualitativement les produits analysés. De plus, un taux important de produits polaires et d'hydrocarbures halogénés peuvent introduire une erreur par excès sur la détermination des hydrocarbures totaux. La teneur en composés faiblement polaires ou des produits d'origine biologiques est inclue dans la détermination finale des hydrocarbures totaux.

Références :

NFX 31-410 (méthode A)	matrices solides
NFT 90-114	matrices aqueuses

Limites de détection :

Eau	0,05 mg/l
Sol, sédiment	50 mg/kg MS

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=2 et garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre foncé (brun ou vert) avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	72 h
Coût	≈50 €

FICHE C15
Indice phénols

DA

Matrice : eau, sol et boue

Principe : Analyse en flux continu

Les phénols volatils sont extraits par entraînement à la vapeur. Le distillat contient ainsi les phénols volatils solubles dans l'eau, qui sont dosés par colorimétrie. Le résultat est exprimé en équivalent phénol. Les crésols et autres phénols sont partiellement inclus dans le résultat d'analyse.

Les échantillons aqueux ne sont pas pré-traités.

Références :

NFX31-144	matrice solide
XPT90-109	matrice aqueuse

Limites de détection :

Eau	1 µg phénol/l
Sol, sédiments	0,1 mg phénol/kg Ms

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l
Mode de conservation	acidifier avec H_3PO_4 à pH=2, ajouter 1 g de $CuSO_4.5H_2O$ / l d'échantillon
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre borosilicaté rincé avec HNO_3
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 50 € (sol et sédiment)
	≈ 40 € (matrice aqueuse)

FICHE C16
Matière organique

SDS
DI
DA

Matrice : sédiment et sols

Principe : Détermination par titrage rédox

L'échantillon est porté à ébullition dans un environnement fortement acidifié avec un excès connu de dichromate de potassium. Les composés organiques présents dans l'échantillon sont entièrement oxydés. La quantité de dichromate de potassium non consommée est déterminée par titrage à l'aide d'une solution de sulfate d'ammonium ferreux. Par différence avec la quantité initiale de dichromate de potassium, il est possible de déterminer le taux de matière organique présent dans l'échantillon.

Cette méthode est plus efficace pour déterminer le taux de matière organique que la mesure de la perte au feu.

Référence : méthode interne (oxydation / tdosage titrimétrique)

Limite de détection : ≈ 0,1 % de la matière sèche

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	10 g
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48 h
Coût	≈ 16 € (sol et sédiment)

FICHE C17
Matières sèches ou résidu d'évaporation

Matrices : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination gravimétrique

L'échantillon est séché à 105?C. Ensuite, la perte de masse est mesurée par pesée.

Références : NF ISO 11465 matrices solides

NFT 90-029 matrice aqueuse

Limite de détection :

Eau	0,01% w/v
Sol	0,01% en poids

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon pour les sols	20 g
Quantité minimale d'échantillon pour les eaux	200 ml
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre, plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse pour MS	12 h
Délai minimum de réalisation de l'analyse pour les eaux	24 h
Coût	≈ 16 € toutes matrices

FICHE C18
Métaux par ICP-AES

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Méthode ICP-AES.

La méthode ICP-AES consiste en une spectrométrie à émission atomique à plasma induit. L'échantillon est vaporisé dans un plasma d'argon, chauffé à environ 7 700°C afin de vaporiser les métaux présents. A cette température, le métal, sous forme atomique, se trouve sous un état énergétique instable. Pour retrouver sa stabilité, il émet une énergie de type lumineux, spécifique à chaque métal, qui est enregistrée. La comparaison de l'intensité du rayonnement de chaque élément avec un étalon permettra de calculer sa concentration dans l'échantillon.

La méthode ICP est la plus régulièrement pratiquée car elle permet l'analyse d'environ 70 éléments métalliques : Argent, Aluminium, Cadmium, Chrome, Cuivre, Or, Bore, Baryum, Calcium, Cobalt, Fer, Potassium, sélénium, Lithium, Magnésium, Manganèse, Nickel, Plomb, Sodium, Platine, Etain, Titane, Zinc,...

Référence : NF EN ISO 11885

Limite de détection : de l'ordre du micro-gramme par litre (µg/l)

Méthodes	Sol, boue, sédiment (mg/kg MS)	Eau (µg/l) (avec digestion)	Eau (µg/l) (sans digestion)
Ag	1	4	2
Al	1	10	5
As	5	90	45
B	1	20	10
Ba	1	4	2
Ca	1	20	10
Cd	0,1	20	1
Cr	0,5	2	1
Cu	0,5	4	2
Co	0,5	4	2
Fe	2	30	15
K	50	1000	500
Mg	10	150	75
Mn	0,1	2	1
Mo	1	6	3
Na	5	60	30
Ni	0,5	2	1
P	10	200	100
Pb	1	10	5
S	30	600	300
Se	2	50	25
Si	20	400	200
Sn	1	20	10
Te	1	20	10
Ti	1	4	2
Tl	1	20	10
V	1	8	4
Zn	1	4	2

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	filtrer à 0,45 µ et acidifier avec HNO_3 à pH=2
Temps de conservation	1 mois
Type de flaconnage	verre borosilicaté rincé avec HNO_3
Délai minimum de réalisation de l'analyse	12 h
Coût	≈ 15 € par élément métallique

FICHE C19
Métaux lourds par four graphite

SDS
DI
DA

Matrice : sol, sédiment

Principe : Four graphite

Afin d'abaisser les limites de détection de certains métaux, on utilise la Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA) en four graphite. Le four est porté à environ 1700 ?C, permettant ainsi l'atomisation du métal. Sous cette forme, le métal peut absorber, en partie, la lumière émise par une lampe spécifique. L'extinction de la lumière incidente est fonction de la concentration de métal présent dans l'échantillon.

Référence : NFT 90-119

Limite de détection : 0,5 µg/l pour les éléments suivants : As, Cd, Pb, Se

Méthodes	**Sol, boue, sédiment** (mg/kg MS)	**Eau** (µg/l) (avec digestion)	**Eau** (µg/l) (sans digestion)
As	< 0,5	1,0	0,5
Cd	-	0,2	0,1
Sb	-	1,0	0,5
Se	-	2,0	1,0
Pb	-	2,0	1,0

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,5 l
Temps de conservation	1 mois
Type de flaconnage	verre borosilicaté rincé avec HNO_3
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 21 € par élément métallique

FICHE C20
Mercure

SDS
DI
DA

Matrice : sol, sédiment

Principe : Méthode à la vapeur froide

Le dosage du mercure se fait selon la méthode SAA à vapeur froide. La solution contenant le mercure est réduite par une solution de chlorure d'étain. Le mercure se trouvant ainsi sous forme métallique, est volatilisé et quantifié par absorption atomique, comme précédemment.

Référence : XPT 90-113-2

Limite de détection : de l'ordre de 0,03 µg/l.

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	Acidifier avec HNO_3 à pH=1 et ajouter 0,2 g/l de dichromate de potassium
Temps de conservation	15 jours
Type de flaconnage	verre borosilicaté rincé avec HNO_3
Délai minimum de réalisation de l'analyse	24 h
Coût	≈ 34 €

FICHE C21
Nitrate / Nitrite (NO_3^- / NO_2^-)

SDS

DA

Matrice : eau, sol et sédiment

Principe : Analyse en flux continu

L'échantillon de sol est extrait avec une solution de chlorure de calcium. Les nitrates dissous sont réduits en nitrites sur un produits à base de cadmium ; ces nitrites sont ensuite déterminés par colorimétrie. Par décompte des nitrites présents alors en solution, on calcule la quantité de nitrates initialement présents par différence.

Références : aucune.

Limites de détection :

	Sol, sédiments	Eau
NO_3^-	5 mg N/kg Ms	0,05 mg N/l
NO_2^-	5 mg N/kg Ms	0,02 mg N/l

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre ; plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48 h
Coût	≈ 46 € par élément toutes matrices

FICHE C22
pH

SDS
DI
DA

Matrice : eau, sol, sédiment

Principe : Détermination potentiométrique

L'échantillon solide est mis en suspension dans l'eau additionnée d'une solution de chlorure de potassium (KCl) ou de chlorure de calcium ($CaCl_2$). Le pH est mesuré dans cette solution. Etant donné qu'il existe un échange entre les ions H^+ du sol et les ions K^+ ou Ca^{2+} présents dans la solution, les pH-KCl et pH-$CaCl_2$ sont quasiment toujours plus faibles que le pH-H_2O.

Les échantillons d'eau ne subissent aucun pré-traitement.

Références : NF ISO 10-390 sol, sédiment

NFT90-008 eau

Gamme de détection : 1 - 14 unité pH

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	verre ; plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	12 h
Coût	9,6 € sur matrice sol, sédiment
	≈ 5 € sur matrice aqueuse

FICHE C23
Polychlorobiphénils (PCB) et pesticides chlorés

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur à capture d'électrons (ECD)

Les échantillons d'eau sont extraits à l'aide d'un solvant apolaire, l'éther de pétrole, et les échantillons de sol avec de l'acétone et de l'éther de pétrole.

L'extrait est séché avec du sulfate de sodium, concentré et purifié par chromatographie préparative sur une colonne d'alumine désactivée.

L'extrait est injecté simultanément sur deux colonnes de longueurs et de polarités différentes. Un composé est considéré comme présent si les deux chromatogrammes présentent un pic au temps de rétention théorique.

La détection est réalisée par étalonnage externe, sur le plus petit pic.

Références : NF EN ISO 6468 matrice solides

NFT 90-120 ou NF EN ISO 6468 matrices aqueuses

Limites de détection :

Composés	Eau (µg/l)	Sol et sédiment (µg/kg M.S.)
I Polychlorobiphényles		
PCB 28	0,01	1
PCB 52	0,01	1
PCB 101	0,01	1
PCB 118	0,01	1
PCB 138	0,01	1
PCB 153	0,01	1
PCB 180	0,01	1
S 6 PCBs	0,1	20
S 7 PCBs	0,1	20
II Pesticides organochlorés		
HCB (Héxachlorobenzène)	0,01	1
alpha-HCH	0,01	1
béta-HCH	0,01	1
gamma-HCH (Lindane)	0,01	1
delta-HCH	0,01	1
Heptachlore	0,01	1
Cis-Heptachloroépoxyde	0,01	1
trans-Chlordane	0,01	1
Aldrine	0,01	1
Dieldrine	0,01	1
Endrine	0,01	1
Isodrine	0,01	1

Composés	Eau (µg/l)	Sol et sédiment (µg/kg M.S.)
Télodrine	0,01	1
2,4-DDE	0,01	1
4,4-DDE	0,01	1
2,4-DDD	0,01	1
4,4-DDD	0,01	1
2,4-DDT	0,01	1
4,4-DDT	0,01	1
alpha-Endosulfane	0,01	1
Endosulfane Sulfate	0,01	1
S 4 HCH	0,05	15
S Heptachlore et Heptachloroépoxyde	0,05	10
S 3 Drines (Aldrine, Dieldrine, Endrine)	0,05	10
S DDT/DDE/DDD	0,1	20
S alpha-Endosulfane et Endosulfane Sulfate	0,05	10
III Pesticides organochlorés non-standard		
Captan	0,01	5
Dichlobénile	0,01	5
Dicofole	0,05	5
béta-Endosulfane	0,01	5
Héxachlorobutadiène	0,01	1
Méthoxychlore	0,02	2
Propachlore	0,1	10
Vinclozoline	0,01	1
epsilon-HCH	0,01	1

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48 h
Coût	260 € (sol, sédiment)
	240 € (matrice aqueuses)

FICHE C24
Pesticides organophosphorés et azotés

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Détermination par chromatographie en phase gazeuse équipé d'un détecteur Phosphore-Azote (NPD)

Les échantillons solides sont extraits avec de l'acétone et du dichlorométhane, et les échantillons d'eau sont extraits au dichlorométhane. L'extrait est séché sur sulfate de sodium, concentré et dilué dans une solution d'heptane. Les pesticides organophosphorés et organoazotés sont analysés par chromatographie en phase gazeuse, simultanément sur deux colonnes capillaires de polarité différente.

Pour la détermination des pesticides organophosphorés dans les eaux usées, une détermination par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse basse résolution est conseillée afin de prendre en compte la présence de certains composés de la matrice de l'échantillon pouvant interférer lors de l'analyse.

Références :

Pour les pesticides organophosphorés

EN 128 18 toutes matrices

Pour les pesticides organoazotés

XPT 90-121 matrice solides

matrices aqueuses

Limites de détection :

Composés	Eau (µg/l)	Sol et sédiment (µg/kg MS)
I Pesticides organophosphorés		
Méthyle-Bromophos	0,01	2
Ethyle-Bromophos	0,01	2
Ethyle-Chloropyriphos	0,01	2
Diazinon	0,01	2
Dichlorvos (DDVP)	0,01	2
Diméthoate	0,01	2
Disulfoton	0,01	2
Fenthion	0,01	2
Malathion	0,01	2
Mevinphos (E + Z)	0,01	2
Méthyle-Parathion	0,01	2
Ethyle-Parathion	0,01	2
II Pesticides organoazotés		
Atrazine	0,01	2
Propazine	0,01	2
Simazine	0,01	2
Terbutryne	0,01	2
III Pesticides organo-P-& N- non standards		
Alachlore	0,02	2
Anilazine	0,05	5

Composés	**Eau** (µg/l)	**Sol et sédiment** (µg/kg MS)
Azinphos-méthyle	0,02	2
Azinphos-éthyle	0,02	2
Buprofézine	0,05	5
Chloridazon	0,05	10
Chlorofenvinphos (E+Z)	0,02	2
Chloropyrifos-méthyle	0,02	2
Coumaphos	0,02	2
Cyanazine	0,02	2
Déméton-O	0,1	10
Déméton-S	0,02	2
Déséthylatrazine	0,01	2
Désisopropylatrazine	0,1	10
Desméthryne	0,02	2
Ethion	0,1	10
Ethoprophos	0,01	2
Fénarimol	0,2	10
Fénitrothion	0,01	2
Furalaxyle	0,2	10
Hepténophos	0,01	2
Iprodione	0,2	10
Métalaxyle	0,1	10
Métamitron	0,02	2
Métazachlore	0,02	2
Métolachlore	0,1	10
Métribuzine	0,02	10
Monocrotophos	0,05	5
Oxydemeton-méthyle (déméton-S-méthylsulphoxyde)	0,05	10
Phosphamidon (E+Z)	0,01	2
Primicarbe	0,02	2
Prométryne	0,02	10
Pyrazophos	0,01	2
Sulfoteb	0,01	2
Simétryne	0,1	2
Terbutylazine	0,01	2
Tolclofos-méthyle	0,01	2
Triademefon	0,05	5
Triazophos	0,01	5
Trichlorfon	0,05	5
Trifluraline	0,05	2

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	72 h
Coût	260 € (sol, sédiment)
	240 € (matrice aqueuses)

FICHE C25
Phytosanitaires phényl urées

DA

Matrice : eau

Principe : Détermination par HPLC avec détecteur à barrette diodes

L'échantillon d'eau est extrait avec du dichlorométhane. Après séchage et concentration, l'extrait est ajouté à une solution eau/acétonitrile et dosé par HPLC.

Références :

Limites de détection :

Composés	Eau µg/l
Chlorobromuron	0,01
Chlorotoluron	0,01
Diuron	0,01
Isoproturon	0,01
Linuron	0,01
Méthabenzthiazuron	0,01
Métobromuron	0,01
Métoxuron	0,01
Monolinuron	0,01
Monuron	0,01
Composés non standards (HPLC)	
Prosulfocarbe	0,1
Thiodicarbe	0,1

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	10 jours
Coût	240 €

FICHE C26
Phénols, chlorophénols et crésols

SDS

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Détermination par chromatographie en phase gazeuse (CPG) avec détecteur à ionisation de Flamme (FID) et à capture d'électron (DCE) simultanément

L'échantillon d'eau acidifié à un pH de 2 avec de l'acide chlorhydrique est extrait, par deux fois, au toluène. La phase de toluène est ensuite extraite avec une solution de soude. La phase aqueuse basique est traitée à l'anhydride d'acide acétique (création de dérivés) et réextraite au toluène. L'extrait final est dosé par CPG équipé d'un détecteur FID et ECD. Les échantillons de boues ou de sols sont d'abord acidifiés avec de l'acide chlorhydrique, puis extraits par ultra-sons dans du toluène. La suite de la préparation de l'échantillon est identique à celle des eaux.

Références :

Limites de détection :

Composés	Eau µg/l	Sol, sédiment µg/kg Ms
2-Chlorophénol	0,1	20
3-Chlorophénol	0,1	20
4-Chlorophénol	0,1	20
2,3-Dichlorophénol	0,01	5
2,4/2,5-Dichlorophénol	0,01	5
2,6-Dichlorophénol	0,01	5
3,4-Dichlorophénol	0,01	5
3,5-Dichlorophénol	0,01	5
2,3,4-Trichlorophénol	0,003	1
2,3,5-Trichlorophénol	0,003	1
2,3,6-Trichlorophénol	0,003	1
2,4,5-Trichlorophénol	0,003	1
2,4,6-Trichlorophénol	0,003	1
3,4,5-Trichlorophénol	0,003	1
2,3,4,6-Tétrachlorophénol	0,003	1
2,3,5,6-Tétrachlorophénol	0,003	1
Pentachlorophénol	0,01	1
4-Chloro-3-méthylphénol	0,2	10
Phénol	0,2	20
o-Crésol	0,2	10
m-Crésol	0,2	10
p-Crésol	0,2	10
o-Ethylphénol	0,1	10
m-Ethylphénol	0,1	10
p-Ethyl/3,5-Diméthylphénol	0,1	10

Composés	Eau µg/l	Sol, sédiment µg/kg Ms
2,3-Diméthylphénol	0,1	10
2,4-Diméthylphénol	0,1	10
2,5-Diméthylphénol	0,1	10
2,6-Diméthylphénol	0,1	10
3,4-Diméthylphénol	0,1	10
3,5-Diméthylphénol/ p-Ethylphénol	0,1	10

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l (eau) / 50 g (matériaux solides)
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	72 h
Coût	165 € (sol, sédiment)
	165 € (eau)

FICHE C27
Phosphates (ortophosphates)

SDS

DA

Matrice : eau

Principe : Analyse en flux continu

Les orthophosphates dissous sont déterminés par spectrophotométrie.

Références : NF EN 1189

Limites de détection : 0,01 mg P/l

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,1 l (eau)
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre ou plastique
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48h
Coût	8 € (eau)

FICHE C28
Phtalates

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Détermination par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse (GC/SM).

L'échantillon d'eau est extrait avec du dichlorométhane tandis que l'échantillon de sol ou de sédiment est extrait avec un mélange acétone/dichlorométhane. Du fait de la possibilité de nombreuses interférences, l'analyse s'effectue par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse basse résolution, en méthode SIM (ou fragmentométrie) permettant une analyse spécifique des phtalates.

Références :

[1] Dérivé de la méthode EPA 606, Phtalates Ester, 1984

Limites de détection :

Composés	Eau µg/l	Sol, sédiment mg/kg Ms
Diméthylphtalate	2	0,1
Diéthylphtalate	2	0,1
Di-isopropylphtalate	2	0,1
Di-propylphtalate	2	0,1
Di-isobutylphtalate	2	0,1
Dibutylphtalate	2	0,1
Dipentylphtalate	2	0,1
Dihexylphtalate	2	0,1
Diheptylphtalate	2	0,1
Dioctylphtalate	2	0,1
Dinonylphtalate	2	0,1
Bis(2-éthylhexyl)phtalate (DOP, DEHP)	10	0,5
Benzylbutylphtalate	2	0,1

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 l (eau) / 50 g (sol, sédiment)
Mode de conservation	garder au frais
Temps de conservation	48 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	48h
Coût	156 € (sol, sédiment)
	156 € (eau)

FICHE C29
Solvants aromatiques et chlorés

DA

Matrice : eau, sédiment, sol

Principe : Détermination par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse basse résolution (SM)

Pour les eaux, l'analyse s'effectue selon la technique «purge and trap» : par barbotage d'un flux d'hélium, les composés volatils sont entraînés sur une résine Tenax ou sur un autre agent adsorbant. Les composés adsorbés sont désorbés thermiquement et analysés directement par chromatographie en phase gazeuse.
Les sols et sédiments sont extraits au méthanol. Une partie de l'extrait de méthanol est dissout dans de l'eau pure. Cette solution est analysée par « purge and trap ».

Références :

[1] Méthode EPA 542.2 (3ème version); Measurement of purgeable organic compounds in water by capillary column gas chromatography-mass spectrometry; 1989.
[2] Méthodes EPA 624 et 1624; Eau et solides - Measurement of volatile organic compounds by isotope dilution GC-MS; 1989.

Limites de détection :

Composés	Eaux µg/l	Sols / sédiment mg/kg Ms
Solvants aromatiques		
Benzène	0,1	0,01
Toluène	0,1	0,05
Ethyl-benzène	0,1	0,05
m,p-Xylène	0,1	0,05
o-Xylène	0,1	0,05
Naphtalène	0,1	0,1
Isopropyl benzène (Cumène)	0,1	0,05
Propyl benzène	0,1	0,05
Styrène	0,1	0,05
Mésitylène	0,1	0,05
Solvants chlorés		
Dichlorométhane (chlorure de méthylène)	1	0,1
Chloroforme (trichlorométhane)	0,1	0,1
Tétrachlorure de carbone (tétra)	0,1	0,1

Composés	Eaux µg/l	Sols / sédiment mg/kg Ms
Trichloroéthène (tri)	0,1	0,1
Tétrachloroéthène (per)	0,1	0,1
1,1-Dichloroéthane	0,1	0,1
1,2-Dichloroéthane	0,1	0,1
1,1,1-Trichloroéthane	0,1	0,1
1,1,2-Trichloroéthane	0,1	0,1
cis-1,2-Dichloroéthène	0,1	0,1
trans-1,2-Dichloroéthène	0,1	2
Solvants non standards		
1,2-Dichloropropane	0,5	0,1
1,3-Dichloropropane	0,5	0,1
1,2,3-Trichloropropane	0,5	0,1
2,3-Dichloropropylène	0,5	0,1
cis-1,3-dichloropropylène	0,5	0,1
Trans-1,3-dichloropropylène	0,5	0,1
Heptane	0,5	0,1
Héxane	0,5	0,1
Hexachloroéthane (HCE)	0,5	0,1
? -Méthyl-styrène	0,5	0,1
Octane	0,5	0,1
Tétrahydrothiofène	0,5	0,1
Décane	0,5	2
Dodécane	0,5	2
Iso-octane	0,5	2
1,1,1,2-tétrachloroéthane	0,5	2
1,1,2,2-tétrachloroéthane	0,5	2
1,1-dichloroéthylène	0,5	2

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	0,25 l
Mode de conservation	acidifier avec HNO_3 à pH 1 et garder au frais
Temps de conservation	24 h
Type de flaconnage	Verre brun avec bouchon téflonné
Délai minimum de réalisation de l'analyse	8 h
Coût	78 € (sol, sédiment)
	78 € (eau)

SDS
DI
DA

FICHE C30
Mesures in-situ

Certains paramètres sont préférentiellement mesurés sur site sur le compartiment sédiment ou le compartiment eau afin de rendre compte des conditions de prélèvement :

- pH ;
- Température ;
- Conductivité ;
- Potentiel d'oxydo-réduction ;
- Turbidité.

A défaut, ces mesures peuvent être différées au laboratoire d'analyses.

Les mesures in-situ (sédiments en place) sont le plus couramment effectuées au moyen d'analyseurs portatifs. Ces appareils légers mesurent :

- soit un paramètre spécifique et porte alors le nom du paramètre qu'il mesure : pH-mètre, thermomètre, conductimètre, turbidimètre… ;
- soit plusieurs paramètres simultanément dans le cas des multiparamètres.

En règle générale, les analyseurs portatifs sont spécifiques des matrices qu'ils mesurent. Il est préférable de se renseigner auprès du fournisseur pour connaître les limites d'applicabilité selon le compartiment (sédiment ou eau) à mesurer.

Ce type d'analyseur donne une réponse électronique quasi instantanée après stabilisation de l'affichage.

- ***pH (unité de pH)***

  La mesure du pH sur le compartiment eau est facilement réalisable sur site tandis que celle du pH sur le compartiment sédiment est préférablement différée au laboratoire d'analyses (Cf. Fiche C22).

  La mesure de pH sur site est préférentiellement réalisée au moyen d'un analyseur, utilisant la méthode potentiométrique (mesure plus précise).

- ***Température (°C)***

La mesure de la température est préférentiellement réalisée sur site par immersion de la sonde dans le compartiment d'eau ou de sédiment ou dans l'échantillon de chaque compartiment, rapidement après le prélèvement.

- ***Conductivité électrique (µS/cm ou mS/cm)***

La mesure de la conductivité est l'inverse de la résistivité électrique. La mesure de terrain s'effectue de la même manière que précédemment. Cette mesure est étroitement liée à la température et ne donne pas une idée immédiate de la charge du milieu. A ce titre, il est recommandé de différer la mesure de la conductivité électrique au laboratoire d'analyses (Cf. Fiche C7).

- ***Potentiel d'oxydo-réduction (nombre sans dimension)***

La mesure du pouvoir oxydo-réducteur est préférentiellement réalisée sur place, au moyen d'une sonde immergée dans le compartiment d'eau ou de sédiment ou dans l'échantillon constitué de chaque compartiment, rapidement après le prélèvement.

Le résultat est idéalement corrélé à une mesure de pH et de la température.

- ***Turbidité***

La turbidité est la mesure de la clarté optique de l'eau pouvant se trouver au-dessus de la colonne de sédiments. La technique consiste à mesurer la profondeur à laquelle un repère cesse d'être visible.

FICHE D
Caractérisation des matériaux de curage

DA

Dès la planification d'une opération de curage, la caractérisation des matériaux de curage, l'évaluation de leur qualité physico-chimique, et l'analyse de l'impact environnemental du projet sont à prendre en compte.

Les résultats de ces investigations permettent :

- D'orienter le choix des options de réalisation (équipement et méthodes),
- et de concevoir le projet tout en prenant en compte les exigences techniques ainsi que des aspects économiques et environnementaux.

Les fiches suivantes décrivent les tests, relatifs à la caractérisation physico-chimique, qui peuvent être pratiqués en laboratoire, lors de la conception d'un projet de curage.

FICHE D1 PROCESSUS DE MATURATION DES MATERIAUX DE CURAGE 283

FICHE D2 TEST DE SPECIATION : PROTOCOLE DE TESSIER *ET AL*. 285

FICHE D3 TEST DE LIXIVIATION 287

FICHE D4 TEST DE PERCOLATION 288

FICHE D1
Processus de maturation des matériaux de curage

DA

Principe

La maturation consiste en une série de processus de transformation des produits de curage, peu cohésifs et à forte teneur en eau en un sol bien structuré, aéré et résistant. Elle comporte une phase physique, chimique, et micro-biologique.

Le processus débute par la **maturation physique** caractérisée par un assèchement irréversible, accompagné d'une réduction en volume, d'un phénomène de fissuration, couplé à une aération de l'ensemble de la matrice.

Le processus de **maturation chimique** qui suit, comprend la lixiviation de composés solubles et l'apparition de réactions chimiques induites notamment par l'aération. En effet, les matériaux de curage sont sous forme chimique réduite, après la mise en dépôt. L'assèchement et la fissuration, entraînant l'aération de la matrice, celle-ci devient le siège de réaction d'oxydo-réduction.

Le processus de **maturation micro-biologique** intervient par l'apparition d'une croissance de l'activité biologique des micro-organismes biologiques (animaux et végétaux), présents dans la matrice.

L'ensemble du processus de maturation est d'autant plus rapide que la phase de maturation physique, induisant les phases de maturation chimique et micro-biologique, est courte. En conséquence, l'optimisation de la phase d'assèchement passe par la qualité de la conception du drainage.

Par ailleurs, la maturation chimique (induite par la maturation physique) entraîne un changement de la composition chimique de la matrice, notamment au niveau de :

- la concentration en sels dissous dans l'eau interstitielle,
- l'équilibre entre les différents cations absorbés,
- les teneurs et la natures des composés soufrés,
- la concentration en carbonates,
- la concentration en potassium,
- la concentration en phosphates.

La maturation chimique implique des modifications des comportements des substances indésirables dans la matrice.

Les substances les plus fréquemment rencontrées dans les sédiments sont :

- les métaux lourds,
- les micro-polluants organiques,
- les nutriments.

Les métaux lourds

Les métaux lourds, notamment le cuivre, le cadmium, le zinc et le nickel, sont présents :

- dans l'eau interstitielle sous forme de cations libres et/ou d'ions métalliques et/ou de complexes métalliques, liés à des composés organiques
- et dans la matrice solide sous forme adsorbée ou précipitée.

La spéciation des métaux lourds, autrement dit, l'occurrence de présence des différentes formes métalliques dans la matrice, est influencée par :

- pH,
- potentiel d'oxydo-réduction,
- salinité,
- présence d'ions complexants (carbonates, chlorures, sulfures…).

En milieu anaérobie, la concentration en métaux lourds dans l'eau interstitielle est fortement influencée par la concentration en sulfures : plus la concentration en sulfures est élevée, moins les métaux sont solubles.

Lors du processus de maturation, la fixation des métaux lourds par les sulfures est moins prédominante que la fixation des métaux lourds par la matière organique (acide humique), rendant les métaux d'autant plus mobiles. En conséquence, les résultats de tests de lixiviation pratiqués avant et après le processus de maturation donnent des résultats différents, nécessitant l'évaluation de l'impact de la mise en dépôt.

Les micro-polluants organiques (chlorobenzènes, HAP, PCB)

Ces produits sont très hydrophobes et peu biodégradables.

La spéciation de ces produits est surtout caractérisée par la présence de formes moléculaires libres dans l'eau interstitielle et des molécules liés à la matière organique.

La spéciation est conditionnée par les conditions d'oxydo-réduction, la salinité et la température. Los du processus de maturation, les variation des facteurs abiotiques peut influencer l'activité des micro-organismes, présents dans la matrice, et acteurs de la biodégradation des micro-polluants. En conséquence, la biodégradation peut être activée ou inhibée en fonction des conditions abiotiques.

Une alternative à la mise en dépôt directe des matériaux de curage, consiste à séparer les fractions granulométriques afin :

- de valoriser le volume de fraction grossière,
- de réduire le volume de fraction fine à traiter et/ou à mette en dépôt.

Les techniques de tri granulométrique (dont la description n'entre pas dans le cadre de cette étude), les plus fréquemment utilisées par le secteur minier sont :

- l'hydro-cyclonage,
- et la séparation avec mise en dépôt.

Le comportement des matières minérales est relativement bien connu tandis que celui des substances indésirables est mal connu et non maîtrisé. Toutefois, les substances indésirables sont majoritairement concentrées dans les fractions fines et la matière organique.

Le tri-granulométrique, complété par une caractérisation physico-chimique des différentes fractions granulométriques peut permettre de séparer la fraction grossière de la fraction fine non seulement sur des critères de taille de grains, mais également sur des critères quantitatifs et qualitatifs des teneurs en différentes substances indésirables.

De plus, le tri-granulométrique combiné à la caractérisation physico-chimique permet la sélection et l'optimisation des différentes options disponibles au devenir des matériaux de curage. Ainsi, la caractérisation physico-chimique faite sur la fraction fine permet d'obtenir un résultat plus affiné de celui obtenu sur l'ensemble du produit brut.

Les tests de caractérisation physico-chimique, pratiqués dans la cadre du devenir des matériaux de curage, peuvent concerner :

- la détermination de paramètres analytiques, décrits précédemment, sur différentes fractions granulométriques,
- et la mise en œuvre d'essais (tests de spéciation, tests de lixiviation, tests de percolation…), écrits au fil des paragraphes suivants.

FICHE D2
Test de spéciation :
Protocole de Tessier *et al.*

DA

Matrice : sol et sédiment

Définition :

Le terme de spéciation fait référence aux formes spécifiques dans lesquelles un élément chimique se trouve dans une matrice (niveau d'oxydation, formes organo-métalliques…). L'importance de la spéciation repose sur le fait que l'évaluation de la concentration totale n'est pas suffisante pour déterminer l'impact environnemental d'un métal. En effet, l'utilisation de la concentration totale comme critère d'évaluation des effet potentiels des sédiments contaminés sous-entend que toutes les formes d'un élément ont un même impact sur l'environnement, ce qui n'est pas réellement le cas (Tessier et al.), 1979).

Principe :

La spéciation des métaux peut être étudiée par l'application :

- de méthodes physiques (diffraction aux rayons X, RMN, spectrométrie infra-rouge…), nécessitant des équipements analytiques lourds, et peu sensibles,

- et des méthodes chimiques.

La spéciation chimique reste la méthode la plus commune. Cette méthode, dite d'extraction séquentielle, permet d'extraire les métaux des sédiments par lavages successifs de force croissante. De nombreux schémas d'extraction sont disponibles : ils diffèrent par la nature des réactifs et les durées d'extraction.

Toutefois, les principales fractions chimiques déterminées par l'application de ces nombreux schémas d'extraction, ont pour base commune les fractions définies par le protocole de Tessier *et al.* (1979). Ce dernier est très fréquemment utilisé dans les études de spéciation. Il définit cinq fractions chimiques auxquelles les métaux peuvent être associés dans les sédiments :

- la **fraction échangeable** : elle correspond aux métaux lourds absorbés sur les argiles, les matières organiques, les oxydes de fer et de manganèse

- la **fraction acido-soluble** : elle correspond aux métaux liés aux carbonates. Selon la nature des sédiments, des quantités importantes de métaux peuvent être associés à cette fraction. A ce niveau de caractérisation, il est souvent difficile de différencier les métaux liés aux carbonates de ceux liés à la matière organique (acide humique et fulviques).

- la **fraction réductible** : elle est liée aux oxydes de fer et de manganèse. Ces derniers sont à l'état de nodules ou de ciment entre les particules et sont thermodynamiquement instables dans des conditions anoxiques.

- la **fraction oxydable** : elle correspond aux métaux liés à la matière organique et aux sulfures. ce niveau de caractérisation, il est souvent difficile de différencier les sulfures de la matière organique. Par ailleurs, cette dernière peut ne pas être entièrement détruite.

- la **fraction résiduelle** : elle correspond à la matière piégée dans la matrice cristalline alluminosilicatée des minéraux primaires et secondaires.

L'extraction séquentielle des métaux est très dépendante des conditions opératoires. Les principaux paramètres définissant l'efficacité et la reproductivité de l'extraction séquentielle des métaux sont les suivants (Morabito, 1995) :

- les propriétés chimiques
- la sélectivité et l'efficacité des réactifs d'extraction
- les séquences des étapes d'extraction
- les conditions opératoires
- les effets spécifiques de la matrice, tels que la ré-adsorption et la contamination croisée.

Références : Protocole de Tessier et al. (1979)

Limites de détection : non renseignée

Informations complémentaires :

Coût ≈ 150 €

FICHE D3
Test de lixiviation

DA

Matrice : sol et sédiment

Principe :

Une quantité de 250 grammes d'échantillon est mis en contact sous agitation pendant une durée variable, de quelques heures à plusieurs jours, avec 2 500 ml d'eau déminéralisée à pH 4.

Les éluats sont ensuite analysés selon les méthodes analytiques spécifiques aux polluants recherchés, décrites précédemment.

Références : NFX31-210 matrice solide

Limites de détection : non renseignée

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	100 g
Mode de conservation	réserver au frais
Temps de conservation	1 mois
Type de flaconnage	verre ou polyéthylène
Délai minimum de réalisation de l'analyse	5 jours
Coût	≈ 25 € (1*16 h)
	≈ 60 € (3*16h)

FICHE D4
Test de percolation

DA

Matrice : sol et sédiment

Principe :

Les essais de percolation tendent à simuler les processus auxquels un sédiment est susceptible d'être exposé (précipitation, remontée de la nappe).

Le principe réside dans l'établissement d'une circulation par flux ascendant ou descendant d'eau au travers d'une colonne verticale de solide, qui a pour conséquence de conduire à l'extraction de composés organiques et minéraux.

L'analyse des percolats se limite à une caractérisation chimique, telle que celle précédemment exposée.

Références :	NEN 7343	matrice solide
	CEN/TC292/WG6/N103 CEN/TC292/WG6/N113	

Limite de détection : non renseigné

Informations complémentaires :

Quantité minimale d'échantillon	1 000 g
Mode de conservation	réserver au frais
Temps de conservation	1 mois (composés minéraux) 1 semaine (composés organiques)
Type de flaconnage	verre ou polyéthylène
Délai minimum de réalisation de l'analyse	5 à 6 semaines pour un test sur colonne complète
Coût	≈ 300 €

AT5

Annexes Techniques 5

Caractérisation biologique

SOMMAIRE

PARTIE 1 - GENERALITES RELATIVES A LA CARACTERISATION BIOLOGIQUE

1 INTRODUCTION 296

1.1 APPROCHE SOUTENUE PAR LA REGLEMENTATION 296
1.2 L'APPLICATION DE LA RECHERCHE BIOLOGIQUE 296
1.3 APPROCHE SPECIFIQUE AU SITE ETUDIE 297
1.4 EFFICACITE DES MOYENS EMPLOYES 297

2 PROPOSITION D'UN SYSTEME DE CARACTERISATION BIOLOGIQUE 297

3 MODALITES D'APPLICATION DU SYSTEME 299

3.1 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°1 299
3.2 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°2 300

4 SELECTION DES TECHNIQUES DE CARACTERISATION 300

4.1 CRITERES DE SELECTION 300
4.2 TECHNIQUES SELECTIONNEES 301
4.3 JUSTIFICATION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES 302
4.3.1 BIO-ESSAIS 302
4.3.2 ESSAIS DE BIO-ACCUMULATION 303
4.3.3 INVENTAIRE SUR SITE 303
4.4 DESCRIPTION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES 305

5 SYNTHESE DE LA DEMARCHE PROPOSEE 306

5.1 ÉTAPE 0 : PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES 309
5.2 ÉTAPE 1 : UTILISATION DES ESSAIS DE BALAYAGE "SCREENING TESTS" (BIO-ESSAIS « AIGUS ») 309
5.3 ÉTAPE 2 : REALISATION DES ESSAIS « CHRONIQUES » EN LABORATOIRE 310
5.4 ÉTAPE 3 : REALISATION DES ESSAIS DE BIO-ACCUMULATION AVEC *OLIGOCHETES* 310
5.5 ÉTAPES 4 ET 5 : DENSITE ET NOMBRE DES ESPECES *CHIRONOMIDAE* ET *OLIGOCHETES* 311

6 CARACTERISATION DES EFFETS TOXIQUES 312

6.1 EVALUATION DE LA PROBABILITE DE L'OBSERVATION DES EFFETS 312
6.1.1 CALCUL DES CONCENTRATIONS DANS L'EAU INTERSTITIELLE (THEORIE DE PARTITION EQUILIBREE) 312
6.1.2 METAUX LOURDS 313
6.1.3 POLLUANTS MICRO-ORGANIQUES 313
6.1.4 CALCUL DE LA PROBABILITE D'OBSERVATION DES EFFETS 314

7 CARACTERISATION DES RISQUES DE BIO ACCUMULATION 315

7.1 BIOACCUMILATION 315
7.2 ESSAI DE BIOACCUMULATION (OLIGOCHETES) 315

8 CARACTERISATION DES EFFETS OBSERVES SUR SITE 316

8.1 CARACTERISATION DE LA QUALITE ECOLOGIQUE 316
8.2 CARACTERISATION DES EFFETS PATHOGENES 316

9 SELECTION DE BIO-ESSAIS 316

10 INTERPRETATION DES EFFETS OBSERVES 317

10.1 BIO-ESSAIS 317
10.2 SITES DE REFERENCE LOCAL 317
10.3 INVENTAIRE IN SITU 318

11 RECOMANDATIONS 319

11.1 PRELEVEMENT 319
11.1.1 RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES AUX BIO-ESSAIS 319
11.1.2 RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES AUX INVENTAIRES SUR SITE 320
11.2 LE PRE-TRAITEMENT DES ECHANTILLONS 321
11.2.1 PREPARATION DU MELANGE SEDIMENT-EAU 321
11.2.2 PREPARATION DE L'ELUTRIAT 322
11.2.3 PREPARATION DE L'EAU INTERSTITIELLE 322
11.3 CONSERVATION DES ECHANTILLONS TRAITES 322

12 CARACTERISATION DES CONDITIONS LIMITES DES SYSTEMES BIOLOGIQUES TESTES 323

PARTIE 2 - FICHES TECHNIQUES

1 CODIFICATION DES FICHES TECHNIQUES 324

1.1 DISPONIBILITE 324
1.2 COUT 324
1.3 DUREE 325
1.4 PERIODE 325
1.5 COMPOSITION DES FICHES 325

GROUPE A EVALUATIONS BIOLOGIQUES AIGUËS 326

Fiche A1 TEST AIGU SUR ALGUES 327
Fiche A2 TEST AIGU BACTERIOLOGIQUE 331
Fiche A3 TEST AIGU THAMNOTOXKIT F 335
Fiche A4 TEST AIGU SUR DAPHNIES 339
Fiche A5 TEST AIGU ROTOXKIT F 342

GROUPE B EVALUATIONS BIOLOGIQUES CHRONIQUES 345

Fiche B1 TEST CHRONIQUE SUR DAPHNIES 346
Fiche B2 TEST CHRONIQUE SUR LARVES DE MOUSTIQUES 350
Fiche B3 TEST SUR *HYDRA ATTENUATA* – 96 HEURES 354
Fiche B4 ESSAI DE REPRODUCTION DE *CERIODAPHNIA DUBIA* – 7 JOURS 355
Fiche B5 TEST SUR *BRACHIONUS CALICYFLORUS* – 48 HEURES 356
Fiche B6 TEST SUR *HYALELLA AZTECA* – 14 JOURS 357
Fiche B7 TEST D'INHIBITION DE CROISSANCE D'ALGUES D'EAU DOUCE 358
Fiche B8 TEST BACTERIEN MetPLATE™ 359
Fiche B9 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE GERMINATION 361
Fiche B10 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE LA CROISSANCE 362
Fiche B11 ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DU DEVELOPPEMENT 364

GROUPE C TESTS DE GENOTOXICITE 365

Fiche C1 TEST DE GENOTOXICITE : TEST MICRONOYAU XENOPE 366
Fiche C2 TEST DE GENOTOXICITE : TEST DES COMETES EN CONDITIONS ALCALINES 369

FICHE D TEST D'ACCUMULATION BIOLOGIQUE D'OLIGOCHETES 371

GROUPE E INVENTAIRE SUR LE TERRAIN 375

Fiche E1 INDICE OLIGOCHETES DE BIOINDICATION DES SEDIMENTS (IOBS) 376
Fiche E2 DENSITE TOTALE ET NOMBRE D'ESPECES DE CHIRONOMIDAE ET D'OLIGOCHETES 379
Fiche E3 MALFORMATIONS DE LA MACHOIRE CHEZ LES LARVES DE CHIRONOMUS 383

FICHE F SENSIBILITE DES BIO-ESSAIS POUR DES POLLUANTS SPECIFIQUES 386

FICHE G VALEURS K_P POUR UN SEDIMENT STANDARD 387

FICHE H PROBABILITE D'OBSERVATION DES EFFETS POUR 0% DE DEPASSEMENT DES CONCENTRATIONS DE BASE (UPA) 388

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Représentation schématique de la caractérisation des effets liés à la présence de sédiments pollués selon l'approche TRIADE 298

Figure 2: Exemple de zone à étudier. 319

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Sélection des techniques d'évaluation écotoxicologiques 301
Tableau 2 : Avantages et inconvénients d'utilisation des paramètres de « densité totale »304
Tableau 3 : Thèmes standards des fiches descriptives des techniques et méthodes (AT5 – groupe A à E) 305
Tableau 4 : interprétation des tests dits "aigus" 310
Tableau 5 : Probabilité de détecter des effets de toxicité sur la base de somme de valeurs PA 314
Tableau 6 : Critères limites pour les média de test 323

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1 : 313
Équation 2 : 313
Équation 3 : 314
Équation 4 : 314

- PARTIE 1 - GENERALITES RELATIVES A LA CARACTERISATION BIOLOGIQUE

1 INTRODUCTION

La définition d'une méthodologie de caractérisation des effets biologiques des substances indésirables présentes dans les sédiments sur les écosystèmes (aquatique et terrestre) peut être envisagée dans les cas suivants :

- Approche soutenue par la réglementation ;
- Application de la recherche biologique ;
- Approche spécifique au site étudié ;
- Efficacité des moyens employés.

Chaque critère est brièvement commenté ci-après.

1.1 APPROCHE SOUTENUE PAR LA REGLEMENTATION

Idéalement, une méthode de caractérisation (physico-chimique ou biologique) des sédiments devrait être soutenue par une réglementation nationale spécifique à la problématique des sédiments pollués.

La réglementation semble le seul moyen efficace d'uniformiser, à la fois :

- la démarche de caractérisation de la qualité des sédiments ;
- l'interprétation des données obtenues lors et suite à la phase de caractérisation ;
- les actions à entreprendre.

Toutefois, aucune réglementation en la matière n'existe en France.

A défaut, les critères utilisés pour le développement de la proposition méthodologique de caractérisation biologique envisagée dans le cadre de cette étude s'intéresse au aspects purement techniques.

1.2 L'APPLICATION DE LA RECHERCHE BIOLOGIQUE

La littérature internationale témoigne de la nécessité d'intégrer la recherche biologique sur site dans la démarche de la caractérisation des effets biologiques afin de valider les différentes normes et seuils de définition des risques.

A noter que la définition et l'emploi de ces seuils ainsi que l'intégration de la notion de temps semble indispensables à la démarche de caractérisation biologique (mais également physico-chimique).

1.3 APPROCHE SPECIFIQUE AU SITE ETUDIE

En relation avec le critère précédent, la méthodologie à définir devra être suffisamment flexible et adaptée afin de permettre la caractérisation d'une situation individuelle à un site spécifique (type de sédiment, type de contamination, écosystème, utilisation , …), d'une part et afin de mettre en évidence les relations de cause à effet et des risques associés avec la présence des polluants sur un site spécifique, d'autre part.

1.4 EFFICACITE DES MOYENS EMPLOYES

Pour obtenir la rentabilité des moyens financiers mobilisés dans le cadre de la gestion des sédiments, il est nécessaire de choisir des techniques de caractérisation spécifiques aux situation du site à étudier.

2 PROPOSITION D'UN SYSTEME DE CARACTERISATION BIOLOGIQUE

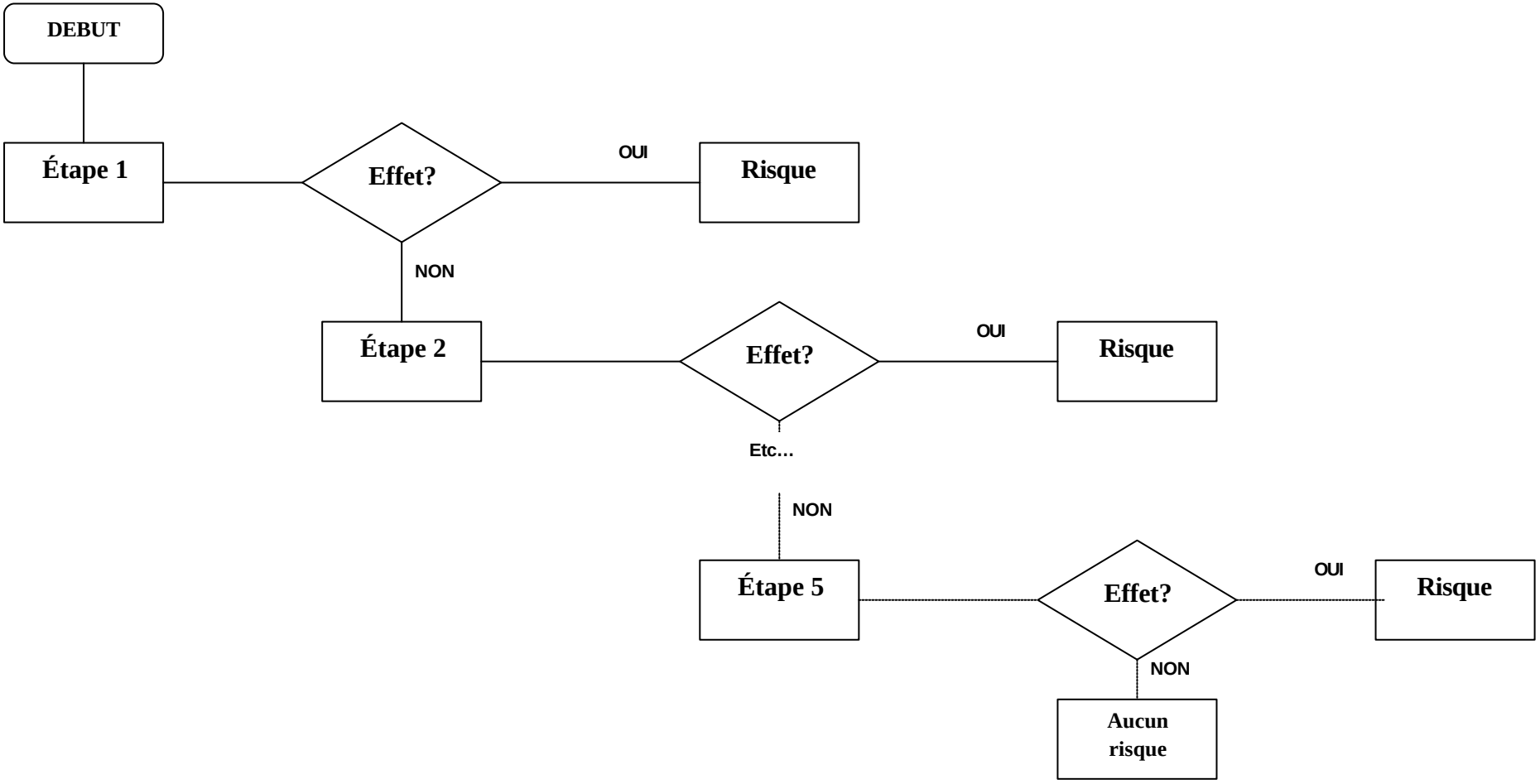
Les critères définis précédemment seront au mieux intégrés dans un système type « d'aide à la décision » indiquant la technique qui devra être utilisée en fonction de chaque situation. Cette logique permet d'utiliser les résultats obtenus lors d'une étape pour orienter la démarche de la prochaine étape de caractérisation.

L'approche par étape est le fondement de la méthodologie proposée par sélection des techniques les mieux appropriées à observer/quantifier les effets négatifs dus à la présence de polluants spécifiques pour un type de sédiment donné du site étudié.

La sélection des techniques à employer est basée sur la rentabilité : la technique la plus rentable est celle qui permet dans une situation et un instant donnés de mettre en évidence un effet négatif dans une optique d'économie de moyens et de temps.

Dès lors qu'un effet négatif, lié à la présence d'une substance toxique dans le sédiment est mis en évidence par l'une ou plusieurs de ces techniques, la présence d'un risque écotoxicologique actuel est démontré.

Figure 1: Représentation schématique de la caractérisation des effets liés à la présence de sédiments pollués selon l'approche TRIADE



Lorsqu'il n'y pas d'effet mis en évidence lors de l'étape 1, cela signifie que la disponibilité biologique des polluants n'est pas détectée par les techniques mises en œuvre, qui sont en l'occurrence soit inadaptées soit trop peu sensibles. La deuxième étape de l'évaluation utilise en conséquence des techniques mieux adaptées.

A chaque étape, le choix des méthodes à utiliser est basé sur une estimation de la probabilité à observer des effets négatifs avec les techniques disponibles. Si cette démarche conclut au fait qu'il n'existe plus de techniques suffisamment sensibles pour démontrer les effets négatifs éventuellement associés à la présence de polluants dans le sédiment étudié, la procédure d'évaluation est terminée. Cette situation conclut au fait qu'il n'existe pas de risques écotoxicologiques actuels.

Par contre, dans le cas où un effet négatif est déclaré à une étape de la démarche, la présence d'un risque actuel est mise en évidence et nécessite (éventuellement) une action corrective.

3 MODALITES D'APPLICATION DU SYSTEME

L'application de la démarche d'évaluation par étapes précédemment décrite permet de distinguer deux types de situation :

1. **Situation type N°1 : Cas où uniquement un produit (ou groupe de produits) est problématique**

   Seule une substance isolée ou un groupe de produits ayant la même action de toxicité est identifié(e) pour caractériser (en termes de concentration) le degré de pollution du sédiment. Les concentrations des autres substances chimiques (éventuellement) présentes n'étant pas supérieures aux seuils de quantification ou aux PNEC.

2. **Situation type N°2 : Cas où plusieurs produits (ou groupes des produits) sont problématiques (mélange complexe)**

   Plusieurs produits chimiques individuels ou plusieurs groupes de produits avec le même mécanisme de toxicité sont identifiés pour caractériser (en termes de concentration) le degré de pollution du sédiment. Les concentrations des autres substances chimiques (éventuellement) présentes n'étant pas supérieures aux seuils de quantification ou aux PNEC.

3.1 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°1

Dans cette situation, la sélection de la technique d'évaluation devra uniquement prendre en compte le produit ou groupe de produits présentant le même effet toxicologique, autrement dit les différents produits dont l'action est similaire (et additionnelle), par exemple en ce qui concerne son effet de malformation spécifique sur une espèce donnée.

Cette action similaire est souvent observée dans le cas des produits «narcotiques », tels que les HAP, PCB, produits organo-halogénés volatils, produits aromatiques mono- et bi-cycliques, benzènes chlorés, phénols chlorés, anilines chlorés…Ces produits n'ont pas d'effets toxicologiques spécifiques sur des organismes mais plutôt une action non-spécifique, telle que l'accumulation dans les tissus hydrophobes (type membranes) par modification et perturbation de la structure et du fonctionnement de ces tissus induisant des effets toxiques.

Dans cette situation, il ne sera donc pas toujours nécessaire d'utiliser toutes les techniques sélectionnées afin de mettre en évidence des effets négatifs.

3.2 APPLICATION DU SYSTEME PROPOSE A LA SITUATION N°2

Dans cette situation, une approche d'évaluation spécifique aux produits chimiques présents est inadaptée du fait que les divers organismes d'essais présentent d'importantes différences de sensibilité aux regard des produits toxiques. Autrement dit, un organisme peut être extrêmement sensible à la présence d'un produit et indifférent à la présence d'un autre.

En conséquence, il n'existe pas un organisme d'essais "idéal" pour caractériser un mélange de produits, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser une série de différents essais en parallèle afin d'obtenir la plus grande chance de détecter un effet toxique. Toutefois, compte tenu de la difficulté de prédire quelle technique aura la plus grande probabilité à démontrer des effets négatifs, la caractérisation débutera par les essais les plus simples et les moins onéreux.

Dans le cas où un effet toxique est mis en évidence, il sera nécessaire de prouver que cet effet est causé par la présence d'un produit ou de la combinaison de produits afin de démontrer qu'un risque écotoxicologique actuel existe.

Dans le cadre où toutes les étapes de caractérisation ont été réalisées sans qu'aucun effet négatif n'ait été mis en évidence, les polluants présents dans les sédiments ne présentent à priori aucun risque écotoxicologique actuel.

4 SELECTION DES TECHNIQUES DE CARACTERISATION

4.1 CRITERES DE SELECTION

L'objectif principal est d'obtenir une série limitée mais néanmoins équilibrée de techniques de caractérisation biologique (essais écotoxicologiques) permettant la mise en évidence ou non d'effets biologiques, liés à la présence de polluants dans un sédiment.

Il s'agit notamment de démontrer la présence ou l'absence :

- d'effets toxiques aigus (immédiate) ou chroniques (retardée),
- et, de risques de bioaccumulation active ou passive des produits toxiques,
- et d'effets négatifs *in-situ.*

Il est important de noter que la sélection de techniques répond au mieux aux critères précédemment cités.

Toutefois, cette sélection ne couvre pas tous les risques écotoxicologiques. En effet, la sélection exclue certaines techniques, parfois plus sensibles et adaptées à la mise en évidence de risques écotoxicologiques liés à certains produits toxiques spécifiques.

En conséquence, certaines situations mériteraient une réflexion complémentaire quant au choix de techniques de caractérisation différentes ou bien la prise en compte ultérieure de nouvelles techniques, complémentaires et/ou améliorées par rapport à celles proposées.

4.2 TECHNIQUES SELECTIONNEES

Tableau 1: Sélection des techniques d'évaluation écotoxicologiques

SUJET	VOLET	TECHNIQUE	STATUT	TYPES DE CARACTERISATION
Toxicité	***B***	***Bio-essais (toxicité aiguë)***		
		1.Essai avec des algues	A	Croissance de population
		2. Essai avec des bactéries	T	Bioluminescence
		3. Thamnotox-F kit et/ou « *Daphnia magna* test »	A	Survie et/ou mobilité
		4. Rotoxkit F-test	A	Survie
	B	***Bio-essais (toxicité chronique)***		
		5. « *Daphnia magna* » test	T	Reproduction et survie
		6. « *Chironomus riparius* » test	T	Survie, développement, croissance
Risque d'accumulation des produits toxiques	**B**	7. Essai d'accumulation bio-logique avec les oligochètes	T	Concentration interne
Effets négatifs *in-situ*	**I**	8. Collecte *in-situ* et détermination de la macro- faune	T	Densité de population, nombre des espèces
	I	9. Collecte in situ de Chironomidae	T	Malformations de la mâchoire

Légende
B : Bio-essai
I : Inventaire
T : Technique courant d'approche TRIADE
A : Technique additionnelle prometteuse

Toutes les techniques courantes d'approche TRIADE ont été sélectionnées au regard du retour d'expérience obtenu avec ces techniques (Maas et al, 1993). Cette sélection a été complétée avec quelques techniques nouvellement développées, telles que les bio-essais pour l'évaluation de la toxicité aiguë, proposées par la société AquaSense (Pays bas) à partir d'une liste de 116 essais différents.

4.3 JUSTIFICATION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES

4.3.1 Bio-essais

Approche « TRIADE »

Un bon rapport efficacité / prix est obtenu par combinaison de bio-essais caractérisant des effets «chroniques » utilisant les espèces *Chironomus riparius* et *Daphnia magna* et de bio-essais caractérisant des effets « aigus » utilisant les bactéries *Vibrio fischeri,* anciennement connues sous le nom de *Photobacterium phosphereum* (van de Guchte, 1991 et 1992, …).

La combinaison de ces trois bio-essais constituent le fondement de la caractérisation des effets biologiques selon l'approche Triade.

Les bio-essais utilisant les espèces *C. riparius* et *D. magna* sont souvent réalisés comme essais révélateurs des effets chroniques afin d'augmenter leur sensibilité au regard des faibles concentrations en polluants présents dans des sédiments. Par ailleurs, l'exposition de *C. riparius* est réalisée à partir du système «eau/sédiment » tandis que l'exposition de *D. magna* est réalisée dans l'eau interstitielle, afin d'étudier les deux principales voies d'exposition dans les sédiments.

Des sédiments fortement pollués peuvent également provoquer des effets toxiques aigus. C'est pourquoi, le bio-essai dit « aigu » utilisant *V. fischeri,* est réalisé en routine sur l'eau interstitielle. Cet organisme marin et luminescent est parfaitement adapté pour l'évaluation des sédiments continentaux et littoraux.

Bio-essais additionnels (techniques prometteuses) pour l'évaluation de la toxicité aiguë

Les essais dits « aigus » sont beaucoup moins onéreux, plus faciles et plus rapides à mettre en œuvre que les tests biologiques dits « chroniques ». En conséquence, les essais dits « aigus » sont recommandés pour augmenter la rentabilité d'une étude écotoxicologique en tant que tests de balayage ou « screening tests ».

Par ailleurs, les sédiments sont souvent pollués par un mélange de produits toxiques divers ou groupes de produits. Dans ce contexte, les essais «aigus » *classiques* ne sont pas les plus performants. Afin d'optimiser la probabilité de mettre en évidence un effet toxique aigu, il est recommandé d'utiliser une série d'essais de balayage ou « screening tests », incluant par exemple l'essai utilisant des algues, l'essai *Thamnotox-F* ou l'essai avec *Daphnia magna* et l'essai *Rotoxkit - F*.

La choix d'essai dit «aigu » utilisant des algues permet de mettre en évidence des effets toxiques, notamment dans le cas où les algues sont exposées aux eaux interstitielles d'échantillons de sédiments fortement pollués. La réalisation de ce dernier test en combinaison avec d'autres essais de balayage apporte des données complémentaires utiles concernant la toxicité des produits spécifiques qui influencent l'activité photosynthétique et donc indirectement la croissance de la population.

L'utilisation en routine de cette technique, limitée par la complexité et le coût de la technique conventionnelle, a été facilité depuis la parution du test, réalisé selon la procédure conventionnelle de l'OCDE 201, 1984.

De plus, cette technique offre une très bonne sensibilité générale aux polluants souvent présents dans les sédiments, comme en témoigne Cooman (1995) lors d'une grande étude de la qualité des sédiments en Flandre. En effet, cette étude montre que la combinaison d'essais dits « aigus » utilisant des algues, tels que les tests *Algaltoxkit-test* et *Thamnotoxkit F-test* couvre l'identification de 80 % de sédiments toxiques. Cette combinaison est autant plus intéressante que ces deux tests sont tous deux faciles à réaliser en routine et permettent d'obtenir rapidement des résultats.

Par ailleurs, *Daphnia magna* peut être substituée à *T. platyurus* (utilisée dans le Thamnotoxkit F-test) en raison de la sensibilité comparable des deux organismes. Cette substitution est d'autant plus intéressante qu'il existe davantage d'information sur les effets de la toxicité relatifs aux *Daphnia* et l'essai utilisant cet organisme peut être prolongé (sans incidence) de 24 à 48 heures afin d'augmenter la sensibilité du test. Toutefois, le test *Daphtoxkit F,* moins onéreux que l'essai *Daphnia* conventionnel, peut être utilisé comme test alternatif de ce dernier.

4.3.2 Essais de bio-accumulation

Pour évaluer la disponibilité et l'accumulation biologique des polluants, il est recommandé d'utiliser en laboratoire l'essai des *oligochètes* comme organismes d'essai. Cet essai permet également d'estimer les risques toxiques pour les êtres vivants situés à un niveau supérieur de la chaîne alimentaire.

Cet essai a l'avantage d'être moins cher et plus rapide que l'analyse chimique des concentrations en polluants dans le corps des *oligochètes* et des autres organismes benthiques collectionnés *in-situ.* Standardisé, il est plus facile à reproduire.

Notons qu'il est plus facile d'établir en laboratoire la relation entre les concentrations internes et les concentrations des polluants dans le sédiment, car *in-situ,* les organismes ont la possibilité d'éviter les zones les plus pollués. L'essai en laboratoire est par conséquent plus pénalisant.

Néanmoins, si le budget disponible le permet, la réalisation parallèle des deux approches *in-situ* et en laboratoire peut donner des résultats complémentaires, notamment si l'analyse des concentrations en polluants des corps des animaux appartenant aux milieux trophiques plus élevés est envisagée.

4.3.3 Inventaire sur site

L'évaluation des effets négatifs sur le site de l'étude peut être réalisée à partir des résultats d'un inventaire *in-situ* incluant :

- la qualité écologique (Indice Biologique Global Normalisé : NF T90-350 (1992))
- la présence d'effets pathologiques

Qualité écologique

La qualité écologique d'un sédiment peut être appréciée par des techniques passives de surveillance permettant de relever la présence et l'abondance de la flore et de la faune, corrélée à des facteurs physiques et chimiques du milieu.

Les techniques passives de surveillance incluent à la fois un inventaire biologique du site, l'analyse des données obtenues et une interprétation de ces données afin de décrire la situation actuelle existante et, si possible, de comparer cette situation avec un site de référence. En absence de site de référence, une comparaison est souvent réalisée avec un certain système de classification.

Les différences observées entre la situation sur site et la situation de référence indiquent la présence d'effets induits par des polluants dans le sédiment.

L'inconvénient de ces techniques est qu'elles ne démontrent pas (ou très peu) les relations de cause à effet liées aux polluants spécifiques, même si un lien avec le degré de contamination général du sédiment et l'abondance relative et absolue des populations (flore et faune) est parfois établi.

Les paramètres les plus fiables pour évaluer la qualité écologique d'un site sont ceux basés sur la présence et la densité des espèces de macro-faune très répandues mais peu mobiles. En raison de la richesse des données toxicologiques des populations de *Chironomidae* et *Oligochètes*, l'inventaire de ces organismes sera souvent un bon indicateur de la qualité écologique d'un site. En effet, un tel inventaire peut donner un aperçu de l'abondance de ces deux organismes et témoigner de la situation environnementale actuelle et historique du site. De plus, il existe suffisamment d'information concernant ces groupes taxonomiques pour confirmer les relations entre le niveau de stress toxique d'une part, et la densité totale des *Chironomidae* et *d'Oligochètes* et la quantité des différentes espèces, d'autre part.

Pour les paramètres mentionnés, ci-dessus, des critères d'évaluation ont été définis par certains pays (Belgique, Pays Bas, …) pour plusieurs habitats, classifiés sur la base des différentes caractéristiques (granulométrie, …) des sédiments

Les avantages et inconvénients d'utilisation des paramètres de « densité totale » sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Avantages et inconvénients d'utilisation des paramètres de « densité totale »

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- partout en France des habitats peuvent être identifiés - il existe un lien entre l'abondance et le degré de stress toxique - les paramètres sont pertinents au regard de l'écologie (présence de nourriture) - les organismes concernés sont faciles à collecter et à dénombrer	- la détermination des espèces demande une connaissance plus ou moins spécialisée - Il n'existe pas de limite précise entre le stress toxique dû à la présence de polluants et d'autres facteurs environnementaux

Effets pathologiques

Les malformations de la mâchoire des larves de *Chironomus* sont un bon indicateur pour déterminer si la présence de polluants dans un sédiment a des effets pathologiques.

Le choix de cet indicateur est justifié par la littérature scientifique qui mentionne une bonne corrélation entre le pourcentage de malformations et le degré général de la contamination d'un sédiment. De plus, les larves de *Chironomus* sont généralement abondantes et faciles à collectionner.

Ce paramètre est donc un bon indicateur pour signaler la disponibilité biologique des polluants et pour surveiller le changement de cette disponibilité dans le temps (par exemple après un curage).

En Belgique, ce paramètre a été sélectionné en raison du bon aperçu de la toxicité chronique in situ, donné par exemple par le pourcentage de malformations pour les métaux lourds (Cf. Cooman, 1995)

4.4 DESCRIPTION DES TECHNIQUES SELECTIONNEES

Chacune des techniques mentionnées ci-dessus est décrite sous forme de fiche technique à la fin de ce chapitre selon les thèmes suivants :

Tableau 3 : Thèmes standards des fiches descriptives des techniques et méthodes (AT5 – groupe A à E)

1. Description générale
Inclus la description des différentes étapes de l'application de la technique et les protocoles normalisés disponibles.
2. Consignes spécifiques à la réalisation
Inclus des consignes pratiques concernant l'application conventionnelle de la technique, et si possible la méthode la plus efficace de réalisation.
3. Conditions préalables
Inclus la description des valeurs des paramètres physico-chimiques comme le pH, le taux d'oxygène, le taux d'ion ammonium , … qui peuvent avoir un influence sur les résultats d'essai.
4. Critères de validité
Inclus les critères qui devront être respectés afin de valider les résultats.
5. Interprétation des données
Inclus la description de la méthode d'interprétation des résultats des tests obtenus.
6. Champ d'application
Contient l'information concernant le type d'échantillon à utiliser, la période d'utilisation du test….
7. Sensibilité
Inclus la description des produits ou groupes de produits pour lesquels l'essai en question est spécifiquement sensible.
8. Expérience
Inclus une brève description des retours d'expérience obtenus avec l'essai.
9. Disponibilité et coûts
Inclus la description des fournisseurs éventuels, ainsi que les coûts associés à l'essai.
10. Points d'attention
Inclus diverses remarques relatives à l'essai.

5 SYNTHESE DE LA DEMARCHE PROPOSEE

La méthode de caractérisation biologique est fondée sur la démarche TRIADE précédemment décrite . il s'agit d'un « modèle provisoire » mettant en œuvre de manière optimisée les techniques sélectionnées précédemment :

1. Bio-essais "screening" (bio-essais en laboratoire pour évaluer la toxicité "aiguë")
2. Bio-essais en laboratoire pour évaluer la toxicité chronique
3. Essais de bio-accumulation avec *oligochètes*
4. Inventaire *in-situ* de la densité et la quantité des *Chironomidae et oligochètes*
5. Inventaire *in-situ (IBGN)*
6. Inventaire des malformations des mâchoires de *Chironomus*

Il faut néanmoins garder à l'esprit que la saison d'étude influence beaucoup l'ordre des étapes.

Afin de conserver l'efficacité de l'étude, le déroulement du système s'effectue toujours dans le même ordre. Toutefois, l'ordre de déroulement des actions et le contenu du système pourront être modifiés selon l'expertise de l'opérateur.

Par ailleurs, les différentes techniques peuvent être élargies selon l'état des connaissances (retour d'expérience, savoir-faire…).

Le système est présenté sous forme de logigramme, à la page suivante.

Il propose une méthode, étape par étape, de caractérisation des effets biologiques des sédiments pollués sur les écosystèmes.

Chaque étape fait l'objet d'un commentaire dans les paragraphes suivants.

5.1 ÉTAPE 0 : PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

L'approche débute par la recherche de documents historiques et de données physico-chimiques incluant des résultats analytiques des premières couches de sédiments (comprises de préférence entre 0-15cm mais souvent entre 0-50 cm). Cette information est en général disponible suite à la réalisation du diagnostic initial.

Toutefois, le diagnostic approfondi prévoit toujours une phase de prélèvements et d'analyses en complément du diagnostic initial.

Les procédures de prélèvements et d'échantillonnage sont décrites dans les Annexes Techniques AT2 et AT3. Il est important de prélever également sur des sites de référence afin d'être en mesure d'interpréter les résultats : comparaison avec le fond géochimique naturel, par exemple.

Suite à cette phase, il faut s'interroger sur la famille d'appartenance des produits polluants : appartiennent-ils tous à la même catégorie de produits (produits ayant la même action toxicologique) ou non? Cette interrogation permet de déterminer si la pollution est complexe (présence de différents produits avec différentes actions toxicologiques) ou non. Les critères de définition "complexe" ou "simple" ont été précédemment définis au paragraphe 3 de la présente annexe.

5.2 ÉTAPE 1 : UTILISATION DES ESSAIS DE BALAYAGE "SCREENING TESTS" (BIO-ESSAIS « AIGUS »)

Ces bio-essais sont peu onéreux, rapides, fiables et faciles à mettre en œuvre à n'importe quelle saison de l'année. Il est donc intéressant de débuter la caractérisation par ce type de test.

Dans le cas de la présence d'un mélange complexe de produits, il est recommandé d'utiliser toute la palette d'essais chroniques et aigus proposés précédemment.

Dans le cas de la présence d'un mélange simple, l'utilisation d'un bio-essai spécifique à cette situation sera suffisant pour mettre en évidence les éventuels effets toxiques, sauf dans le cas ou il s'agit d'un mélange de PCB.
En effet, il faut alors s'interroger sur la présence de PCB. Si la présence de PCB est confirmée, il est inutile de procéder à une caractérisation avec les essais précédemment cités car les effets négatifs (même les effets chroniques) associés à la présence de PCB dans les sédiments ne peuvent pas être mis en évidence. En effet, l'observation des effets lors des tests n'est pas suffisamment longue pour mettre en évidence les effets longs et prolongés des PCB. Les effets à longs termes des PCB ne peuvent donc pas être mis en évidence par les essais des étapes 1 et 2 et sont déterminés à partir des essais de bio-accumulation (passage immédiat à l'étape 3).

Pour une situation quelconque, si aucun bio-essai n'est disponible, le passage à l'étape 2 est immédiat.

L'interprétation des tests est réalisée à l'aide du tableau suivant :

Tableau 4 : interprétation des tests dits "aigus"

EFFETS OBSERVES	EXPLICATION DES EFFETS POSSIBLES	AVIS	ACTIONS RECOMMANDEES
Sérieux	OUI	Risques actuels probables liés aux produits détectés	Aucune L'évaluation est terminée
Sérieux	NON	Risques actuels probables liés aux produits ou facteurs non identifiés	Continuer l'étude afin d'identifier la cause des effets
Moyen	OUI	Risques actuels éventuels liés aux produits détectés	Procéder à un moins un et supplémentaire afin de confirmer l'effet observé
Moyen	NON	Risques actuels éventuels liés aux produits ou facteurs non identifiés	Continuer l'étude afin d'identifier la cause des effets
Aucun	NC	Aucun avis possible actuellement	Procéder à une caractérisation complémentaire à l'aide des autres tests

5.3 ÉTAPE 2 : REALISATION DES ESSAIS « CHRONIQUES » EN LABORATOIRE

Suite à l'étape 1, l'utilisation d'essais chroniques en laboratoire est d'autant plus efficace que :

- Le pré-traitement des échantillons est déjà réalisé lors des étapes 0 et 1 ;
- Les bio-essais sont standardisés, faciles à réaliser et fiables ;
- Le coût de réalisation est inférieur à celui des essais de bio-accumulation.

Dans le cas d'un mélange complexe, l'utilisation d'une série de différents bio-essais chroniques est nécessaire.

Dans le cas d'un mélange simple, un seul bio-essai spécifique à l'effet induit par les produit en question sera mis en œuvre

Pour une situation quelconque, si aucun bio-essai n'est disponible, le passage à l'étape 3 est immédiat.

L'interprétation des données est réalisée comme explicité précédemment dans le tableau précédent.

5.4 ÉTAPE 3 : REALISATION DES ESSAIS DE BIO-ACCUMULATION AVEC *OLIGOCHETES*

L'utilisation de ces tests est préconisée dans les cas suivants :

- Observation d'effets non expliqués ou sans avoir établi de lien avec le ou les produits lors des étapes précédentes.

Il existe des critères "MTR"(Maximum Tolerable Risk) disponibles pour certains le produits toxiques en question : Cd, Hg, certains PCB, hexachlorobenzène, certains pesticides DDT et dérivés, lindane, …

Les coûts de réalisation de ce type de tests sont bien souvent plus élevés qu'un inventaire sur site. Toutefois, il est néanmoins intéressant de commencer par ces tests parce que :

- L'essai de bio-accumulation est plus spécifique du produit

- L'utilisation de ce type de test peut être réalisé tout au long de l'année contrairement aux techniques des étapes 4 et 5 d'inventaires sur site dont la réalisation est conditionnée selon les saisons

Si au cours de cette étape, aucun effet n'a été mis en évidence, le passage à l'étape suivante, étape 4 est immédiat.

Si au contraire pour un ou plusieurs produit, il y a un effet observé, alors on considère qu'il existe un risque toxique actuel pour des organismes appartenant aux niveaux trophiques plus élevés. Dans ce cas, la caractérisation s'arrête à ce stade.

5.5 ÉTAPES 4 ET 5 : DENSITE ET NOMBRE DES ESPECES *CHIRONOMIDAE* ET *OLIGOCHETES*

L'inventaire sur site rend compte de l'observation d'un état donné à un instant donné. Seule une relation générale peut être établie entre l'état observé et la connaissance d'une dégradation physico-chimique du milieu. Aucune information n'est disponible concernant les produits, dont l'état observé peut résulter.

L'intérêt principal de ces étapes 4 et 5 réside dans le faible coût de mise en œuvre et ce d'autant plus que les étapes précédentes n'ont permis de rien conclure.

Toujours dans un souci d'efficacité et de rentabilité des techniques mises en oeuvre, il est recommandé de déterminer dès l'étape 4, la densité et la quantité de *Chironomidae* et *Oligochètes* car les *Chironomus* sont isolés du reste des autres macro-faunes à l'étape suivante, étape 5.

Dans le cas où des effets négatifs sont observés, il est nécessaire d'établir un lien avec le degré de contamination en appliquant la méthodologie d'interprétation des résultats des tests, précédemment présenté dans le tableau 4.

L'absence de risque actuel toxicologique est constaté dans le cas où :

- La densité et la quantité de *Chironomèdes* et *Oligochètes* correspond à celles du site de référence

  et

- Le pourcentage de malformation des mâchoires *Chironomus* est comparable avec celui relevé pour le site de référence.

6 CARACTERISATION DES EFFETS TOXIQUES

L'ensemble des tests biologiques des effets aigus et chroniques sélectionnés sont respectivement présentés dans AT5 fiches techniques, groupe A et B à la fin de cette annexe.

6.1 EVALUATION DE LA PROBABILITE DE L'OBSERVATION DES EFFETS

6.1.1 Calcul des concentrations dans l'eau interstitielle (théorie de partition équilibrée)

Les effets toxiques, observés auprès des organismes vivant dans un sédiment pollué sont très probablement associés à l'exposition aux polluants présents dans les eaux interstitielles. Ce principe de transfert des polluants est souvent à la base des définitions de concentrations limites (seuils) pour des sédiments.

En conséquence, l'hypothèse de travail consiste à considérer que lorsque la concentration des polluants dans l'eau interstitielle dépasse un certain niveau toxicologique (NOEC chronique), l'organisme vivant dans le sédiment commence à présenter des signaux d'intoxication.

Par ailleurs, dans la pratique quotidienne, l'évaluation d'un niveau de concentration dans un sédiment est souvent réalisée sur la base de résultats analytiques, exprimés en mg/kg, obtenus à partir d'échantillons de sédiment et non sur la base de concentrations dans l'eau interstitielle.

Or, pour déterminer si un certain type d'essai biologique est susceptible d'être suffisamment sensible pour détecter des effets toxiques éventuellement liés à la présence des polluants dans un sédiment, une estimation des concentrations des polluants dans l'eau interstitielle doit être d'abord réalisée sur la base des résultats analytiques des échantillons de sédiment.

Pour estimer les concentrations des polluants dans l'eau interstitielle sur la base des données obtenues lors l'analyse des échantillons bruts des sédiments (mg/kg), la méthode de partition équilibrée (méthode PE) est utilisée.

Cette méthode est basée sur la théorie que dans une situation d'équilibre, il existe un rapport entre la quantité des polluants absorbés par la matrice solide du sédiment et la quantité des polluants dissous dans les eaux interstitielles de ce même sédiment.

La pertinence scientifique de cette théorie fait l'objet d'un consensus, actuellement en cours de discussion, en l'absence d'alternative satisfaisante.

Sur la base de cette théorie PE, d'une part, et de certaines généralisations (sédiment standardisé 10 % matière organique et 25% argile), a été définie la formule suivante pour les métaux lourds et les micro polluants organiques :

Équation 1 :

$$C_{sediment} = \frac{K_{p(MES)} \times C_{eau}}{r} \quad \text{ou} \quad C_{eau} = \frac{C_{sediment} \times r}{K_{p(MES)}}$$

$C_{sediment}$: concentration du polluant dans le sédiment (mg/kg)
C_{eau} : concentration du polluant dans l'eau interstitielle (mg/l)
$K_{p(MES)}$: coefficient de partition entre phase solide et eau (l/kg MES)
R : ratio empirique pour le rapport « concentration dans le MES/ concentration dans le sédiment (pour métaux lourds r = 1,5 et pour des produits organiques r = 2)

Chaque polluant présente différentes valeurs $K_{p(MES)}$. Les valeurs $K_{p(MES)}$ des métaux sont dérivées sur la base des mesures in-situ, tandis que pour les produits organiques, elles sont déduite d'une démarche théorique.

6.1.2 Métaux lourds

Les valeurs K_p pour métaux lourds dépendent fortement des conditions physico-chimiques dans l'eau, comme la salinité, le pH et le teneur en O_2.

Les variations observées variant d'un facteur 3 à 10, les valeurs médianes sont parfois utilisées, même si elles donnent des valeurs élevées pour les concentrations théoriques d'un polluant dans l'eau qui résulte en une surestimation de la toxicité théorique du sédiment.

6.1.3 Polluants micro-organiques

Il existe des tableaux avec des valeurs K_p théoriques (sédiment standard) pour les micro-polluants organiques les plus courants (cf. Fiche technique G). Toutefois, il est conseillé d'utiliser des valeurs mesurées dans le sédiment même, afin de prendre en compte la teneur en charbon organique qui joue un rôle important comme solvant lors la dissolution des polluants organiques.

La fraction de charbon organique (f_{oc}) pour un sédiment standard (10 % matière organique et 25% argile), est 0,0588 (5,88%).

La relation entre la valeur $K_{p,}$ le f_{oc} et le K_{oc} est présenté dans la formule suivante :

Équation 2 :

$$K_p = f_{oc} \text{ et le } K_{oc} \times K_{oc}$$

Où :
K_p = coefficient de partition entre phase solide et eau (l/kg MES)
f_{oc} = fraction charbon organique
K_{oc} = coefficient de partition normalisé par rapport au charbon organique (l /kg charbon organique)

Après substitution des équations 1 et 2, l'équation 3, obtenue, peut être utilisée par la calcul de la concentration d'un micro polluant organique dans l'eau interstitielle, prenant la fraction de charbon organique en compte.

Équation 3 :

$$C_{eau} = \frac{C_{sediment} \times 2}{f_{oc} \times K_{oc}}$$

$C_{sediment}$: concentration du polluant dans le sédiment (mg/kg)
C_{eau} : concentration du polluant dans l'eau interstitielle (mg/l)
f_{oc} : fraction charbon organique
K_{oc} : coefficient de partition normalisé par rapport au charbon organique (l/kg charbon organique)

NB : La théorie PE est applicable à la plupart des micro polluants organiques, mais elle n'est pas valide pour des micro-polluants organiques extrêmement hydrophobes (solvants polaires,…) et facilement dégradables.

6.1.4 Calcul de la probabilité d'observation des effets

Afin de faciliter l'évaluation de la probabilité de l'observation des effets toxiques sur la base de la sensibilité des bio-essais, l'utilisation des Unités de la Probabilité d'Atteinte (UPA) a été introduite.

Une UPA est l'équivalent de la concentration d'un polluant dans l'eau interstitielle (C_{eau}), divisé par le EC_{50} ou le $L(E)C_{50}$ ou le $LOEC_{50}$ pour ce polluant :

Équation 4 :

$$UPA = \frac{\text{concentration polluant dans l'eau interstitielle } (C_{eau})}{EC_{50} \text{ ou le } L(E)C_{50} \text{ ou le } LOEC_{50}}$$

Pour certains polluants les valeurs EC_{50}, LC_{50} ou $LOEC_{50}$ ne sont pas toujours disponibles pour les organismes sélectionnés pour les essais Triade. Afin de permettre l'utilisation des valeurs comparables, les données toxicologiques disponibles dans la littérature ont été standardisées et transformées, en fonction des diverses périodes d'exposition, en valeurs $L(E)C_{50}$, ou $LOEC_{50}$.

La sensibilité spécifique par organisme d'essais est présenté dans la fiche technique F.

Les valeurs UPA des polluants avec le même type d'effet sur l'organisme peuvent être additionnées. Quand la somme des UPA > 1, un effet peut être théoriquement attendu dans au moins 50% des cas. Dans ce cas, une forte probabilité d'observer des effets de toxicité est prévisible.

Toutefois, en prenant en compte l'élévation de la disponibilité biologique des polluants plus élevée, on part du principe qu'avec une somme minimale des valeurs UPA = 0,1, il existe toujours une possibilité de détecter des effets de toxicité.

Le classement de probabilité d'atteinte, basé sur des sommes de valeurs UPA est présenté dans le tableau suivants :

Tableau 5 : Probabilité de détecter des effets de toxicité sur la base de somme de valeurs PA

Probabilité d'atteinte	Somme UPA	Classe
Nulle	Somme UPA < 0,1	3
Possible	0,1<Somme UPA<1	2
Réelle	Somme UPA > 1	1

Les valeurs UPA, présentées en fiche technique H, par type d'essais, par type de polluant, sont basées sur un sédiment standard, pour des concentrations de base, égale aux valeurs guides néerlandaises (0% de dépassement).

Le seuil des métaux lourds est une valeur, dite 'de signal', et pour les micro-polluants organiques ce seuil est souvent la valeur d'intervention.

7 CARACTERISATION DES RISQUES DE BIO ACCUMULATION

7.1 BIOACCUMILATION

Les concentrations des produits lipophiles induisant des effets narcotiques sont souvent trop faibles pour observer des effets tels que la mortalité, la réduction de croissance ou une altération de la reproduction lors de la réalisation de bio-essais en laboratoire.

Toutefois, ces produits peuvent induire des problèmes à long terme, du fait qu'il sont susceptibles d'être ingérés et retrouvés à des concentrations supérieures dans les niveaux trophiques supérieurs.

Un exemple de ce mécanisme est l'accumulation des PCB dans la chaîne trophique aquatique et les prédateurs non aquatiques qui se nourrissent des derniers niveaux trophiques aquatiques.

D'autres composés, tels que les métaux et HAP, peuvent induire des effets de bio-accumulation similaire mais sont néanmoins toxiques à de plus bas niveaux trophiques.

Les caractéristiques hydrophobes et lipophiles des composés organiques conditionnent la bio-accumulation dans les parties grasses des organismes. Les concentrations ainsi bio-accumulées dans les graisses des organismes sont exprimées en mg/kg gras. Les concentrations augmentent avec le log K_{ow}.

En général, les métaux lourds, selon leur spéciations (état de valence), à l'opposé des micro-polluants organiques, sont plus solubles dans l'eau et plus aisément transportés et dispersés dans le corps. Les concentrations des métaux sont exprimés en mg/kg MS.

7.2 ESSAI DE BIOACCUMULATION (OLIGOCHETES)

L'essai de bioaccumulation avec les oligochètes semble à l'heure actuelle être le plus répandu pour mesurer la disponibilité biologique des polluants spécifiques dans un sédiment d'une part et pour évaluer le risque de bio-magnification pour les prédateurs sur la base d'un dépassement MTR (Maximum Tolerable Risk).

Néanmoins, très peu de polluants dispose de valeur MTR établies. Ce constat limite l'utilisation de cette méthode de manière importante. Toutefois, l'information relative à la disponibilité biologique des polluants spécifiques peut être utilisée pour expliquer les tests de toxicité aiguë ou chronique.

Le test de bio accumulation est présenté à la Fiche Technique du groupe D à la fin de cette annexe.

8 CARACTERISATION DES EFFETS OBSERVES SUR SITE

Les méthodes d'inventaire sur site sélectionnées sont présentées sous les Fiches Techniques du groupe E à la fin de cette annexe.

8.1 CARACTERISATION DE LA QUALITE ECOLOGIQUE

Pour permettre l'évaluation de la qualité écologique, il est souhaitable de corréler les connaissances de la qualité physico-chimique des sédiments avec la densité des *Chironomidae* et *Oligocèthes* dans le sédiment.

Cette base de données permettrait de décrire la relation entre la qualité et l'abondance des micro-organismes afin de décrire l'abondance des critères d'évaluation des données obtenues lors des inventaires in-situ pour différents types de sédiments. De plus, ces critères pourraient être utilisés comme indicateurs de stress possible dans un cadre donné.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'outils statistiques à multi-variantes, à partir d'une base de données étoffée, permettrait de mieux cerner l'influence de facteurs environnementaux (pH, siccité, fraction sablonneuse…) par rapport à l'influence directe de la présence de polluants.

8.2 CARACTERISATION DES EFFETS PATHOGENES

Certains facteurs environnementaux (température, teneur en oxygène dissous, matières organique et argileuse…) jouent probablement un rôle prédominant dans la malformation des mâchoires des *Chironomidae*.

Par ailleurs, les inventaires sur sites ont permis de corréler le pourcentage de malformations de plusieurs espèces de microorganismes (*Chironomus, Tanytarsis,*…) avec la présence de métaux lourds et de micro-polluants organiques (HAP, hydrocarbures et composés organo-chlorés). Toutefois, dans les zones non polluées, les sédiments tourbeux et argileux peuvent présenter des taux de malformation de ces espèces, compris entre 1 et 10%. Par ailleurs, les sédiments sablonneux ne présentent pas une densité de population suffisante pour donner des valeurs représentatives de taux de malformation.

9 SELECTION DE BIO-ESSAIS

La sélection des bio-essais les mieux adaptés au cas d'étude donné, dans le cas de la présence d'un seul produit est effectuée selon les termes suivants :

1. Collecte des résultats analytiques des paramètres physico-chimiques, obtenus entre 0-15 cm d'épaisseur de sédiment (ou 0-50cm)

2. Calcul des concentrations des polluants dans l'eau interstitielle, à partir de la formule 1 destinée aux métaux ou la formule 3 dans le cas de polluants organiques

   Les valeurs K_p et K_{oc}, utilisées dans l'expression de ces formules, sont présentées dans le tableau de la fiche technique G à la fin de cette annexe.

3. Calculer le facteur UPA, à l'aide de la formule 4.

Les valeurs de LC_{50} et $L(e)C_{50}$ $LOEC_{50reproduction}$ sont présentées dans le tableau de la fiche technique F à la fin de cette annexe.

4. Additionner les valeurs UPA des produits qui ont le même effet toxique

5. Si la valeur de la somme des UPA dépasse le seuil de 0,1, la technique utilisée pour détecter ce type ou groupe de produits ayant les mêmes effets est sensible et probablement la mieux adaptée.

10 INTERPRETATION DES EFFETS OBSERVES

10.1 BIO-ESSAIS

Après constat d'un effet par un bio-essai, il faut déterminer si l'effet observé est attribué à la présence du polluant.

La procédure est comparable à celle précédemment décrite, à la différence que les résultats analytiques des paramètres physico-chimiques, pris en compte sont les mêmes que ceux utilisés pour la mise en œuvre des tests biologiques.

Si la valeur de la somme des UPA dépasse le seuil de 0,1, l'effet observé est considéré comme étant le résultat partiel de la présence de polluants dans le sédiment, à condition que le bio-essai soit réalisé dans le respect de ses conditions d'application.

Dans le cas des mélanges complexes, les valeurs UPA de chaque groupe de produits sont calculées individuellement. On considère alors qu'un groupe de produit induit un effet si une ou plusieurs valeurs UPA dépasse le seuil de 0,1.

Dans le cas où aucune valeur UPA ne dépasserait le seuil 0,1, malgré l'observation d'un effet et la réalisation conforme du bio-essai, il est probable que les effets observés résultent d'une combinaison entre la présence d'un polluant non pris en compte et/ou des facteurs environnementaux. De plus, il est possible que les polluants présents dans le sédiment aient une bio-disponibilité plus importante que celle attendue. En conséquence, les tests de bio-accumulation peuvent éventuellement compléter l'information obtenue à ce stade.

10.2 SITES DE REFERENCE LOCAL

Les résultats obtenus pour un site de référence, en parallèle avec la caractérisation des sédiments de la zone d'étude, peuvent également être utilisés pour la bonne compréhension des effets observés.

Les effets, observés dans la zone d'étude sont par exemple d'autant plus confirmés, qu'aucun effet n'est constaté dans la zone de référence, par la mise en œuvre du même test.

Toutefois, des effets négatifs peuvent être observés dans la zone de référence sans qu'ils soient pour autant observés dans la zone d'étude, en raison des facteurs environnementaux qui peuvent perturber différemment ces deux zones.

De plus les bio-essais, mis en œuvre dans l'approche TRIADE ne sont pas spécifiques d'un seul produit. Autrement dit, les effets observés par ces bio-essais résultent d'un large spectre de produit et pas seulement d'un produit spécifique.

Par ailleurs, il existe des interactions entre les polluants, des interférences entre les polluants et les facteurs abiotiques. L'effet observé résulte de l'ensemble de tous ces types d'interaction.

Même si l'effet observé dans la zone d'étude est explicable, il est néanmoins possible que ces effets puissent être provoqués par des facteurs inconnus et non quantifiables. En conséquence, il est recommandé d'approfondir la connaissance des effets observés sur le site de référence, afin de prendre en compte ces facteurs.

10.3 INVENTAIRE IN SITU

La relation entre la présence des polluants et l'importance des effets lors de l'inventaire in-situ peut être mise en évidence si :

- Un des paramètres recherchés est nettement inférieur à la valeur de référence

Ou, dans le cas où il n'existe pas de site de référence :

- si au minimum un des paramètres indique un effet significatif sur la base d'une comparaison avec des valeurs normales indicatives.

Toutefois, l'information actuellement disponible ne permet pas d'établir une relation claire et précise dans le dernier cas énoncé.

11 RECOMANDATIONS

11.1 PRELEVEMENT

11.1.1 Recommandations spécifiques aux bio-essais

Le prélèvement des échantillons peut en principe se faire **toute l'année, mais préférentiellement de la fin octobre au début avril**.

Pour les tests biologiques, les prélèvements se font préférentiellement dans la couche superficielle (comprise dans les 10 à 15 premiers centimètres d'épaisseur).

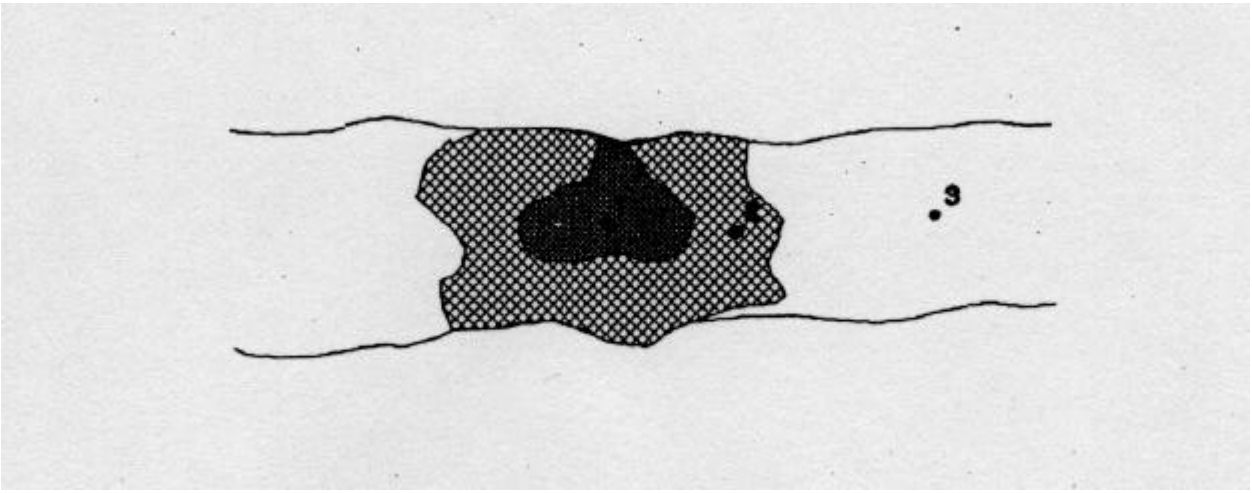
A ce titre, le **carottier-boîte** (box-corer) semble le plus approprié, du fait que le sédiment reste totalement préservé pendant l'échantillonnage. Pour l'échantillonnage de sédiments à structure pédologique meuble, la benne **Ekman-Birge** est recommandée. Les couches profondes peuvent être carottées à l'aide d'un **foret à main**.

La description des engins de prélèvement est effectuée dans l'Annexe technique AT2.

Les différentes stratégies d'échantillonnage décrites à l'Annexe technique AT3 sont applicables en fonction de l'information recherchée. Dans tous les cas, l'opérateur argumente ses choix dans le rapport d'intervention.

Dans la zone d'étude, la prise d'échantillons se fait sur au moins trois sites, de préférence présentant un gradient de pollution (voir figure 1).

Figure 2: Exemple de zone à étudier.



Sur un trajet donné, au moins trois sites d'échantillonnage sont choisis pour mettre en évidence un gradient de pollution. Le site 1 est fortement pollué, le site 2 l'est moins. Le site 3 est relativement propre et peut servir de sédiment de référence. Un échantillon est prélevé par site.

Sur chaque site, un prise d'échantillon de 30 litres est prélevée et placée dans des seaux en plastique de 10 litres. Lorsque le sédiment est très sec (sableux), environ 50 litres sont nécessaires.

Les seaux sont immédiatement transportés au laboratoire où ils sont stockés à une température de 4 +/- 2°C. S'ils ne sont pas directement portés au laboratoire, ils doivent être maintenus à une température aussi fraîche que possible.

11.1.2 Recommandations spécifiques aux inventaires sur site

Le prélèvement des échantillons a lieu de préférence entre **fin octobre** et **début avril**.

En principe, l'échantillonnage est possible tout l'hiver, sauf en cas de gel, car le tamisage au tamis de 500 µm peut alors causer quelques problèmes. En hiver, ce sont surtout les larves au dernier stade qui sont présentes et ce sont souvent les plus faciles à collecter et à analyser. Au printemps et en été (mai-juin et juillet-août), les animaux essaiment.

L'échantillonnage du sédiment peut être réalisé à la **benne Ekman-Birge**. Pour les sédiments durs ou sablonneux, c'est le plus souvent un **carottier-boîte** (box-corer) qui est utilisé (Cf. Annexes Techniques AT2).

Lorsque le sédiment contient peu de vase (sédiment dur) et qu'il est impossible d'en prélever un profil, le prélèvement peut être effectué à l'aide d'un **échantillonneur de boue Eykelkamp** ou d'un **échantillonneur Beeker**.

Le traitement des échantillons reste dans tous les cas identique

Dans une zone à étudier, au moins **cinq sites** sont échantillonnés. Ces sites présentent de préférence un gradient de pollution (Cf. figure 1).

Sur chaque site, **cinq prélèvements aléatoires** (carottes) sont constitués et traités séparément : ils sont tamisés sur site au travers d'un tamis de 500 µ. Les organismes sont lavés dans un bocal fermant bien rempli d'eau prélevée sur le site.

Pour la mesure du degré d'humidité du sédiment, un profil est prélevé à partir de deux carottes à l'aide de petits tubes (section de + 25 cm² et longueur de 10 cm) qui sont ensuite fermés aux deux extrémités par des bouchons. Les tubes sont ensuite envoyés au laboratoire pour y subir d'autres traitements.

Les bocaux contenant la macro-faune et les tubes d'échantillons de sédiment sont transportés vers le laboratoire dans des conditions de température aussi fraîches que possible (< 10 °C), où ils sont stockés à l'abri de la lumière à 4 +/- 2 C. A réception, la macro-faune est immédiatement débarrassée des particules de sédiment, de la matière organique, des coquilles...dont elle est recouverte.

La macro-faune (propre) est stockée dans de l'éthanol à 70 % et peut, si les récipients sont convenablement fermés, être conservée pour une durée illimitée.

La détermination du degré d'humidité du sédiment doit être effectuée aussi vite que possible après l'échantillonnage. Le profil contenu dans les tubes d'échantillons de sol est découpé horizontalement en plaques de 1 cm. Chaque plaque est pesée séparément, puis séchée pendant 16 heures à 105°C. La perte de poids avant et après le séchage donne le degré d'humidité par cm de sol.

En vue d'une détermination du carbone organique, de la granulométrie et des paramètres chimiques, une quantité supplémentaire de sédiment (au moins 1 litre) est prélevée.

Cette quantité est envoyée au laboratoire dans un récipient en polycarbonate de 2 litres, où elle doit être stockée au frais (5 °C).

Les quantités de sédiment nécessaires à la réalisation de chaque analyse séparée sont définies paragraphe décrivant la caractérisation physico-chimique dans le diagnostic approfondi (Cf. chapitre 4).

11.2 LE PRE-TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

Le sédiment prélevé avec l'eau qui le recouvre est homogénéisé à l'aide d'une tige de plexiglas ou d'un mélangeur mécanique. Les particules grossières doivent être éliminées auparavant, éventuellement par tamisage de l'échantillon sur un tamis1 à large mailles sans addition d'eau supplémentaire. Après homogénéisation, le sédiment est réparti dans les trois seaux.

Après le dépôt du sédiment pendant un jour à 4 +/- 2 °C, le surnageant est égoutté en quantité suffisante pour que la vase soit juste "humide". Les échantillons sont stockés pendant les tests dans des seaux fermés à 4 +/- 2 °C. Avant qu'un échantillon ne soit prélevé d'un seau, le contenu de ce dernier doit être bien mélangé.

11.2.1 Préparation du mélange sédiment-eau

Tests biologiques

Un volume de la vase humide prétraitée et tamisée et 4 volumes d'une solution standard sont versées dans un récipient fermant hermétiquement (verre ou polycarbonate) et rempli au maximum à la moitié de sa contenance. Auparavant, le volume du sédiment humide est précisément mesuré, de sorte qu'en cas de répétition de la préparation du mélange sédiment-eau, le même volume puisse être pesé.

Le mélange sédiment-eau est fortement agité pendant 24 heures (à environ 100 t/m) sur une table vibrante (ou un dispositif à rouleaux) à 20 +/- 2 °C.

Le mélange doit être agité (après un stockage éventuel) avant d'être utilisable pour le test (environ 3 jours avant la réalisation du test). Les récipients utilisés pour le test (par exemple des cristallisoirs de verre de 60 ml, diamètre de 5,5 cm) sont remplis de 50 ml du mélange. Le niveau de l'eau est marqué sur les récipients avec un feutre par exemple. Les récipients sont ensuite mis à reposer pendant 3 jours à 20 +/- 2 °C pour que le sédiment se dépose au fond.

Essais bio-accumulation

Deux fioles sont remplies du mélange sédiment-eau. Un litre du sédiment pré-traité humide et 2 litres d'une solution aqueuse standard sont versés dans des bocaux de 4 litres.

1 Remarque : pour éviter de léser la faune présente dans le sédiment, il convient, avant de procéder au test avec les C*hironomides*, de passer ce dernier sur un tamis de 500 µm.

Le mélange sédiment-eau est agité fortement pendant 24 heures (à environ 100 r/min.) sur une table vibrante (ou un dispositif à rouleaux) à 20 ± 2 °C.

Le mélange est ensuite placé dans un aquarium d'essai d'environ 5 litres et additionné de 2 litres d'une solution standard. Le mélange est encore une fois homogénéisé dans un agitateur mécanique pendant une demi-heure. S'il y a possibilité d'utiliser des cuves d'agitation de plus grand volume, le mélange peut aussi être préparé en une seule fois.

Deux à trois jours avant les essais, les aquariums sont placés à la température retenue pour les essais de manière à ce que le sédiment puisse se déposer. Pendant la sédimentation, le surnageant est modérément ventilé.

11.2.2 Préparation de l'élutriat

L'élutriat est le surnageant d'un mélange sédiment-eau qui en est extrait après agitation et décantation (voir ci-dessus).

11.2.3 Préparation de l'eau interstitielle

L'eau interstitielle est obtenue par séparation à l'aide d'une centrifugeuse de l'eau retenue dans le sédiment. Pour de grandes quantités d'eau interstitielle, le sédiment prétraité est placé dans des sacs de plastique ou des récipients de polycarbonate et centrifugé pendant 30 minutes à une accélération d'au moins 2500 g. Le liquide surnageant (eau interstitielle) est versé dans un erlen-meyer. Il est ensuite filtré au tamis de 0,45 µm. Pour les petites quantités d'eau interstitielle, pour un test utilisant des bactéries luminescentes (environ 10 ml) par exemple, le sédiment est centrifugé dans des tubes de centrifugeuse mais n'est pas filtré.

11.3 CONSERVATION DES ECHANTILLONS TRAITES

Les échantillons de sédiment et de mélanges de sédiments, l'élutriat et l'eau interstitielle doivent être stockés pendant la période de conservation à 4 +/- 2 °C dans des récipients/bocaux à l'abri de la lumière.

Il convient d'utiliser de préférence les échantillons aussi vite que possible après leur préparation. Pour des raisons pratiques, un certain temps de stockage des différents mélanges sédiment-eau traités est prévu.

Les échantillons de sédiment peuvent être conservés 3 mois, les mélanges sédiment-eau au maximum 1 mois. Avant d'utiliser les mélanges sédiment-eau, il convient de les mélanger.

L'élutriat et l'eau interstitielle peuvent être conservés au maximum une semaine. L'eau interstitielle destinée au test avec les bactéries luminescentes fait exception. L'eau interstitielle utilisée pour ce test doit être aussi fraîche que possible.

Tous les échantillons sont transportés immédiatement après leur prélèvement vers le laboratoire où ils sont refroidis et stockés à l'abri de la lumière jusqu'à leur exploitation.

12 CARACTERISATION DES CONDITIONS LIMITES DES SYSTEMES BIOLOGIQUES TESTES

Les tests doivent être exécutés de manière à ce que les paramètres, tels que le pH, l'oxygène, l'ammonium, les nitrites et la teneur en sel dans le surnageant, l'élutriat et la série de dilutions de l'eau interstitielle restent à l'intérieur des limites correspondant aux conditions limites de survie des organismes.

L'ammonium et les nitrites sont mis en évidence en premier à l'aide de tests tout préparés (par exemple Merckoquant, Merck). Etant donné l'imprécision des tests tout préparés, il est nécessaire de procéder à une détermination chimique des conditions limites dans le domaine critique. La toxicité qui peut se révéler à cette dilution peut être aussi attribuable aux conditions limites.

Un test « prêt à l'emploi » mesure l'ion ammonium libre (NH4+). La toxicité est cependant due à l'ammoniac non dissocié (NH3). La concentration en NH3 dépend du pH et de la température.

Tableau 6 : Critères limites pour les média de test

Organismes	**Pas des effets aigus prévus avec une concentration de :**							
	pH	**O2(mg/l)**	**CaCO3 (mg/l)**	**NO2 (mg/l)**	**NH4 (mg/l)**	**NH3 (mg/l)**	**Cl (g/l)**	**Conductivité (µS/cm)**
D. magna	5,5-9	>3	1500	48	100	3,8	3	750
C. riparius	5-9	>3	600	20	32	1,2	5,5	1200
P. phosphoreum	5-9	>3	-	50	-	-	-	-
Oligochaetes	5-9	0	-	-	110	1,3	3	750

Pour influencer aussi peu que possible le contenu des récipients testés, il est conseillé de mesurer les conditions aux limites avant d'effectuer la série de dilutions. Toutefois, si une valeur limite est dépassée, il est également nécessaire de mesurer les conditions limites de la série de dilutions. Certains paramètres ne doivent pas être mesurés dans le récipient d'essai avant dilution.

En cas de valeurs extrêmement faibles en oxygène, le milieu doit être modérément aéré pendant 10 minutes avant la mise en œuvre des organismes. Si la teneur en oxygène reste trop faible, un aérage continu est recommandé.

Pour de fortes teneurs en ammonium et en nitrites, aucune technique d'élimination n'est autorisée, pas plus que des corrections en cas d'écarts des valeurs du pH, puisque le traitement de l'eau peut influer sur les constituants toxiques présents dans l'eau. Si la teneur en sel est trop élevée, le choix de l'organisme utilisé pour le test doit se faire en conséquence.

- PARTIE 2 - FICHES TECHNIQUES

AVERTISSEMENT

Les fiches techniques présentées dans cette partie recouvrent tous les tests évoqués dans le manuscrit. Certains tests sont vendus uniquement ou préférentiellement sous forme de Kit. Or, les méthodes d'analyses en kit ne sont pas recommandées par les autorités françaises pour des raisons de qualité des résultats.

1 CODIFICATION DES FICHES TECHNIQUES

1.1 DISPONIBILITE

Il s'agit de donner des informations quant à la **disponibilité des tests cités**. Le tableau ci-dessous précise la signification des codes utilisés.

Test disponible auprès des laboratoires privés	👍
Test disponible auprès des laboratoires de recherche et non normalisé	☞
Test peu utilisé ou en développement	👎
Information non connue	n.c.

1.2 COUT

Est désigné sous ce terme le **coût du test**, hors structures et installations (c'est-à-dire chambre thermostatée, microscope électronique à balayage, spectromètre à flamme, etc.) Le tableau ci-dessous précise la signification des codes utilisés.

Faible	**Moyen**	**Élevé**
(< 227 €)	(227- 455 €)	(> 455 €)
☺	😐	☹

1.3 DUREE

Il s'agit de la **duré de réalisation du test** (d), comprenant la préparation, la réalisation, le traitement des données et la rédaction du rapport. Le tableau ci-dessous précise la signification des codes utilisés.

Test aigu		**Test chronique**		
d = 24 heures	d > 24 heures	d = 2 jours	2 < d < 7	d = 7 jours
:	;	<	=	>

1.4 PERIODE

Concernant la **période d'utilisation**, aucun code ne sera utilisé, l'information sera donnée en toutes lettres.

1.5 COMPOSITION DES FICHES

Les fiches sont pour la plupart composées de 10 paragraphes intitulés comme suit :

Ê Description générale

Ë Champs d'application

Ì Sensibilité

Í Conditions préalables

Î Réalisation

Ï Appréciation

Ð Critères de validité

Ñ Coûts

Ò Points d'attention

Ó Expérience

GROUPE A
Evaluations biologiques aiguës

FICHE A1	**TEST AIGU SUR ALGUES**	**325**
FICHE A2	**TEST AIGU BACTERIOLOGIQUE**	**329**
FICHE A3	**TEST AIGU THAMNOTOXKIT F**	**333**
FICHE A4	**TEST AIGU SUR DAPHNIES**	**337**
FICHE A5	**TEST AIGU ROTOXKIT F**	**340**

FICHE A1
Test aigu sur Algues

Disponibilité	👍	**Durée**	;
Coût	😐	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Normes : NF EN 28692 (1993), ISO 8692 (1989), NEN 6506 (1984), U.S. EPA (1989) ou OECD 201 (1984).

Organismes : utilisation, en fonction du protocole, de l'algue verte *Scenedesmus subspicatus*, *Raphidocelis subcapitata* (anciennement : *Selenastrum capricornutum*) ou *Chlorella pyrenoïdosa*.

Principe : Dans ces tests, l'inhibition de la croissance de l'algue verte est évaluée après une exposition d'au moins 24 heures à différentes concentrations d'eau d'extraction. Ces concentrations sont préparées en diluant l'eau d'extraction avec un milieu aqueux standardisé également utilisé pour le test à blanc.

Le niveau de croissance est déterminé en fonction de l'augmentation du nombre total des cellules de l'algue au cours du test. Ceci est exprimé sous la forme de deux résultats; "surface sous la courbe de croissance" (A) et "vitesse de croissance" (µ).

A partir des résultats pour A et pour µ, la concentration d'eau d'extraction qui induit une inhibition de 50% de la croissance de l'algue (EC_{50}) par rapport au test à blanc est estimée.

Ë Champs d'application

Test conventionnel utilisable pour l'évaluation de la toxicité de matières :

- d'échantillons aqueux (eaux de surface, eaux usées),
- et de sédiments (au travers de l'eau d'extraction et/ou de l'élutriat).

Ì Sensibilité

- aux métaux (Cd, Cu et Zn),
- aux algicides,
- et aux herbicides.

Í Conditions préalables

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition aiguë de *Raphidocelis subcapitata* n'est attendue, (les conditions préalables), sont mentionnées dans le tableau suivant (Botterweg, 1996 et Maas, 1995) :

pH	**O_2** (mg/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Conductivité** (µS/mm)
8,3 ± 1*	inconnu	≤ 500	≤ 45	≤ 2,4	≤ 320**

* La variation du pH est préférablement encore plus faible parce que le pH a une grande influence sur la (vitesse de) croissance des algues ;

** Valable pour l'algue d'eau douce Chlorella.

Î Réalisation

Détermination de l'eau d'extraction EC_{50} (série de dilutions)

Lors de la réalisation, il y est recommandé de tester trois fois les 5 concentrations suivantes d'eau d'extraction : en % volume, 100 (non dilué), 56, 32, 18 et 10.

Évaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où une seule concentration d'eau d'extraction est évaluée, ce test peut être réalisé selon une version modifiée de la directive. Dans ce cas, au lieu d'évaluer une série de dilutions avec trois répliques par concentration, on évalue exclusivement 6 répliques de la concentration concernée.

Après des expositions de 24, 48 et 72 heures, l'opacité optique est mesurée avec un spectrophotomètre pour chaque réplique, et celle-ci est convertie en nombre de cellules d'algues par ml. On calcule alors A et µ sur cette base.

Ï **Appréciation**

Une fois qu'il a été vérifié que le test satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Il est proposé d'appliquer les critères suivants pour l'appréciation :

Effet observé (* ee = eau d'extraction)	**Classification**	**Appréciation de l'effet**
EC_{50} > 100 vol.% ee* ou effet < 50% dans 100 vol.% ee ou pas d'effet significatif dans 100 vol.% ee	3	aucun
EC_{50} > 56 et ≤ 100 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 100 vol.% ee ou effet significatif dans 100 vol.% ee	2	moyen
EC_{50} ≤ 56 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 56 vol.% ee ou effet significatif dans 56 vol.% ee	1	sérieux

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants s'appliquent aux tests d'eaux (d'extraction) diluées et non diluées :

- Les échantillons et le médium pour le test à blanc doivent être conformes aux conditions préalables ;
- Le nombre de cellules dans le test à blanc doit avoir été multiplié par 16 au minimum au bout de 72 heures ;
- Dans le cas d'un test de qualité, le résultat du test doit se situer à l'intérieur de l'intervalle mentionné dans le protocole ;
- Le pH du test à blanc ne doit pas varier de plus d'un point au cours du test.

Ñ **Coûts**

La réalisation de ce test au moyen d'algues obtenues en mobilisant des cellules à partir de ce qu'on appelle des "algal beads" est plus économique qu'avec une culture d'algue conventionnelle. Dans cette dernière forme immobilisée, les cellules d'algues restent "susceptibles de reprendre vie" pendant une longue période, sous réserve d'un stockage au frais et à l'abri de la lumière.

Ò **Points d'attention**

- Des déformations des cellules d'algues peuvent se produire sous l'influence de matières toxiques. Ceci peut être vérifié au microscope lors de chaque test ;
- Il est recommandé d'effectuer régulièrement des tests avec du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) comme produit de référence, tant pour contrôler la sensibilité de la variété d'algue utilisée pour les tests, que pour contrôler la procédure des tests.
- Lors de tests avec de l'eau de surface (STOWA, 1997), il est apparu que le médium conventionnel pour les tests à blanc contient beaucoup moins de substances nutritives que l'eau de surface, de sorte que la croissance des algues est souvent plus forte, même dans de l'eau de surface polluée.

Ó **Expérience**

Cette technique n'est pas encore courante en tant que technique Triade (Maas *et al.,* 1993). Par conséquent, encore peu d'expérience a été acquise avec cette technique dans le cadre de l'évaluation de sédiments pollués. Cette technique très prometteuse a toutefois été sélectionnée comme technique d'appoint parce que :

- Lors d'une étude à grande échelle pour identifier les sédiments pollués en Flandre, le test aigu sur algue s'est révélé la technique la plus sensible pour pouvoir mettre en évidence les matières toxiques dans l'eau d'extraction (de Cooman, 1995a) ;
- Ce test permet de détecter la toxicité de produits spécifiques qui inhibent l'activité de photosynthèse.

FICHE A2
Test aigu bactériologique

Disponibilité	👍	**Durée**	**:**
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Ê **Description générale**

Normes : NF EN ISO 11348-3 (1999) ; T90-320-3.

Organismes : bactérie appartenant à la famille des *Vibrionaceae*, et rencontrée à grande profondeur : soit en liberté, soit comme symbiote dans les organes luminescents de poissons. Une partie de l'énergie libérée de son métabolisme (cycle respiratoire) est émise par cette bactérie sous forme de lumière (bioluminescence).

Principe : les produits toxiques inhibent la bioluminescence des bactéries. La diminution de la bioluminescence de la bactérie est évaluée après des expositions de 5, 15 et 30 minutes à des concentrations différentes d'eau d'extraction à tester, au moyen d'un photomètre (Microtox ou Lumistox).

La pertinence écologique de cette bactérie peut être mise en doute. Néanmoins, le test est basé sur une réaction biochimique essentielle qui n'a pas subi de changement au cours de l'évolution.

Les analyses sont réalisées en double, après quoi une valeur EC_{20} moyenne est déterminée par durée d'exposition. La valeur EC_{20} est définie comme la concentration d'eau d'extraction pour laquelle on constate une diminution de 20% de la bioluminescence par rapport au test à blanc (réalisé avec le médium utilisé pour la dilution) après une durée d'exposition donnée. La valeur la plus faible parmi les valeurs EC_{20} obtenue après les trois durées est utilisée pour indiquer la toxicité de l'eau d'extraction.

Ë **Champs d'application**

- produits,
- sédiments (au travers de l'eau d'extraction et/ou de l'élutriat),
- et échantillons aqueux (eaux de surface et eaux usées).

Ce test est utilisable pour l'évaluation d'eau salée et d'eau douce (après ajustement de la salinité) polluées (Brils et den Besten, 1995).

Ì **Sensibilité**

- aux bactéricides,
- aux DDT et PCP,
- aux métaux (en particulier au Hg et au Cu).

D'après Tarkpea et al. (1986; dans Munkittrick et al., 1991) le test présente une sensibilité plus grande aux effluents qu'aux composants purs. En outre, V. fischeri semble être plus sensible aux formulations commerciales des herbicides et des pesticides que pour les formulations chimiquement pures (Thomas et al., 1986 ; dans Munkittrick et al., 1991). Voir l'AT5 - fiche 6 en ce concerne la sensibilité spécifique de ce test.

Í **Conditions préalables**

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquels aucune influence sur le résultat final (les conditions préalables), sont mentionnées dans le tableau suivant :

pH	**O_2** (mg/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Na_2SO_4** (mg/l)	**Cl-** (g/l)	**Salinité** (‰)
5 - 9	≥ 3	≤ 50	non critique	non critique	≤ 2300	n.a.	n.a.

n.a.: La teneur en sel de l'échantillon n'est pas critique étant donné qu'elle est augmentée artificiellement pour chaque échantillon avant que la bactérie marine Vibrio fischeri ne soit ajoutée.

Î **Réalisation**

Détermination de l'eau d'extraction EC_{20} (série de dilutions)

Il convient de tester l'eau d'extraction immédiatement après son obtention. Sur la base du système de tests Microtox®, il est recommandé de tester les 4 concentrations d'eau d'extraction en double : 45; 22,5; 11,25 et 5,625 % volume. On détermine alors une valeur moyenne EC_{20} par durée d'exposition. La plus faible de ces trois valeurs est évaluée plus avant.

Évaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où une seule concentration d'eau d'extraction est évaluée, on évalue uniquement 5 répliques de la concentration concernée au lieu d'une série de dilutions avec deux répliques par concentration à tester.

La bioluminescence est mesurée pour chaque réplique au moyen du photomètre Microtox après des expositions de 5 ; 15 et 30 minutes. Simultanément on teste et mesure, par échantillon, 5 tests à blanc.

Ï **Appréciation**

Après avoir contrôlé que le test effectué satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Les critères "Triade" du tableau ci-dessous sont disponibles pour les valeurs EC_{20} et TI (Maas *et al.,* 1993).

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
EC_{20} > 45 vol.% ee* (TI** < 2,2) ou effet < 20% dans 45 vol.% ee ou pas d'effet significatif dans 45 vol.% ee	3	aucun
EC_{20} > 10 et ≤ 45 vol.% ee (2,2 ≤ TI < 10) ou effet ≥ 20% dans 45 vol.% ee ou effet significatif dans 45 vol.% ee	2	moyen
EC_{20} ≤ 10 vol.% ee (TI ≥ 10) ou effet ≥ 20% dans 11,25 vol.% ee ou effet significatif dans 11,25 vol.% ee	1	sérieux

* ee = eau d'extraction ** TI = $100/EC_{20}$

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants sont applicables lors du test d'une seule concentration d'eau d'extraction:

- Le médium pour le test à blanc et les échantillons doivent être conformes aux conditions préalables ;
- Lorsqu'on effectue un test de qualité, le résultat final doit se situer dans l'intervalle mentionné dans le protocole.

En outre, les critères additionnels suivants sont applicables dans le cas où on choisit de tester une série de dilutions (pour la détermination de EC_{20}) :

- La diminution dans le test à blanc (R_t) doit se situer entre 0,6 et 1,3 ;
- Les valeurs EC_{20} des tests en double ne doivent pas présenter un écart réciproque supérieur à 15%.

Ñ **Coûts**

voir en-tête de la fiche.

Ò **Points d'attention**

- Lors du retrait du produit d'extraction ou d'élution éventuellement utilisé, la toxicité mesurée peut être influencée par évaporation, adsorption au verre du contenant ou par dépassement de la solubilité des produits extraits

- En tant que bactérie marine, *Vibrio fischeri* est halophile. Pour cette raison, l'échantillon et la série éventuelle de dilutions sont portés à la valeur d'osmose correcte avant le test. Les ions de certains métaux lourds peuvent toutefois former des complexes avec les ions Cl^-, ce qui peut fortement modifier la toxicité des métaux présents. Si la toxicité des métaux lourds est considérée comme l'élément déterminant, la pression osmotique correcte de l'échantillon d'eau d'extraction à tester peut aussi être obtenue en ajoutant du sucrose au lieu de chloride de soude. Ceci donne la même pression osmotique que 20 g/l de NaCl.

- Afin de contrôler la sensibilité du *Vibrio fischeri* on peut effectuer un test avec du phénol et/ou du zinc (en tant qu'ion bivalent) comme produit de référence. Le $EC_{20,\ 5mn}$ du phénol doit se situer entre 3 et 10 mg/l, et le $EC_{10,\ 30mn}$ du zinc entre 0,2 et 2 mg/l.

Ó **Expérience**

Aux Pays-Bas, une expérience positive a déjà été menée avec cette technique courante (Maas *et al.,* 1993) pour l'appréciation de sédiments pollués. Cette technique a également déjà été appliquée aux Pays-Bas dans le cadre de l'examen de plans d'eau régionaux. Les expériences des gestionnaires de la qualité de l'eau avec cette technique pour l'évaluation des eaux de surface sont données dans STOWA (1997).

FICHE A3
Test aigu Thamnotoxkit F

Disponibilité	☞	**Durée**	;
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : Aucune. Test réalisé selon le protocole livré avec ce kit (Creasel, 1990b).

Organismes : *Thamnocephalus platyurus* est un crustacé. Bien que celui-ci ne se rencontre que rarement dans des plans d'eau, cette espèce peut bien y prospérer. Du fait qu'elle ne résiste pas à la forte pression de prédation, cette espèce s'est retirée dans des habitats écologiquement extrêmes, dans le cas présent des lieux qui s'assèchent périodiquement. La survie à la période de sécheresse est due à la production d'œufs "durables", nommés cystes. Lorsque les conditions s'améliorent, des nauplius naissent de ces cystes et de développent rapidement pour devenir adultes (Creasel, 1990b).

Principe : La mortalité des crustacés juvéniles est évaluée après une exposition de 24 heures à l'eau d'extraction. Une série de dilutions est préparée pour le test avec de l'eau douce standard livrée avec le kit. Le test à blanc est fait avec 100% d'eau douce. Après 24 heures, le nombre d'animaux morts est décompté par concentration testée. A partir de ces résultats, la concentration qui provoque une mortalité de 50% (LC_{50}) est estimée au moyen d'une méthode statistique appropriée.

Ë Champs d'application

- matières,
- échantillons aqueux (eaux de surface, eaux usées)
- et sédiments (au travers de l'eau d'extraction et/ou de l'élutriat).

Le test ne convient pas pour les tests concernant des produits ou des échantillons qui présentent une forte consommation d'oxygène, qui sont très volatiles ou réactif, ou qui s'adsorbent aux coupelles des tests.

En tant que Toxkit, ce test est satisfaisant en général pour la surveillance d'eaux de surface, pour les études concernant les inconvénients environnementaux d'eaux usées, pour la conservation et le contrôle et pour les études d'assainissement.

Ì **Sensibilité**

- aux métaux (surtout Hg, Cu, Cd),
- aux pesticides, herbicides,
- à divers produits : organophosphore, DDT, Endrin, DDD, Hexachlorobenzène, Aldicarb, Methiocarb et Deltamethrin.

Sur la base de 146 observations (données concernant la toxicité de produits purs, d'effluents, d'échantillons de sédiments, etc.), une étude comparative a révélé des résultats significativement identiques pour le test aigu sur les daphnies et pour le test avec le Thamnotoxkit F (Persoone *et al.,* 1994) (Cf. fiche 6 en ce qui concerne la sensibilité spécifique de ce test).

Í **Conditions préalables**

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition aiguë de *Thamnocephalus platyurus* n'est attendue, (les conditions préalables), sont mentionnées dans le tableau suivant (Botterweg, 1996 et Maas, 1995) :

pH	**O_2** (mg/l)	**NO_1** (mg/l)	**NH_4** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Conductivité** (µS/mm)	**Salinité** (‰)
5 - 11	≥ 3	≤ 9	≤ 40	≤ 2,1	≤ 385	≤ 3

Î **Réalisation**

Détermination de l'eau d'extraction LC_{50} (série de dilutions)

Il est recommandé de tester les 5concentrations suivantes d'eau d'extraction : 100 (non dilué), 56, 32, 18 et 10% du volume. Cette série est préparée en diluant l'eau d'extraction obtenue avec l'eau douce standard livrée avec le Toxkit.

Evaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où l'évaluation ne porte que sur une concentration d'eau d'extraction, ce test peut être réalisé selon une version modifiée de la directive jointe à ce Toxkit. Dans ce cas, l'évaluation porte exclusivement sur 12 répliques de la concentration concernée au lieu d'une série de dilutions avec 3 répliques par concentration. Après une exposition de 24 heures, le nombre de crustacés morts est compté dans chaque réplique.

Ï **Appréciation**

Une fois qu'il a été vérifié que le test satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Des critères "Triade" n'ont toutefois pas encore été formulés à ce jour en la matière (Maas *et al.,* 1993). Il est proposé d'appliquer les critères suivants pour l'appréciation :

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
EC_{50} > 100 vol.% ee* ou effet < 50% dans 100 vol.% ee ou pas d'effet significatif dans 100 vol.% ee	3	aucun
EC_{50} > 56 et ≤ 100 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 100 vol.% ee ou effet significatif dans 100 vol.% ee	2	moyen
EC_{50} ≤ 56 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 56 vol.% ee ou effet significatif dans 56 vol.% ee	1	sérieux

* ee = eau d'extraction

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants sont applicables lors des tests d'échantillons d'eau d'extraction non dilués et dilués:

- Les concentrations à tester doivent satisfaire aux conditions préalables ;
- Le taux de mortalité du test à blanc ne doit pas excéder 10% ;
- Dans le cas où un test de qualité est réalisé, le résultat doit de situer dans l'intervalle indiqué dans le protocole.

Ñ **Coûts**

Il est possible avec un seul kit de tester 6 séries complètes de dilutions (1 à blanc et 4 concentrations) comportant chacune 3 répliques par concentration pour la détermination du LC_{50}. Dans le cas où le test ne porte que sur une seule concentration d'eau d'extraction, un seul Toxkit permet de faire 3 tests à blanc et 15 tests sur échantillon (à chaque fois 1 test à blanc tous les 5 échantillons).

Ò **Points d'attention**

Afin de contrôler la sensibilité du *Thamnocephalus platyurus* et de contrôler la procédure du test, un test est effectué avec du dichromate de potassium comme produit de référence. Le $LC_{50,\ 24h}$ doit se situer entre 0,09 et 0,15 mg/l (Creasel, 1990b). On peut également éventuellement vérifier de cette manière les critères de qualité annoncés par le fournisseur concernant d'autres produits standards.

Ó **Expérience**

Cette technique n'est pas encore courante en tant que technique Triade (Maas *et al.,* 1993). Toutefois, une certaine expérience a déjà été accumulée avec cette technique aux Pays-Bas lors de l'appréciation de sédiments pollués (voir AquaSense, 1994a, 1995, 1996a, 1996b et 1997).

Dans une étude importante concernant les sédiments pollués en Flandre, le test Thamnotoxkit F est même apparu comme l'une des techniques les plus sensibles pour pouvoir démontrer la toxicité présente dans l'eau d'extraction (de Cooman, 1995a).

FICHE A4
Test aigu sur daphnies

Disponibilité	👍	**Durée**	;
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : ISO 6341 (1989), OECD 202 (1984), NF EN ISO 6341 (*Daphnia magna)*.

Organismes : Daphnia magna ou *Ceriodaphnia dubia* juvéniles (âge < 24h).

Principe : les juvéniles sont exposées à différentes concentrations d'eau d'extraction. Ces concentrations pour les tests sont obtenues par la dilution de l'eau d'extraction avec de l'eau douce standardisée. Cette eau douce non contaminé sert également pour les tests à blanc.

Après une exposition de 24 et/ou 48 heures le nombre d'animaux morts et immobiles (immobile = ne nageant plus, mais dont les antennes bougent encore) sont dénombrés pour chaque concentration. A partir de ces résultats, la concentration qui provoque une immobilisation (= immobile + mort) de 50% (EC_{50}) est estimée au moyen d'une méthode statistique appropriée.

Ë Champs d'application

Test conventionnel utilisable pour l'évaluation de la toxicité de :

- matières,
- échantillons aqueux (eaux de surface, eaux usées)
- et sédiments (au travers de l'eau d'extraction et/ou de l'élutriat).

Ì Sensibilité

- aux métaux (surtout Hg, Cu, Cd),
- aux pesticides, herbicides,
- à divers produits : organophosphore, DDT, Endrin, DDD, Hexachlorobenzène, Aldicarb, Methiocarb et Deltamethrin) (Cf. AT5 - fiche 6).

Í Conditions préalables

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition aiguë de *D. magna* n'est attendue, (les conditions préalables), sont mentionnées dans le tableau suivant :

pH	**O_2** (mg/l)	**Dureté** (mg CaCO/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4^+** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Na_2SO_4** (mg/l)	**Cl-** (g/l)	**Salinité** (‰)	**Conductivité** (µS/mm)
5,5 - 9	≥ 3	≤ 1 500	≤ 48	≤ 100	≤ 3,8	≤ 5 000	≤ 3	≤ 5	750

Î **Réalisation**

Détermination de l'eau d'extraction EC_{50} (série de dilutions)

Lors de la réalisation, les directives ISO 6341 (1989) sont respectées, et il y est recommandé de tester les 5 concentrations suivantes d'eau d'extraction : 100 (non dilué), 56, 32, 18 et 10% du volume.

Evaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où l'évaluation ne porte que sur une concentration d'eau d'extraction, ce test peut être réalisé selon une version modifiée de la directive ISO 6341 (1989). Dans ce cas, on évalue uniquement 8 répliques de la concentration concernée au lieu d'une série de dilutions comportant 4 répliques (5 daphnies chacune) par concentration.

Ï **Appréciation**

Une fois qu'il a été vérifié que le test réalisé satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Des critères "Triade" n'ont toutefois pas encore été formulés à ce jour en la matière (Maas *et al.,* 1993). Il est proposé d'appliquer les critères suivants pour l'appréciation :

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
EC_{50} > 100 vol.% ee* ou effet < 50% dans 100 vol.% ee ou pas d'effet significatif dans 100 vol.% ee	3	aucun
EC_{50} > 56 et ≤ 100 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 100 vol.% ee ou effet significatif dans 100 vol.% ee	2	moyen
EC_{50} ≤ 56 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 56 vol.% ee ou effet significatif dans 56 vol.% ee	1	sérieux

* ee = eau d'extraction

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants s'appliquent aux tests d'eaux d'extraction diluées et non diluées:

- Les échantillons et le médium pour le test à blanc doivent être conformes aux conditions préalables ;

Le pourcentage de daphnies immobiles dans le test à blanc ne doit pas excéder 10%.

Ñ **Coûts**

voir en tête de fiche

Ò **Points d'attention**

Afin de contrôler la sensibilité de la Daphnia magna, et également pour le contrôle de la procédure des tests, un test aigu est réalisé périodiquement (24 ou 48 heures) avec du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) ou du DCA 3,4. La valeur du $EC_{50, 24h}$ du dichromate de potassium doit se situer dans l'intervalle 0,9 à 2,4 mg/l (ISO 6341, 1989), et celle du $EC_{50, 48h}$ du DCA 3,4 dans l'intervalle 0,1 à 0,7 mg/l (Maas *et al.,* 1993).

Ó **Expérience**

Contrairement à la variante chronique (voir AT5 - fiche B1), cette technique n'est pas encore considérée comme étant une technique courante de mesure de la qualité des sédiments (Maas *et al.,* 1993). Néanmoins, cette technique est effectivement courante pour l'appréciation de produits, pour les eaux usées et de surface (ou des concentrés de ces dernières).

Cette technique aiguë a été sélectionnée comme alternative au test Thamnotoxkit F (voir AT5 – fiche A3). Il est supposé, dans ce contexte, que les deux techniques possèdent une sensibilité comparable. Une des raisons conduisant au choix du test plus onéreux, le test aigu sur daphnies, est le fait qu'on dispose pour celui-ci de beaucoup plus de données concernant la toxicité.

FICHE A5
Test aigu Rotoxkit F

Disponibilité	☞	**Durée**	;
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : Aucune. Test réalisé d'après le protocole joint au kit (Creasel, 1990a) ou d'après ASTM E 140 (ASTM, 1991).

Organismes : Brachionus calyflorus est un rotifère. Ces rotifères sont trouvés sur tous les continents et dans divers habitats aqueux. En tant qu'animaux filtreurs, les rotifères se nourrissent de phytoplancton et de bactéries. Ils sont fortement représentés dans de nombreuses communautés de vie aquatique. Leur rôle dans le cycle des substances nutritives est peut-être même plus important que celui des crustacés. A certains moments de l'année, les rotifères sont les plus représentés de la biomasse en zooplacton. En outre, les connaissances sont nombreuses en ce qui concerne la biologie de cet organisme.

Principe : le taux de mortalité des rotifères juvéniles est évalué après une exposition de 24 heures à l'eau d'extraction. Une série de dilutions de l'eau d'extraction est réalisée pour le test au moyen du médium eau douce standard livré avec le kit. Le test à blanc porte sur ce médium eau douce à 100%. La quantité d'animaux morts est décomptée après 24 heures. A partir de ces résultats, la concentration qui provoque une mortalité de 50% (LC_{50}) est estimée.

Ë Champs d'application

Test conventionnel utilisable pour l'évaluation de la toxicité de :

- matières,
- échantillons aqueux (eaux de surface, eaux usées, concentrées XAD ou non (AquaSense, 1994 ; Noij & Meerkerk, 1995)),
- sédiments (au travers de l'eau d'extraction et/ou de l'élutriat).

Le test ne convient pas pour les tests concernant des produits ou des échantillons qui présentent une forte consommation d'oxygène, qui sont très volatiles ou réactifs, ou qui s'adsorbent aux coupelles des tests.

Toxkit utilisable pour la surveillance et le contrôle des :

- eaux de surface,
- eaux usées,
- sédiments.

Ì Sensibilité

- surtout sensible aux métaux (spécifiquement au Cu et au Hg),
- aux insecticides.

Í Conditions préalables

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition aiguë de *Brachionus calyciflorus* n'est attendue, (les conditions préalables), sont mentionnées dans le tableau suivant (Botterweg, 1996 et Maas, 1995) :

pH	O_2 (mg/l)	NO_1 (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NH_3 (mg/l)	Cl- (g/l)	Conductivité (µS/mm)	Salinité (‰)
5 - 9	≥ 3	≤ 5	≤ 46	≤ 2,5	≤ 1,7	≤ 385	≤ 3

Î Réalisation

Détermination de l'eau d'extraction EC_{50} (série de dilutions)

Il est recommandé de tester les 5concentrations suivantes d'eau d'extraction : 100 (non dilué), 56, 32, 18 et 10% du volume. Cette série est préparée en diluant l'eau d'extraction obtenue avec l'eau douce standardisée contenu dans le kit.

Evaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où l'évaluation ne porte que sur une concentration d'eau d'extraction, ce test peut être réalisé selon une version modifiée de la directive jointe à ce Toxkit. Dans ce cas, l'évaluation porte exclusivement sur 12 répliques de la concentration concernée, au lieu d'une série de dilutions avec 6 répliques par concentration. Après une exposition de 24 heures, le nombre de rotifères morts est compté dans chaque réplique.

Ï Appréciation

Une fois qu'il a été vérifié que le test satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Des critères "Triade" n'ont toutefois pas encore été formulés à ce jour en la matière (Maas *et al.,* 1993). Il est proposé d'appliquer les critères suivants pour l'appréciation :

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
EC_{50} > 100 vol.% ee ou effet < 50% dans 100 vol.% ee ou pas d'effet significatif dans 100 vol.% ee	3	aucun
EC_{50} > 56 et ≤ 100 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 100 vol.% ee ou effet significatif dans 100 vol.% ee	2	moyen
EC_{50} ≤ 56 vol.% ee ou effet ≥ 50% dans 56 vol.% ee ou effet significatif dans 56 vol.% ee	1	sérieux

(* ee = eau d'extraction)

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants sont applicables lors des tests d'échantillons d'eau d'extraction non dilués et dilués:

- Les concentrations à tester doivent satisfaire aux conditions préalables ;
- Le taux de mortalité du test à blanc ne doit pas excéder 10% ;
- Dans le cas où un test de qualité est réalisé, le résultat doit de situer dans l'intervalle indiqué dans le protocole.

Ñ **Coûts**

Voir en-tête de la présente fiche.

Ò **Points d'attention**

Afin de contrôler la sensibilité du *Brachionus calyciflorus* et de contrôler la procédure du test, un test est effectué avec du dichromate de potassium comme produit de référence. Le $LC_{50,\ 24h}$ doit se situer entre 9,6 et 17,8 mg/l (Creasel, 1990b).

Ó **Expérience**

Cette technique n'est pas encore courante en tant que technique Triade (Maas *et al.,* 1993). Toutefois, cette technique a déjà été utilisée aux Pays-Bas lors de l'appréciation de sédiments pollués avec de bons résultats (voir AquaSense, 1994a, 1995, 1996a, 1996b et 1997).

GROUPE B
Evaluations biologiques chroniques

FICHE B1	**TEST CHRONIQUE SUR DAPHNIES**	**344**
FICHE B2	**TEST CHRONIQUE SUR LARVES DE MOUSTIQUES**	**348**
FICHE B3	**TEST SUR *HYDRA ATTENUATA* – 96 HEURES**	**352**
FICHE B4	**ESSAI DE REPRODUCTION DE *CERIODAPHNIA DUBIA* (7J)**	**353**
FICHE B5	**TEST SUR *BRACHIONUS CALICYFLORUS* – 48 HEURES**	**354**
FICHE B6	**TEST SUR *HYALELLA AZTECA* – 14 JOURS**	**355**
FICHE B7	**TEST D'INHIBITION DE CROISSANCE D'ALGUES D'EAU DOUCE**	**356**
FICHE B8	**TEST BACTERIEN METPLATE™**	**357**
FICHE B9	**ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE GERMINATION**	**359**
FICHE B10	**ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DE LA CROISSANCE**	**360**
FICHE B11	**ESSAIS SUR PLANTES SUPERIEURES : ESSAI D'INHIBITION DU DEVELOPPEMENT**	**362**

FICHE B1
Test chronique sur daphnies

Disponibilité	👍	**Durée**	=
Coût	😐	**Période**	toute l'année

Ê **Description générale**

Norme : NFT 90-378 (2000). Test réalisé selon les directives OECD 202 (1984) ou OECD 202 part II (1993), ou bien la méthode RIZA qui en a été tirée (Maas *et al.,* 1993).

Organismes : Daphnia magna.

Principe : Dans ce test, les daphnies sont exposées à différentes concentrations d'eau d'extraction. Les concentrations pour les tests sont préparées par dilution au moyen d'un médium eau douce standardisé qui sert également pour le test à blanc.

La durée du test est d'au moins 24 heures et celui-ci peut être arrêté lorsque le troisième couvain est complet. Au cours des évaluations biologiques, le médium est renouvelé deux fois par semaine, et la progéniture est comptée et retirée. Le dénombrement et le retrait sont également effectués une fois par semaine entre les deux renouvellements du médium. La survie des daphnies parents est contrôlée tous les jours, la reproduction éventuelle notée, et la nourriture est assurée au moyen d'une suspension d'algues vertes.

A partir de ces résultats, on détermine, à l'aide d'une méthode statistique appropriée :

- Les concentrations pour lesquelles on peut observer que le taux de reproduction commence à être significativement plus faible par rapport au test à blanc (LOEC = Lowest Observed Effect Concentration),
- Les concentrations maximales pour lesquelles le taux de reproduction n'est pas significativement différents (NOEC = No Observed Effect Concentration).

Ë **Champs d'application**

- produits,
- échantillons aqueux (eaux de surface et eaux usées),
- sédiments (au travers de l'eau d'extraction ou de l'élutriat).

Les données disponibles concernant la toxicité pour le test chronique sur les daphnies sont nettement moins abondantes que pour le test aigu sur daphnies.

Ì **Sensibilité**

- aux métaux (surtout Hg, Cu, Cd),
- aux pesticides et herbicides,
- à divers produits : organophosphore, DDT, Endrin, DDD, Hexachloro-benzène, Aldicarb, Methiocarb et Deltamethrin).

Í **Conditions préalables**

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition en laboratoire de *D. magna* n'est attendue, sont mentionnées dans le tableau suivant (Botterweg, 1996, Maas *et al.,* 1993 et Maas, 1995) :

pH	**O_2** (mg/l)	**Dureté** (mg $CaCO_1$/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4^+** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Cl-** (g/l)	**Conductivité** (µS/mm)	**Salinité** (‰)
5,5 - 9	≥ 3	≤ 1 500	≤ 48	≤ 100	≤ 3,8	≤ 3	750	≤ 1

Î **Réalisation**

Détermination du $NOEC_{reproduction}$ et du $NOEC_{mortalité}$ (série de dilutions)

De préférence, les 4 concentrations suivantes d'eau d'extraction sont testées: 100 (non dilué), 56, 32 et 10 % volume. Pour chaque concentration, 10 petits récipients sont remplis de 50 ml de médium pour les tests. Le médium Elendt est utilisé pour les tests à blanc. Une daphnie (âge < 24 heures) est introduite dans chaque récipient.

Comme mesure de la capacité de reproduction, on calcule, par concentration d'eau d'extraction, la vitesse moyenne de croissance intrinsèque (r_m) de la population (voir Maas *et al.,* 1992). Le moment de la première reproduction (première portée) et les quantités de rejetons par portée sont notamment déterminants pour ce paramètre.

Evaluation d'une seule concentration d'eau d'extraction

Dans le cas où une seule concentration d'eau d'extraction est évaluée, ce test peut être réalisé selon une version modifiée de la directive Triade (Maas *et al.,* 1993). Dans ce cas, au lieu d'évaluer une série de dilutions avec 10 répliques (avec chacune une daphnie) par concentration, on évalue exclusivement 20 répliques de la concentration concernée.

Ï **Appréciation**

Après avoir contrôle que le test réalisé satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. A cet effet, le tableau ci-dessous donne les critères disponibles pour les valeurs de $NOEC_{reproduction}$ ($NOEC_{rep}$), $NOEC_{mortalité}$ ($NOEC_{mort}$) et LC_{50} (Maas *et al.,* 1993). Pour l'appréciation de l'effet sur la reproduction (valeur r_m) dans des concentrations de test individuelle ces critères ne sont pas encore disponibles, mais il est proposé d'utiliser les critères donnés également dans le schéma :

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
$NOEC_{rep}$ ou $NOEC_{mort} \geq$ 100 vol.% ee* ou pas d'effet significatif sur r_m dans 100 vol.% ee	3	Aucun
$NOEC_{rep}$ ou $NOEC_{mort}$ < 100 vol.% ee ou pas d'effet significatif sur r_m dans 100 vol.% ee	2	moyen
$NOEC_{rep}$ ou $NOEC_{mort} \leq$ 10 vol.% ee ou effet significatif sur r_m dans 32 vol.% ee	1	sérieux

* ee = eau d'extraction

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants s'appliquent aux tests d'eaux d'extraction diluées et non diluées:

- Les concentrations pour les tests doivent satisfaire aux conditions préalables) ;
- Le taux de mortalité des parents dans le test à blanc ne doit pas excéder une moyenne de 20% (≤ 20) ;
- Les premiers rejetons doivent être nés dans les 9 jours au plus (≤ 9 jours) dans le test à blanc ;
- La moyenne du cumul des rejetons par parent après trois couvains doit être supérieur à trente (≥ 30) dans le test à blanc ;
- Le coefficient de variation (CV = écart type/moyenne) du nombre total de rejetons reproduits dans le test à blanc ne doit pas excéder 25% (≤ 25%) ;
- Lorsqu'un test de qualité a été réalisé, le résultat doit se situer dans l'intervalle indiqué dans le protocole.

Ñ **Coûts**

Voir en-tête de la présente fiche.

Ò **Points d'attention**

- Afin de contrôler la sensibilité de la *Daphnia magna*, un test aigu est réalisé périodiquement (24 ou 48 heures) avec du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) ou du DCA 3,4. La valeur du $EC_{50, 24h}$ du dichromate de potassium doit se situer dans l'intervalle 0,9 à 2,4 mg/l (ISO 6341, 1989), et celle du $EC_{50, 48h}$ du DCA 3,4 dans l'intervalle 0,1 à 0,7 mg/l (Maas *et al.,* 1993) ;

- La quantité quotidienne de nourriture à donner dépend de la qualité (teneur en carbone) des algues vertes. Etant donné que celle-ci peut varier selon les cultures en laboratoire, la teneur en carbone des algues vertes doit être analysée régulièrement. Les daphnies doivent recevoir 0,1 - 0,2 mg Carbone par jour (Maas *et al.,* 1993).

Ó **Expérience**

Aux Pays-Bas, une expérience positive a déjà été menée avec cette technique Triade courante (Maas *et al.,* 1993) pour l'appréciation de sédiments pollués de plans d'eau appartenant au patrimoine public.

FICHE B2
Test chronique sur larves de moustiques

Disponibilité	☞	**Durée**	>
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : Aucune. Test réalisé selon la méthode RIZA (Maas *et al.,* 1993).

Organismes : larves de moustiques, *Chironomus riparius.* Le *Chironomus,* vivant dans les sédiments, constitue un élément important de la nourriture des poissons et des oiseaux.

Principe : Afin d'exposer cette larve, un échantillon de sédiments est d'abord mélangé par agitation à un médium standardisé (propre) d'eau douce. Après la décantation des sédiments, les larves de moustiques élevées en laboratoire sont introduites dans l'eau qui se trouve au-dessus de ces sédiments. Les larves s'enfouissent dans les sédiments et sont ainsi exposées aux polluants.

Dans un habitat favorable, la production en termes de biomasse du *Chironomus* est élevée (20 à 50 g/m^2). Une perturbation de cette production suite à un stress toxique aboutissant à une disponibilité moindre de nourriture pour les poissons peut être très significative du point de vue écologique.

Ë Champs d'application

Le test chronique sur larves de moustiques est utilisable pour l'appréciation de la toxicité de produits, à condition qu'ils soient mélangés au sol ou au sédiment.

Ì Sensibilité

Il n'y a pratiquement pas de données disponibles concernant la toxicité pour les tests avec produits sur le *Chironomus riparius* dans les systèmes sédiments/eau. La plupart des valeurs trouvées proviennent d'évaluations biologiques en laboratoire avec plusieurs sortes de larves de moustiques (*Chironomus*, *Culex et Aedes*) et, faute de données de meilleure qualité, également d'autres insectes aquatiques (essentiellement *Pteronarcys californica* et *Cloeon dipterum*).

Il est possible d'affirmer que *C. riparius* est très sensible en particulier aux insecticides.

Í Conditions préalables

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors d'une exposition de *C. riparius* n'est attendue, sont mentionnées dans le tableau suivant (Maas *et al.,* 1993).

	pH	**O_2** (mg/l)	**Dureté** (mg $CaCO_1$/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4^+** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Cl-** (g/l)	**Conductivité** (µS/mm)
Pré-étape 0 £ t £ 7d	5 - 9	≥ 3	≤ 600	≤ 20	≤ 32	≤ 1,2	≤ 1,25	≤ 300
Sédiment/ eau 7 £ t £ 28d	5 - 9	≥ 3	≤ 600	≤ 20	≤ 32	≤ 1,2	≤ 5,5	≤ 1200

Î Réalisation

Pour ce test, les sédiments nécessaires sont tamisés à 500 µm. Un mélange (500 ml) est préparé à partir de ces sédiments composé d'1 volume de sédiments et de 4 volumes d'eau standard. Après 24 heures d'agitation, ce mélange est versé dans 4 récipients (4 x 50 ml). Les 300 ml restant, décantent pendant 3 jours et sont versés dans 3 petits récipients de 100 ml.

Des œufs de Chironomus riparius (âge ≤ 2 jours) sont introduits dans chacun de ces récipients. On observe après 4 jours si les œufs ont éclos. On nourrit alors les jeunes larves avec une solution à 2% de Trouvit. Au bout de 7 jours, on retire des individus du 2è stade larvaire. On introduit 25 de ces larves dans chaque récipient contenant le mélange sédiment. On aère avec précaution l'eau en surface dans les récipients trois fois par semaine.

Au bout de 28 jours, (soit 21 jours dans le système sédiments/eau), les larves sont égouttées avec précaution sur un tamis de 250 µm et comptées. On détermine ensuite le poids sec de toutes les larves qui sont au 4è stade (L4). On en déduit le poids sec moyen d'une larve L4.

Outre les échantillons de sédiments pollués à évaluer, il convient pour chaque type de sédiments testés (vase, sable ou tourbe) de tester simultanément des échantillons de référence appropriés, provenant de préférence du même lieu.

On teste :

- La mortalité ;
- Le développement larvaire ;
- Le poids à sec des larves L4.

Ï **Appréciation**

Après avoir contrôlé que le test effectué satisfait aux critères de validité, les résultats du test peuvent être appréciés. Les critères "Triade" du schéma ci-dessous peuvent être utilisés (Maas *et al.,* 1993) :

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
≤10% mortalité ou ≤ 10% dans stades L2, L3 ou morts ou < 10% différence poids à sec par rapport à référence	3	aucun
> 10% mortalité (et significatif) ou > 10% dans stades L2, L3 ou morts (et significatif) ou > 10% différence poids à sec par rapport à référence (et significatif)	2	moyen
≥ 50% mortalité (et significatif) ou ≥ 50% au stade L2, L3 ou morts (et significatif) ou ≥ 20% différence poids à sec par rapport à référence (et significatif)	1	sérieux

Ð **Critères de validité**

Les critères de validité suivants sont applicables :

- Les conditions préalables doivent être satisfaites;
- Le taux de mortalité des larves dans le système sédiments/eau de la référence ne doit pas excéder 10% (≤ 10);
- Plus de 80% des larves survivantes dans les sédiments de références doivent avoir atteint le stade L4 ou plus (chrysalide ou envolé);
- Le poids moyen à sec par larve L4 doit être au moins de 0,3 mg (> 0,3) dans les sédiments de référence.

Ñ **Coûts**

Ce test n'est pas disponible dans le commerce sous la forme de kit, mais il est produit aux Pays-Bas et en France sous forme commerciale par plusieurs organismes.

Ò **Points d'attention**

- Afin de contrôler la sensibilité du *Chironomus riparius*, un test aigu est réalisé périodiquement (96 heures) où des larves L2 sont exposées au dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) ou au DCA 3,4.

- La valeur du LC_{50} du dichromate de potassium doit se situer dans l'intervalle 20 à 75 mg/l, et celle du DCA 3,4 dans l'intervalle 4 à 12,5 mg/l (Maas *et al.,* 1993).

Ó **Expérience**

Aux Pays-Bas, une expérience positive a déjà été menée avec cette technique Triade courante (Maas *et al.,* 1993) pour l'appréciation de sédiments pollués de plans d'eau appartenant au patrimoine public.

FICHE B3
Test sur *Hydra attenuata* – 96 heures

Disponibilité	👎	**Durée**	=
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Milieu d'essai	Canada ou US EPA (Medium Hard Water)
Nombre de concentrations	Minimum 7 plus 1 lot témoin
Récipients d'essai	Microplaques
Nombre de répétitions	3 puits par concentration
Volume de solution par récipient	4 ml
Nombre d'animaux	3 par récipient (soit 9 par concentration)
Age des animaux	indéterminé
Aération	Aucune
Lumière	Aucune
Nourriture	Aucune
Température d'essai	20 ± 1 °C
Durée de l'essai	96 heures (lecture chaque 24 heures)
Critères mesurés	4 stades d'intoxication
Effet calculé	Concentration Létale 50 % en 96 heures
Critères de validité	Mortalité inférieure à 10% dans les témoins
Normes de référence :	Environnement Canada Méthode CPQ 404 E 0 (22 mai 1996)

FICHE B4
Essai de reproduction de *Ceriodaphnia dubia – 7 j*

Disponibilité	👍	**Durée**	>
Coût	☹	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : NFT 90-376 (2000).

Organismes : Ceriodaphnia dubia.

Principe : Dans ce test, les ceriodaphnies sont exposées à différentes concentrations d'eau d'extraction. Les concentrations pour les tests sont préparées par dilution au moyen d'un milieu d' eau douce standardisé qui sert également pour le test à blanc.

A partir de ces résultats, on détermine, à l'aide d'une méthode statistique appropriée la concentration inhibitrice 50% de la croissance de la population

Ë Champs d'application

- produits,
- échantillons aqueux (eaux de surface et eaux usées),
- sédiments (au travers de l'eau d'extraction ou de l'élutriat).

Les données disponibles concernant la toxicité pour le test chronique sur les daphnies sont nettement moins abondantes que pour le test aigu sur daphnies.

FICHE B5
Test sur *Brachionus calicyflorus – 48 heures*

Disponibilité	👍	**Durée**	<
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Milieu d'essai	US EPA (Medium Hard Water)
Nombre de concentrations	Minimum 5 plus 1 lot témoin
Récipients d'essai	Microplaques
Nombre de répétitions	8 puits par concentration
Volume de solution par récipient	1 ml
Nombre d'animaux	1 par récipient (soit 8 par concentration)
Age des animaux	inférieur à 2 heures en début d'essai
Aération	Aucune
Lumière	Aucune
Nourriture	Chlorella vulgalis en début d'essai
Température d'essai	25 ± 1°C
Durée de l'essai	48 heures
Critères mesurés	Mortalité, nombre d'organismes nés
Effet calculé	Concentration Inhibitrice 50 % de la croissance de la population
Critères de validité	Mortalité du lot témoin < 10% en 48 Heures, taux de reproduction moyen des témoins supérieur à 4 à la fin de l'essai.
Normes de référence :	AFNORT 90-377
Document associé :	Rotoxkit F Chronic ; Standard Operational Procedure

FICHE B6
Test sur *Hyalella azteca - 14 jours*

Disponibilité	☞	**Durée**	>
Coût	☹	**Période**	toute l'année

Milieu d'essai	Canada ou US EPA (Medium Hard Water)
Nombre de concentrations	1 plus 1 lot témoin
Récipients d'essai	Bécher de 400 ml
Nombre de répétitions	7
Volume de sédiment par récipient	110 ml
Volume de milieu d'essai	440 ml
Nombre d'animaux	10 par récipient (soit 100 par essai)
Age des animaux	2 à 9 jours en début d'essai
Aération	bullage si O_2 dissous < 5 mg/l
Lumière	500 à 1 000 lux 16h par jour
Nourriture	1 ml d'une suspension de Sera Goldi à 4 g/l
Température d'essai	21 ± 1°C
Durée de l'essai	14 jours
Critères mesurés	% de survie et longueur à 14 jours
Critères de validité	Survie des témoins < 80%
Normes de référence :	Environnement Canada Méthode CPQ 404 E 0 (22 mai 1996

FICHE B7
Test d'inhibition de croissance d'algues d'eau douce

Disponibilité	☞	**Durée**	=
Coût	☹	**Période**	toute l'année

Description

Norme : test miniaturisé inspiré des conditions de la norme T 90-304.

Organismes : micro-algues de pleine eau, *Chlorella vulgaris*.

Principes : Ce test est pratiqué sur plaques de microtitration 96 puits. Le milieu d'étude est introduit dans les puits à différentes dilutions. Les algues sont directement inoculées et les plaques sont maintenues dans des conditions de culture standards. L'absorbance à 665 nm des suspensions cellulaires est directement déterminée dans chaque puits au bout de 5 jours, par un lecteur de microplaques. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition de croissance par rapport aux témoins réalisés dans les conditions de l'essai.

La miniaturisation du test présente l'intérêt de la réalisation d'un grand nombre de réplicats (huit par condition).

Réalisation

Les échantillons testés sont filtrés sur membrane Minisart d'acétate de cellulose 0,22 µm et dilués d'un facteur 2, 5, 10, 50 et 100 dans du milieu de culture. Ils sont répartis à raison de 8 réplicats et d'un volume de 300 µl sur plaques de microtitration de type Costar 96 puits.

30 µl d'une suspension cellulaire de *Chlorella vulgaris* en début de phase exponentielle de 105 cellules /ml sont inoculés dans chaque puits. Huit témoins sont réalisés par inoculation de la suspension algale dans du milieu de culture à la même concentration que dans les essais. Un étalon interne avec du dichromate de potassium est réalisé.

Les plaques sont maintenues sous agitation à 20°C et exposées à une intensité lumineuse de 3 000 lux avec une photopériode de 16 heures d'éclairement et 8 heures d'obscurité.

Au bout de 5 jours dans ces conditions l'absorbance à 665 nm du contenu de chaque puits est déterminée au moyen d'un lecteur de microplaque BMG Fluostar.

Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition par rapport aux valeurs de l'absorbance des témoins obtenues au bout de 5 jours.

FICHE B8
Test bactérien MetPLATE™

Disponibilité	👍	**Durée**	<
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

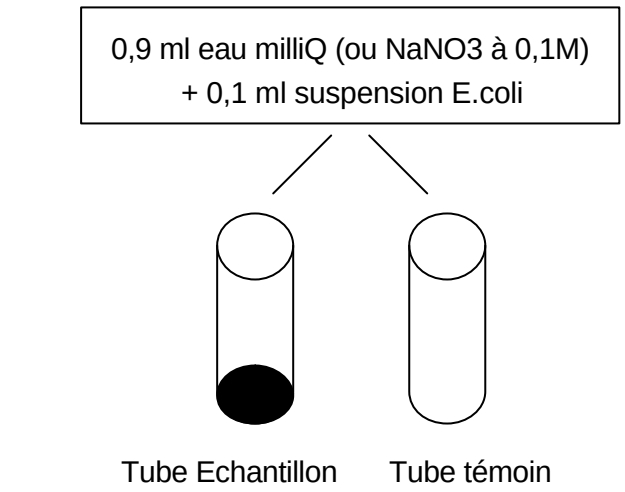
Norme : Aucune.

Organismes : bactérie *Escherichia coli*.

Principe : Ce test est basé sur l'inhibition de l'activité de l'enzyme ß-galactosidase d'une souche mutante de la bactérie *Escherichia coli.* Le test est fourni en kit (bactéries lyophilisées) et se déroule selon le protocole de la figure 1.

Le principe du test est un dosage quantitatif du produit de la lyse enzymatique du CRPG (de couleur jaune) qui est le chlorophenol rouge, dosable à 575 nm : la couleur rouge se développe si il n'y a pas d'inhibition de l'activité ß-galactosidase (la couleur jaune traduisant une absence d'enzyme ß-galactosidase ou inhibition totale). Une série de blancs (échantillons stériles) et de témoins (témoin positif, obtenu en absence d'inhibition) permet d'éliminer toutes interférences expérimentales.

Réalisation



E : échantillon à tester
(plusieurs dilutions sont à prévoir)

Incubation 1 h 30 à 35°C

0,5 ml de CRPG tamponné pH 7,5

CRPG : substrat de la ß-Gal
(chlorophenol rouge
ß-galactopyranoside)

Incubation 2-3 h jusqu'à apparition de la couleur rouge

Lecture en fluorimétrie à 575 nm

Avec DO.E : densité optique de E
DO.T : densité optique de T

Calcul du % d'inhibition : ((DO.T – DO.E) / DO.T) * 100

Figure 1 : Protocole simplifié pour l'utilisation du MetPLATE.

Expression des résultats

Les résultats sont fournis en pourcentage d'inhibition.

FICHE B9
Essai sur plantes supérieures : Essai d'inhibition de germination

Disponibilité	👍	**Durée**	>
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

Normes : AFNOR X31-201 ; 150 11269-2

Organismes :
- chou chinois (*Brassica campestris* L. var. *chinensis),*
- maïs (*Zea mays* Linnaeus),
- ray-grass (*Lolium perenne* Linnaeus).

Principe : Il s'agit de dénombrer les graines germées et de mesurer la masse fraîche des graines.

Ce test est intéressant par sa rapidité. De plus il y a deux types de témoin (eau et $HgCl_2$) permettant de vérifier si on est dans les bonnes conditions de germination.

Par contre la manipulation des graines est difficile et une vérification par binoculaire est nécessaire.

Réalisation

Contrairement à ce que prévoit le norme AFNOR X31-201 et lSO 11269-2, le test est réalisé sans procéder à une dilution des eaux d'égouttage de façon à évaluer l'effet réel des eaux brutes issues du dépôt. Ainsi, des récipients en verre sont remplis avec 100 g de sable de fontainebleau séché à 103°C, auparavant lavé aux acides et rincé à l'eau. Puis ce sable sec est imbibé par pulvérisation jusqu'à obtention de 20% d'humidité. Pour chaque plante testée, un témoin est réalisé par pulvérisation du sable avec de l'eau distillée ainsi qu'un lot imbibé par du chlorure de mercure (à 0,25 mM afin d'obtenir la concentration inhibitrice à 50% du ray-grass). Chaque plante comporte ainsi 5 séries de germination en triplicat en présence donc d'eau distillée, des eaux d'égouttage ainsi que de $HgCl_2$. Chaque récipient comporte un couvercle afin d'éviter l'évaporation et maintenir l'humidité constante. Ces essais sont réalisés en chambre de culture à 21°C, sous tube fluorescent à spectre visible comme cela est décrit dans les normes citées précédemment. Le dénombrement a lieu au bout de 7 jours maximum sous réserve que le témoin présente une germination correcte. Les semences et leur nombre retenus sont : 50 pour le chou chinois (*Brassica campestris* L. var. *chinensis),* 25 pour le maïs (*Zea mays* Linnaeus) et 50 pour le ray-grass (*Lolium perenne* Linnaeus) selon les recommandations de la norme AFNOR X31-201 et ISO 11269-2. Sur chaque test le dénombrement des graines non germées est réalisé ainsi que la mesure de la masse fraîche du lot de graine testé.

FICHE B10
Essai sur plantes supérieures : Essai d'inhibition de la croissance

Disponibilité	👍	**Durée**	>
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

Norme : AFNOR X31-202, ISO 11269-2, normes adaptées à l'étude d'eaux d'égouttage, en ce qui concerne le choix du sol pour la culture en pot.

Organismes :
- navet (*Brassica rapa* Linnaeus) : 25 graines,
- maïs *(Zea* maysLinnaeus) : 15 graines,
- ray-grass (*Lolium perenne* Linnaeus) : 25 graines,
- haricot *(Phaseolus vulgarisLinnaeus)* : 15 graines.

Principe : Il s'agit de suivre les paramètres suivants : longueurs parties aériennes et racinaires ; rapport (parties racinaires/parties aériennes) ; mesure de la masse fraîche par plant ; mesure de la masse sèche.

Ce test permet de tester plusieurs espèces bien distinctes et d'avoir des paramètres de croissance et un bon état de développement de la plante.

En revanche, la durée de culture est plus longue et les variations par espèces sont très différentes.

Réalisation

Les plantes employées sont choisies selon les trois groupes décrits dans la norme X31-202 :

Groupe 1 : le ray-gras (*Lolium perenne* Linnaeus)

Groupe 2 : le navet *(Brassica* rapa Linnaeus)

Groupe 3 : le haricot *(Phaseolus vulgaris* Linnaeus)

mais on peut aussi mener cette expérimentation sur le maïs *(Zea* mays Linnaeus).

Chaque lot de graines est déposé dans des pots horticoles contenant une couche drainante constituée de billes (Ø 10mm ; lavées à l'acide, rincées à l'eau distillée puis séchées) ainsi que 300 g de sol préalablement humecté à 2/3 de l'humidité minimum à l'infiltration avec de l'eau distillée ou des eaux d'égouttage. L'humidité minimum à l'infiltration correspond au volume d'eau pour 100 g de sol au-dessus duquel ce sol n'absorbe plus d'eau.

Chaque série d'essai est réalisée en triplicat pour chaque eau testée. Il convient de noter que l'eau distillée employée pour la réalisation des témoins est de l'eau distillée saturée en CO_2 par contact prolongé avec l'air ambiant afin de mimer au mieux l'eau de pluie arrivant sur ces plantes. Ces pots sont mis en chambre climatique à 21°C avec un éclairage et une photopériode identique.

L'humectation à la pipette des pots a lieu de façon régulière afin de maintenir le sol à son humidité de départ. Les plants sont récoltés au bout de 14 jours et les mesures de la longueur des parties aériennes et racinaires de chaque plant sont effectuées ainsi que les mesures de la masse fraîche et de la masse sèche de chaque partie de ces plantes.

FICHE B11
Essai sur plantes supérieures : Essai d'inhibition du développement

Disponibilité	☞	**Durée**	>
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

Norme : Aucune. Test réalisé selon le protocole de Marseille F. *et al.* (2000).

Organismes : - maïs *(Zea mays* Linnaeus),
- ray-grass (*Lolium perenne* Linnaeus).

Principe : Dans cet essai, on suit la croissance (longueur, masse fraîche et sèche) de plantes en stade de croissance établie. On fait ainsi croître des plants de maïs et de ray-grass durant 21 jours en le maintenant à un certain taux d'humidité.

Ce test se propose de suivre les paramètres suivants : longueurs des parties aériennes et racinaires ; rapport (parties racinaires/parties aériennes) ; mesure de la masse fraîche par plant ; mesure de la masse sèche.

Réalisation

Durant 21 jours, les plants croient sur un sol déterminé dont un certain taux d'humidité est maintenu par de l'eau « de pluie ». Puis à partir de J21, on humecte le sol, soit pour le témoin toujours avec cette eau de « pluie », soit avec les eaux d'égouttage et ceci pendant de nouveau 21 jours.

Au final, les plantes sont donc âgées de 42 jours mais avec, pour certaines plantes, la moitié de ce temps en présence des eaux d'égouttage issues des sédiments retenus. Des pots horticoles sont utilisés contenant une surface drainante de billes au fond avec 1 300 g et 2 750 g de sol avec 15 et 25 graines respectivement pour le maïs et le ray-grass. Ces pots sont placés dans les mêmes conditions de culture que pour l'essai sur l'inhibition de la croissance (cf. AT5 fiche B10).

GROUPE C
Tests de génotoxicité

FICHE C1 **TEST DE GENOTOXICITE : TEST MICRONOYAU XENOPE** **364**

FICHE C2 **TEST DE GENOTOXICITE : TEST DES COMETES EN CONDITIONS ALCALINES** **367**

FICHE C1
Test de génotoxicité :
Test micronoyau xénope

Disponibilité	👍	**Durée**	>
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

Norme : NFT90-325 (2000), adapté du test Jaylet ou test micronoyau triton AFNOR T 90-325 (1992), par Zoll en 1991.

Organismes : le xénope, amphibien anoure (*Xenopus laevis*), est originaire d'Afrique du sud. Ce crapaud vit en permanence dans l'eau. Il atteint sa maturité sexuelle un peu avant deux ans.

Principe : le test micronoyau sur xénope est un test *in vivo*, dont le but est d'évaluer le potentiel toxique et génotoxique de substances ou de mélanges de substances solubles ou en microsuspension.

Le têtard de xénope (*Xenopus laevis*) possède des globules rouges nucléés se divisant activement dans le sang circulant. Il a été montré que les agents génotoxiques provoquent la formation de micronoyaux bien visibles dans les globules rouges d'Amphibien : le pleurodèle (Siboulet *et al*, 1984 ; Jaylet *et al*, 1986 a) et l'axolotl (Jaylet *et al*, 1986). Il en est de même pour les érythrocytes du têtard de xénope (Van Hummelen *et al*, 1989 ; ZollMoreux, C., 1991).

Les micronoyaux sont de petites masses de chromatine ayant l'apparence de petits noyaux. Il s'agit de fragments de chromosomes ou de chromosomes entiers. Les micronoyaux se forment à la suite :

- de cassures chromosomiques,
- d'une altération de la structure et/ou du fonctionnement de l'appareil mitotique : des chromosomes entiers sont susceptibles, dans ce cas, de ne pas migrer correctement lors de la mitose.

Une substance provoquant la formation de micronoyaux peut, de ce fait, correspondre à un agent clastogène ou à un poison fusorial.

Dans les conditions habituelles d'élevage, le taux spontané de globules rouges à micronoyaux est très faible, (en général inférieur à 2 pour 1 000 chez le têtard de xénope).

La comparaison du taux de globules rouges à micronoyaux entre animaux témoins et animaux traités permet de juger de la génotoxicité de la substance ou du milieu testés.

Réalisation

Le protocole AFNOR de 1992 prévoit deux étapes successives :

- un essai préliminaire ou test de toxicité,
- et un essai définitif ou test de génotoxicité.

Pour l'essai préliminaire, une gamme de dilution est réalisée à partir d'une solution mère de la substance à l'essai ou à partir d'un échantillon brut du milieu à tester. Pour chaque dilution, 10 animaux évoluent dans 1 litre de milieu à tester. Cet essai de toxicité dure 6 jours. Chaque jour et pour chacun des lots, le nombre de morts et les éventuels signes d'intoxication sont relevés :

- mortalité,
- intoxication (anémie, croissance altérée, absence de prise de nourriture, comportement anormal),
- non intoxication des larves.

Ce test est conduit à 22 ± 1°C, le milieu et la nourriture étant renouvelés toutes les 24h. Il permet de déterminer la concentration maximale (CM) non létale à utiliser dans le test de génotoxicité. Cette CM correspond à la moitié de la plus forte concentration n'ayant pas entraîné de signes évidents de toxicité.

Les essais définitifs sont pratiqués en erlenmeyers de 5 litres (bouchés par du parafilm recouvert d'une feuille d'aluminium) contenant 1,5 litres du milieu à tester et 15 larves. Pendant les 12 jours de traitement, milieu et nourriture sont renouvelés quotidiennement. Le changement de milieu est effectué, comme pour l'essai préliminaire, par l'intermédiaire d'une trompe à vide, sous hotte aspirante. Les essais sont réalisés dans des enceintes thermostatées (22 ± 1°C), les larves étant soumises à une lumière naturelle atténuée.

Le lot témoin négatif (T -) évolue dans de l'eau "reconstituée" : eau osmosée à laquelle sont ajoutés des sels minéraux. Cette eau reconstituée nécessaire pour changer les milieux est préparée chaque jour. Par ailleurs, l'utilisation de cette eau standardisée (AFNOR, 1997) permet d'éliminer un élément de variation qui pourrait résulter d'une interférence entre les substances à l'étude et les matières organiques ou inorganiques contenues dans une eau simplement filtrée. Cette eau est aussi utilisée pour faire les dilutions de la substance ou du mélange testé.

Le lot témoin positif (T+) évolue dans de l'eau reconstituée additionnée de benzo(a)pyrène ou B(a)P, substance appartenant au groupe II A des cancérogènes possibles pour l'homme (C.I.R.C. 1995). Ce dernier a été choisi comme substance de référence à la concentration de 0,125 mg/L (Bekaert, C. 1995).

Dans le présent travail, une modification a été apportée au protocole AFNOR 1992 quant à l'articulation de l'essai préliminaire de toxicité aiguë et l'essai de génotoxicité. Ces deux phases ont été confondues en une seule.

Cette méthodologie présente par rapport au protocole initial plusieurs avantages :

- réduction du temps de stockage des échantillons en chambre froide et donc réduction du risque d'altération des caractéristiques physico-chimiques,
- sensibilité des animaux aux toxiques et génotoxiques homogène puisqu'une seule et même ponte est utilisée pour les deux types d'évaluation.

A la fin du test, les têtards de xénope sont anesthésiés par immersion dans une solution de tricaïne méthane sulfonate (MS 222, Sandoz) à 0,2 g/L. La ponction intracardiaque est réalisée sous loupe binoculaire. La peau est incisée à l'aide de pinces fines de façon à dégager le muscle cardiaque. Le sang est prélevé à l'aide d'une micropipette de 100 µm de diamètre. Le cœur en se contractant permet au sang de monter dans la micropipette par capillarité. Le sang prélevé est déposé à l'extrémité d'une lame histologique dégraissée. Les frottis sont immédiatement séchés à l'air.

Les étalements sanguins sont fixés au méthanol pendant 10 mn (ainsi fixés, ils peuvent être conservés pendant plusieurs mois à l'abri de la poussière et de la lumière). Les frottis sont ensuite colorés à l'hématoxyline de Groat préalablement filtrée. Les lames sont immergées 30 mn dans l'hématoxyline puis rincées à l'eau courante pendant 10 mn. Elles sont ensuite séchées avant observation.

La lecture des frottis sanguins est réalisée à l'objectif à immersion (x100). Les globules rouges à micronoyaux sont dénombrés en examinant 1000 globules rouges par lame. Pour chaque larve, on détermine ainsi le taux de globules rouges présentant un, deux, trois et davantage de micronoyaux.

Expression des résultats

Pour chacun des lots, les résultats (taux pour mille de globules rouges à micronoyaux) correspondant aux différents animaux, sont regroupés dans un tableau et classés par ordre croissant des valeurs. A partir des données classées, on extrait donc ces cinq valeurs fondamentales, caractéristiques de l'échantillon :

- les **deux valeurs extrêmes** : la plus forte des valeurs obtenues correspond à l'extrême supérieur et la plus faible à l'extrême inférieur,
- la **médiane** correspond, pour un lot comportant un nombre impair de valeurs, à la valeur située à mi-chemin des extrêmes ; pour un lot comportant un nombre pair de valeurs, à la moyenne des deux valeurs situées à mi-chemin des extrêmes,
- les **deux quartiles** : le quartile supérieur correspond à la valeur située à mi-chemin entre la médiane et l'extrême supérieur, et le quartile inférieur à la valeur située à mi-chemin entre la médiane et l'extrême inférieur.

Grâce à ces valeurs, on détermine alors statistiquement la différence entre la médiane des lots traités et celle des lots témoins (attention: les valeurs n'obéissent pas à la Loi Normale).

De plus, on doit observer une différence significative entre le lot témoin négatif (eau reconstituée) et le témoin positif (B(a)P à 0,1 mg/l) pour que l'essai soit validé.

FICHE C2
Test de génotoxicité :
Test des comètes en conditions alcalines

Disponibilité	👎	**Durée**	<
Coût	n.c.	**Période**	toute l'année

Description

Norme : Aucune. Adapté du protocole décrit par Singh et al. (1988).

Organismes : Limnées.

Principe : l'essai des comètes est réalisé sur des hémocytes de limnées exposées en microcosmes aux boues de dragage de canaux suivant le protocole de Singh et al. (1988). Les hémocytes (de 50 à 100 µl) sont récupérés par stimulation du muscle du pied de la limnée puis aspiration à l'aide d'une micropipette (Rigot, 1997).

Réalisation

Des lames de microscope sont immergées dans de l'agarose normal à 37°C préparé dans du tampon phosphate (PBS, 0.8% concentration finale) puis laissées une nuit à température ambiante pour polymérisation. On dépose ensuite 75 µl d'un mélange à volume égal d'agarose à 37 °C (agarose bas point de fusion à 1% dans le PBS) et de la suspension d'hémocytes diluée dans le PBS afin d'obtenir une concentration finale d'hémocytes d'environ $5x10^4$ cellules par lame.

Après application d'une lamelle, les lames sont placées sur un lit de glace durant 5 min pour assurer la polymérisation du gel. Les lamelles sont ensuite enlevées et une troisième couche d'agarose à 37°C (agarose bas point de fusion à 0,5% dans le PBS) est déposée sur les lames. Puis on ajoute à nouveau une lamelle et les lames sont placées durant 5 min à 0°C. Après avoir ôté les lamelles, les lames sont immergées délicatement durant une heure dans une solution de lyse préparée extemporanément (2,5M NaCl, O,1M EDTA, 0,01M Tris, pH 10) à laquelle sont ajoutés 3 ml de Triton X-100 et 30 ml de DMSO pour 270 ml de solution de lyse. La lyse et les étapes suivantes sont réalisées sous lumière inactinique à 20 °C.

Après l'étape de lyse les lames sont transférées durant 20 min dans une cuve d'électrophorèse horizontale contenant un tampon préparé extemporanément (0,3M Na OH, 1mM EDTA, pH> 13), permettant le déroulement de l'ADN par rupture des liaisons hydrogène. Les lames sont ensuite soumises à une électrophorèse durant 24 min (20V, 300mA).

Après électrophorèse les lames sont immergées durant 10 min dans un tampon de neutralisation (0,4 M Tris-HCl, pH 7,5). Les lames sont alors égouttées puis fixées dans l'éthanol absolu durant 10 min avant stockage au sec jusqu'à leur analyse.

Pour l'analyse microscopique les lames sont marquées au bromure d'éthidium 0,05 mM (50 µl par lame). Deux lames sont préparées par prélèvement d'hémocytes. Les observations sont réalisées avec un microscope à épifluorescence (Axioskop, Zeiss) équipé d'un filtre d'excitation de 515-560 nm et un filtre de barrière de 590 nm couplé à une caméra noir et blanc CCD haute sensibilité (Hitachi) et un microordinateur utilisant le programme d'analyse d'images Komet 3.1 (Kinetic Imaging Ltd).

Expression des résultats

Les dommages à l'ADN sont quantifiés par le tail moment exprimé en µm qui est égal au produit de la quantité d'ADN dans la queue de la comète par sa longueur, et qui est mesuré sur 50 noyaux par lame.

Après transformation logarithmique pour assurer la normalité de la distribution (test Chi^2) et tester l'homogénéité de la variance (test de Levene), les moyennes des valeurs du tail moment correspondant aux limnées exposées aux boues de curage sont comparées à celles des lots témoins (test t de Student).

FICHE D
Test d'accumulation biologique Oligochètes

Disponibilité	👎	**Durée**	>
Coût	☹	**Période**	toute l'année

Ê Description générale

Norme : Aucune. Test réalisé selon la méthode RIZA (Maas *et al.,* 1993).

Organismes : oligochètes, que l'on obtient dans le commerce courant (aquariums). Les oligochètes constituent, dans plusieurs habitats, le groupe d'animaux le plus important. Les espèces ayant un temps de développement court parviennent à une production de biomasse (très) forte malgré une biomasse faible par individu. Les oligochètes constituent dans divers milieux un chaînon important dans la production de matière animale (Verdonschot, 1979).

Cette espèce est écologiquement pertinente, elle existe en Europe et aux Etats-Unis, elle habite plusieurs types de sédiments (vase ou sable, de 2 à 60 m de profondeur, dans des eaux stagnantes, des rivières, des lacs, des étangs et des marais), elle tolère les variations de température, d'oxygène et de pH, et de plus, il existe déjà pour cette espèce un protocole standardisé pour la réalisation de tests (aigus) de toxicité.

Principe : Le sédiment est tout d'abord mélangé par agitation avec un médium d'eau standardisé. Après décantation, on introduit les oligochètes dans le système sédiments/eau. Les oligochètes s'enfouissent ensuite dans les sédiments et sont exposés ainsi pendant 28 jours aux pollutions.

Les concentrations de produits toxiques accumulés dans les organismes sont déterminées aussi bien au début du test (organismes non encore exposés) qu'à la fin. La teneur dans l'organisme est divisé par la teneur dans le sédiment. On calcule de cette manière les "facteurs d'accumulation biota-sédiment" (BSAF). Les BSAF mesurés sont comparés aux prédictions BSAF sur la base de la théorie des partitions en équilibre.

En outre, les teneurs internes de certains produits sont comparées avec les critères MTR disponibles (MTR = Risque Maximum Admissible). Lorsque ces critères sont dépassés, il y a un risque d'empoisonnement dans la chaîne alimentaire.

Il convient toutefois d'insister sur le fait qu'il ne s'agit ici que d'une *estimation* du risque, car il est difficile de savoir si, et en quelle quantité, les oligochètes sont effectivement consommés.

Ë Champs d'application

Le test d'accumulation biologique est utilisable pour l'appréciation de sédiments et de produits, à condition qu'ils soient mélangés au sol ou au sédiment.

Ì **Sensibilité**

- La sensibilité de cette technique est égale au seuil chimique de détection des produits concernés.
- Il est possible qu'à l'issue du test d'accumulation biologique la biomasse disponible soit insuffisante pour la réalisation des analyses chimiques souhaitées ou pour la mise en œuvre d'un seuil de détection suffisamment bas.

Í **Conditions préalables**

Les valeurs d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour lesquelles aucune influence sur le résultat final lors du test d'accumulation biologique sur les oligochètes n'est attendue, sont mentionnées dans le tableau suivant (Maas *et al.,* 1993).

pH	**O_2** (mg/l)	**NO_2** (mg/l)	**NH_4^+** (mg/l)	**NH_3** (mg/l)	**Cl-** (g/l)	**Conductivité** (µS/mm)
5 - 9	≥ 0	inconnu	≤ 110	≤ 1,3	≤ 35	≤ 750

Î **Réalisation**

Les sédiments sont tamisés à 500 µm. Un mélange est préparé à partir de ces sédiments composé d'1 volume de sédiments et de 4 volumes d'eau standard. Ce mélange est agité pendant 24 heures. Après agitation, le mélange est versé préférablement dans deux aquariums en verre (répliques) de 5 litres.

Après décantation, une masse d'environ 20 grammes d'oligochètes vivants (poids humide) est introduite dans chaque aquarium. Une même masse d'oligochètes est simultanément congelée pour les besoins de la détermination des concentrations de produits dans les oligochètes au début du test (matériel de départ).

Les animaux sont nourris 3 fois au cours de ce conditionnement en ajoutant à chaque fois 10 ml d'une suspension de Trouvit à 10% pour 150 g (poids humide) d'oligochètes. Un jour avant leur utilisation dans le test, les oligochètes sont transférés dans un récipient propre afin de vider le contenu de leur système digestif.

Afin de recueillir les oligochètes testés, le contenu des récipients est passé sur un tamis de 300 µm avec de l'eau du robinet. La masse d'oligochètes retenue par le tamis est tamisée une deuxième fois sur un double tamis de 500 et de 300 µm, ce qui donne lieu à un nettoyage supplémentaire des oligochètes. La masse d'oligochètes exposés est ensuite congelée.

Le matériel de départ, et le matériel exposé pendant 28 jours sont ensuite lyophilisés. Les paramètres suivants sont analysés de préférence et exprimés en mg/kg de matières sèches (congelées) :

- Métaux : Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As et Hg ;
- HAP : 16 d'EPA ;
- PCB : 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180 ;
- OCB (entre autres DDY et HCB).

Sur la base des résultats des analyses chimiques, on calcule les facteurs d'accumulation (BSAF), pour les matières toxiques présentant une augmentation nette en teneur (≥ 30%) par rapport à la situation de départ.

En ce qui concerne les métaux, œux-ci sont calculés comme le rapport entre les teneurs dans les oligochètes et dans les sédiments (toutes deux sur la base du poids à sec). En ce qui concerne les pollutions micro-organiques, ils sont calculés comme le rapport entre les teneurs dans les oligochètes sur la base des lipides, et la teneur dans les sédiments sur la base du carbone organique.

Ï **Appréciation**

Pour l'appréciation de la disponibilité biologique de produits sur la base des résultats des tests d'accumulation biologique, on peut utiliser les critères suivants (communication de P. den Besten, RIZA dans AquaSense, 1997) :

Critères	Appréciation de la disponibilité biologique
G/V <1	pas d'augmentation
1 ≤ G/V < 10	augmentation
G/V ≥ 10	forte augmentation

où
G = Facteur d'Accumulation (BSAF) ;
V = Prédiction BSAF sur la base de la théorie des partitions en équilibre.

Des critères MTR sont disponibles pour un certain nombre de produits (Den Besten, 1996). Lorsque ces critères sont dépassés, il existe, pour le produit concerné, un risque d'empoisonnement en chaîne (dans ce cas pour les prédateurs). Ces critères sont (PF = poids des organismes frais) :

Produit	**Hg**	**Cd**	**PCB-153***	**Hepta chlore**	**Trans-Epoxyde Hepta chlore**	**p,p-DDE**	**p,p-DDD**
Critère (mg/kg PF)	0,01	0,01	0,011	0,125	0,300	0,021	0,015
Produit	**o,p-DDT**	**p,p-DDT**	**beta-HCH**	**gamma-HCH**	**HCB**	**Di-eldrine**	**Endrine**
Critère (mg/kg PF)	0,693	0,029	8,700	0,022	0,069	0,039	0,018

***** PCB-153 comme produit-guide pour les PCB ayant une action de type dioxine (indicateur pour les équivalents TCDD).

Ð **Critères de validité**

Pour ce test, le critère de validité exige que les conditions préalables soient satisfaites.

Ñ **Coûts**

Voir en-tête de la présente fiche.

Ò **Points d'attention**

- Il est possible que pour certains des produits, la teneur dans les oligochètes soit plus grande au début du test qu'à la fin. Ceci signifie que les oligochètes ont perdu une partie des produits et/ou que ces produits se sont dilués dans les organismes. Ce processus est nommé dilution de croissance.

  Il est très difficile de se prononcer sur la disponibilité biologique et/ou sur les risques éventuels d'empoisonnement en chaîne en ce qui concerne ces produits. C'est pourquoi seuls les produits pour lesquels on observe une augmentation nette de leur teneur (≥ 30%) par rapport à la situation de départ font l'objet d'une appréciation plus avancée (AquaSense, 1997).

- Il est possible qu'une quantité insuffisante de biomasse soit disponible à la fin du test d'accumulation biologique pour la réalisation des analyses chimiques souhaitées ou pour la mise en œuvre d'un seuil de détection suffisamment bas. Ceci peut être la conséquence d'une toxicité trop élevée des sédiments étudiés, ayant entraîné la mort des oligochètes

- L'inconvénient de la méthode présente se trouve dans le fait que les oligochètes utilisés sont acquis dans le commerce, d'où un problème de répétabilité du test.

GROUPE E
Inventaire sur le terrain

FICHE E1	**INDICE OLIGOCHETES DE BIOINDICATION DES SEDIMENTS (IOBS)**	**374**
FICHE E2	**DENSITE TOTALE ET NOMBRE D'ESPECES DE CHIRONOMIDAE ET D'OLIGOCHETES**	**377**
FICHE E3	**MALFORMATIONS DE LA MACHOIRE CHEZ LES LARVES DE CHIRONOMUS**	**381**

FICHE E1
Indice Oligochètes de bioindication des sédiments fins (IOBS)

Disponibilité	non concerné	**Durée**	=
Coût	☺	**Période**	toute l'année

Description générale

Norme : en cours de normalisation en France.

Principe : Il s'agit d'étudier la qualité biologique des sédiments et l'incidence des micropolluants, par des méthodes biologiques basées sur la composition qualitative et quantitative des peuplements d'oligochètes, qui sont de bons indicateurs de la qualité biologique des sédiments.

La détermination et l'analyse de l'IOBS est complétée par l'examen du pourcentage de Tubificidae sans soies capillaires (TUSP), considérés comme décrivant un effet des micropolluants pour des valeurs supérieures à 60% de TUSP.

L'effectif d'oligochètes est rapporté à une surface unitaire de 0,1 m^2.

Organismes : peuplements d'oligochètes, plus particulièrement les Tuficidae (famille dominante), qui sont des vers annélides colonisant tous les biotopes aquatiques (le lombric en est un exemple vivant en milieu terrestre).

Prélèvement et échantillonnage

Différents outils peuvent être utilisés afin de s'adapter à toutes les situations rencontrées :
- filet de type Surber,
- carottiers,
- benne Friedinger pour les canaux profonds.

Les sédiments sont ensuite conditionnés dans des bocaux en verre et immédiatement formolés sur le terrain pour avoir un bon état de conservation.

Après tamisage à 0,5 mm de vide de maille, les oligochètes présents dans le refus du tamis, sont extraits après examen des fractions d'échantillons, jusqu'à obtenir 130 vers identifiables. De plus le nombre d'oligochètes pour 0,1 m^2 est déterminé. Un montage de ces spécimens entre lame et lamelle permet ensuite d'identifier les espèces au microscope optique (grossissement de x50 à x630).

Calcul de l'IOBS

$$IOBS = 10\ S\ T^{-1}$$

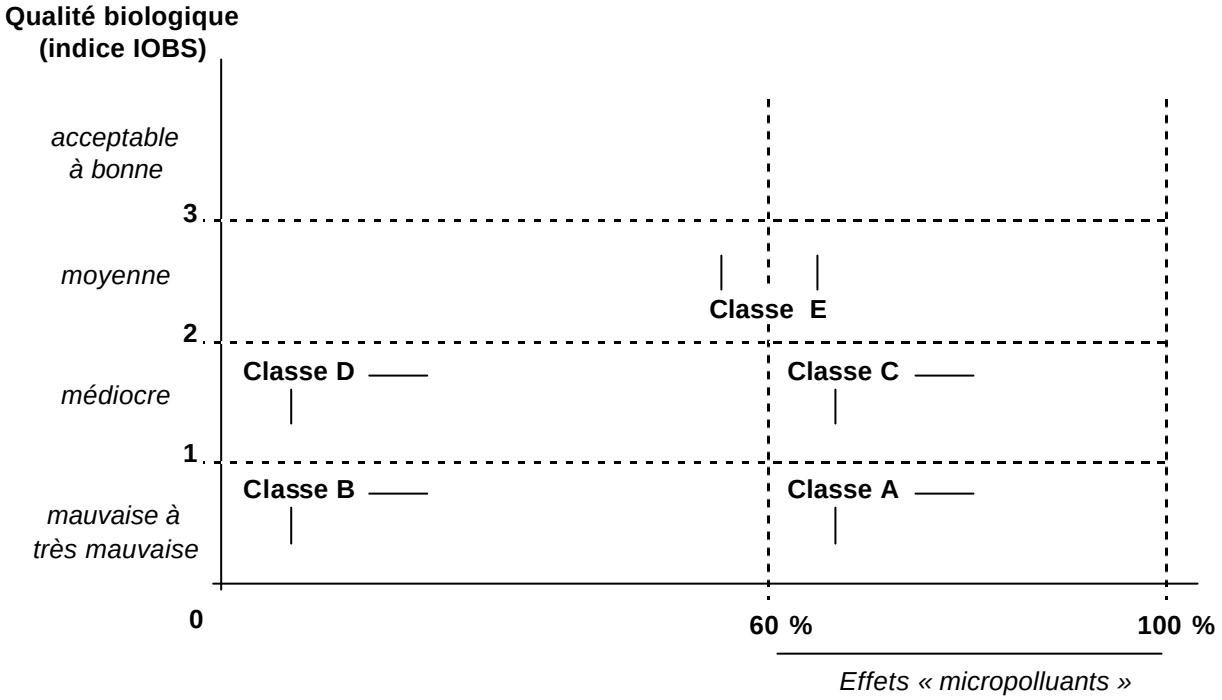
Où : S = nombre total d'espèces par échantillon.
T = pourcentage du groupe dominant de Tubificidae avec ou sans soies capillaires.

L'indice varie de 0 (toxicité maximale) à 3 ou plus (qualité du milieu moyenne à bonne).

Modélisation

L'indice IOBS et le pourcentage de Tubificidae sans soies capillaires permettent d'établir 5 classes de qualité biologique des sédiments. Ces classes représentent un gradient décroissant de toxicité. L'abaque est présenté à la figure 1.

Figure 1 : Abaque représentant des classes de qualité en fonction de l'IOBS et du TUPS.



Traitement et confrontation

Les données chimiques (concentrations en 7 métaux, en PCB et en HAP) ont été confrontées aux données biologiques (indice IOBS, pourcentage de Tubificidae avec et sans soies capillaires, nombre d'espèces et effectif d'oligochètes rapporté à 0,1m^2).

Des conclusions ont ainsi pu être établies :

- corrélation négative entre les valeurs de l'IOBS et la contamination par les métaux lourds et les PCB,
- corrélation entre les métaux lourds et le pourcentage de Tubificidae sans soies capillaires,
- association entre les HAP, les faibles valeurs d'indice IOBS, les densités de vers élevées et les peuplements dominés par les Tubificidae avec soies capillaires.

Conclusions

L'indice IOBS est confirmé en tant qu'indice d'appréciation de l'incidence de la contamination des sédiments par les micropolluants.

Catégories	Diagnostic	Conclusions
Classe A	pourcentages de Tubificidae sans soies capillaires > 80 %, densités < 1 000 ind/m^2.	Contaminations les plus élevées en métaux et en PCB
Classe B	Effectifs d'oligochètes considérables (parfois > 20 000 ind/m^2).	Contamination par les HAP

Valeurs	Effets
IOBS > 3	Milieu probablement altéré, Polluants organiques ou métalliques inexistants ou très peu abondants.
2 < IOBS < 3	Non exempt de pollution, micropolluants peuvent être de façon transitoire sous une forme non bio-disponible.
IOBS = 1	Seuil de l'incidence de rejets industriels et / ou toxiques.
IOBS < 1	Situation toxique à très toxique quelque soit les polluants.

FICHE E2
Densité totale et nombre d'espèces de Chironomidae et d'Oligochètes

Disponibilité	non concerné	**Durée**	=
Coût	☺	**Période**	printemps

Ê **Description générale**

Organismes : les larves chironomidae et les oligochètes sont particulièrement indicatifs (Van de Guchte, 1992), du fait de la grande abondance de données sur la toxicité.

Dans les sédiments fins (vase), les chironomes et les oligochètes du genre *Limnodrilus*, sont présents de manière dominante (Van Urk & Kerkum, 1991; AquaSense, 1993a). Les chironomes du genre *Chironomus* en particulier se trouvent dans pratiquement toutes les sortes de plans d'eau (de Pauw & Vannevel, 1991 ; Moller Pillot & Buskens, 1990).

Principe : La qualité écologique de sédiments peut être déduite de la présence et de l'abondance de flore et de faune en relation avec les facteurs environnementaux physiques et chimiques. Le plus fiable pour la détermination de la qualité écologique, sont les paramètres de terrain qui sont basés sur la présence et la densité des espèces appartenant à la macro-faune très communes et peu mobiles.

- Les habitats qui conviennent aux chironomes sont des sédiments comportant une décomposition intensive (eaux polluées organiquement). Seuls les endroits où le débit du courant est trop fort, ou les endroits où le statut trophique est trop faible, sont dépourvus de chironomes. La présence ou non, ainsi que la densité des larves de ce genre est corrélée avec les caractéristiques des sédiments, et le stress toxique (van Urk & Kerkum, 1991).

  Le chironome constitue une part importante du régime des poissons et des oiseaux. Dans un habitat favorable, la production en termes de biomasse du chironome est aussi élevée (20 à 50 g/m^2) que celle de tous les autres macro-invertébrés. Une perturbation de cette production suite à un stress toxique aboutissant à une disponibilité moindre de nourriture peut être très significative du point de vue écologique (van Urk & Kerkum, 1991).

- Les oligochètes aussi se trouvent principalement en forte densité dans les eaux chargées organiquement. Il s'agit alors surtout d'espèces comme le *Limnodrilus hoffmeisteri* et *Tubifex tubifex* (Milbrink, 1983). Pour l'appréciation de sédiments pollués, l'abondance de différentes espèces d'oligochètes est plus importante que leur présence ou absence (Verdonschot, 1979). Dans différents habitats, les oligochètes constituent en nombre le groupe animal le plus important. Les espèces ayant un temps de développement court parviennent, malgré une biomasse faible par individu, à une production de biomasse (très) forte. Une production annuelle moyenne de 300 à 540 g/m^2 est ainsi connue pour le *Lumbriculus lineatus* (Tubificidae).

Ë Champs d'application

Les techniques d'inventaire du terrain ne peuvent pas être mises en œuvre depuis le début du mois d'avril jusqu'à fin octobre en raison de l'envol des moustiques.

En ce qui concerne la possibilité de trouver des éphémères, il est recommandé d'effectuer les prélèvements au printemps (mars-début avril) plutôt qu'en automne, parce qu'à l'automne les éphémères se trouvent dans leur stade final (< 500µm).

Ì Sensibilité

Il existe encore peu de connaissances à ce jour sur la relation entre l'abondance d'organismes vivant dans les sédiments et les matières toxiques isolées. En revanche, des relations ont été déterminées avec le degré général de pollution du sédiment.

Í Conditions préalables

La présence de macro-faune dépend surtout des caractéristiques locales du sédiment, et de la présence de produits polluants. Des facteurs comme la quantité de nourriture, la vitesse du courant, la teneur en chlorures et en ammonium/ammoniac ont leur importance.

Il convient également de tenir compte du fait que la zone examinée peut s'assécher à certaines périodes de l'année. Une bonne maîtrise de ces facteurs est donc souhaitable pour l'interprétation des données de l'inventaire de terrain. L'influence exacte de ces facteurs n'a toutefois pas encore été quantifiée, de sorte qu'il est à ce jour impossible d'établir des critères concernant les seuils à partir desquels cette influence est attendue (conditions préalables).

Pour établir une relation entre les effets observés et le degré de pollution, la connaissance approfondie de ces facteurs est moins indispensable si un lieu de référence approprié pris dans la zone elle-même a été évalué en même temps.

Î Réalisation

Les échantillons de sédiments passés au tamis de 500 µm, sont triés en laboratoire à l'aide d'une table lumineuse. Les organismes sont séparés des autres matières (organiques, petits cailloux, détritus, etc.).

Les organismes collectés, les oligochètes et les chironomidés, et de préférence les autres organismes aussi, sont déterminés pour chaque échantillon jusqu'au niveau taxonomique le plus précis possible.

Après la détermination de la macro-faune, les quantités trouvées sont extrapolées à la superficie échantillonnée en densité (nombre d'individus par m^2) par espèce ou groupe d'espèces.

Ï **Appréciation** (voir tableaux 1 et 2, à la page suivante)

Référence locale appropriée appréciée en même temps

S'il peut être démontré au moyen d'une méthode statistique appropriée (par exemple un test de sommation insensible à la répartition), que pour au moins un des paramètres de terrain analysés celui-ci est plus "mauvais", de manière significative, que dans la référence, il est probable qu'il existe une relation entre le degré de pollution et la qualité de la population présente dans le sédiment. On peut donc penser raisonnablement qu'il existe un risque dû aux pollutions présentes.

Pas de référence locale appropriée disponible

Des critères d'appréciation pour différents habitats ont été déduits pour les zones de sédimentation influencées par le Rhin et par la Meuse, classés sur la base des caractéristiques du sédiment (den Besten *et al*., 1995; den Besten, 1997).

Tant que les caractéristiques de l'habitat correspondent, les critères d'appréciation suivants peuvent être utilisés à titre indicatif pour l'appréciation de sédiments de plans d'eau régionaux pollués (appréciation: "+" = effet sérieux, "±" = effet moyen et "-" = pas d'effet).

Ð **Critères de validité**

Il n'existe pas de critères de validité spécifiques applicables aux résultats d'un inventaire de terrain.

Ñ **Coûts**

Voir l'en-tête de la présente fiche.

Ò **Points d'attention**

Il existe des normes de prélèvements de sédiments spécifiques à l'étude des macro-invertébrés en fonction des milieux :

- NF EN 27828, ISO 7828 (1995) : Guide de prélèvement des macro-invertébrés benthiques à l'épuisette.
- NF EN 28265, ISO 8265 (1998) : Conception et utilisation des échantillonneurs de macro-invertébrés benthiques sur substrat rocailleux dans les eaux douces peu profondes.
- NF EN ISO 9391, ISO 9391 (1993) : Echantillonnage des macro-invertébrés benthiques en eaux profondes.

Ó **Expérience**

Aux Pays-Bas, une expérience positive a déjà été menée avec cette technique Triade courante (Maas *et al.,* 1993) pour l'appréciation de sédiments pollués. Cette technique a également déjà été appliquée aux Pays-Bas dans le cadre de l'examen de plans d'eau régionaux.

Tableaux 1 et 2 : Critères d'appréciation

Paramètre	Caractéristiques du sédiment (voir l'explication sous le tableau)							Appré-ciation
	1	2	3	4	5	6	7	
Quantité d'espèces de chironomes	0-4	0-4	0-2	0-2	0-4	0	0-2	+
	5-10	5-10	3-5	3-7	5-7	1-3	3-6	±
	≥11	≥11	≥6	≥8	≥8	≥4	≥7	-
Densité des chironomes	<500	<500	<100	<100	<100	<100	<100	+
	500-1500	500-1500	100-500	100-1500	100-500	100-500	100-500	±
	≥1 500	≥1 500	≥500	≥1500	≥500	≥500	≥500	-
Quantité d'espèces d'Oligochètes	0-4	0-4	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	+
	5-9	5-9	3-5	3-7	3-4	3-4	3-4	±
	≥10	≥10	≥6	≥8	≥5	≥5	≥5	-
Densité d'Oligochètes	<300	<300	<300	<300	<200	<50	<200	+
	300-1 000	300-1 000	300-1 000	300-1 000	200-1 000	50-200	200-1 000	±
	≥1 000	≥1 000	≥1 000	≥1 000	≥1 000	≥200	≥1 000	-
Quantité d'espèces de Bivalves	0-3	0-3	0-2	0-2	0-3	0-5	0-3	+
	4-8	4-6	3-5	3-5	4-8	6-9	4-6	±
	≥9	≥7	≥6	≥6	≥9	≥10	≥7	-
Densité des Bivalves	<200	<200	<5	<5	<200	<700	<200	+
	200-800	200-800	5-100	5-100	200-1 000	700-2 000	200-1 000	±
	≥800	≥800	≥100	≥100	≥1 000	≥2 000	≥1 000	-
Σ # espèces d'éphémères, de mouches et de vers d'eau	0	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	n.a.	+
	1-2			1-2	1-2			±
	≥3			≥3	≥3			-

Code	Caractéristiques du sédiment (voir fiche G)	Profondeur
	Sédiments contenant de la vase	
1	Stable (en couches), sable vaseux ou vase sablonneuse	Peu profond
2	Stable (en couches), sable vaseux ou vase sablonneuse	Profond
3	Instable, sable vaseux ou vase sablonneuse dans des zones avec une forte dynamique	Profond / peu profond
4	Instable, sable vaseux ou vase sablonneuse dans des zones avec une faible dynamique	Profond / peu profond
	Sable	
5	Sable (fin ou moyennement grossier)	Peu profond
6	Sable (épais) dans un chenal à courant	Profond
7	Sable (fin ou moyennement grossier)	Profond

FICHE E3
Malformations de la mâchoire chez les larves de *Chironomus*

Disponibilité	non concerné	**Durée**	;
Coût	☺	**Période**	nov. à mars

Ê Description générale

Norme : Aucune. Test réalisé selon le protocole de Maas *et al.* (1993).

Organismes : larves de *Chironomus riparius*.

Principe : La forme des différentes parties de la mâchoire des larves de chironomes est étudiée au microscope, après quoi le pourcentage de larves présentant une malformation de la mâchoire est apprécié.

Plusieurs études ont montré qu'il existe une corrélation positive nette entre le pourcentage de malformations et le degré général de pollution. Ce paramètre est par conséquent utilisable en tant qu'indicateur signalant la disponibilité biologique de pollutions et pour surveiller les tendances dans cette disponibilité (par exemple après un assainissement). Des liens de cause à effet entre la teneur en polluants spécifiques et le pourcentage de malformations de la mâchoire n'ont toutefois pas encore été trouvés lors d'études en laboratoire. La signification écologique des malformations n'a pas encore été complètement clarifiée.

Ë Champs d'application

Les techniques d'inventorisation du terrain ne peuvent pas être mises en œuvre depuis le début du mois d'avril jusqu'à fin octobre en raison de l'envol des moustiques (Maas et al., 1993).

Les critères d'appréciations ont été déterminés pour des sédiments vaseux ou tourbeux relativement propres. Les sédiments sableux abritent trop peu de larves de chironomes pour qu'une image fiable puisse être obtenue des valeurs normales de ce paramètre.

Ì Sensibilité

Il existe encore peu de connaissances à ce jour sur la relation entre le pourcentage de malformations et des matières toxiques spécifiques. En revanche, des relations ont été déterminées avec le degré général de pollution du sédiment.

Í Conditions préalables

Outre la présence de matières polluantes, d'autres facteurs tels que les basses températures, la pression d'oxygène, la quantité de matières organiques et le pourcentage d'argile jouent un rôle dans l'apparition de malformations de la mâchoire (van Urk & Kerkum ; Grootelaar, 1993). L'influence exacte de ces facteurs n'a toutefois pas encore été quantifiée, de sorte qu'il est à ce jour impossible d'établir des critères concernant les seuils à partir desquels cette influence est attendue.

Pour établir une relation entre les malformations de la mâchoire et le degré de pollution, la connaissance approfondie de ces facteurs est moins indispensable si un lieu de référence approprié pris dans la zone elle-même a été évalué en même temps.

Î Réalisation

Suite à leur détermination, les larves de chironomes issues des échantillons sont rassemblées par lieu de prélèvement et font ensuite l'objet d'une recherche des malformations de la mâchoire.

Ï Appréciation

Après avoir vérifié que la technique mise en œuvre satisfait aux critères de validité, les résultats de la technique peuvent être appréciés. Les critères "Triade" figurant dans le tableau ci-dessous sont disponibles à cet effet (Maas *et al*., 1993). Ces critères sont déduits des valeurs observées normalement dans des sédiments vaseux et tourbeux propres (AquaSense, 1993).

Effet observé	Classification	Appréciation de l'effet
QTE OBSERVEE DE LARVES ≥ 100 : QTE MALFORMEE ≤ 10%	3	aucun
Qté observée de larves ≥ 56 et < 100 : $Chi^2 \leq 7,446$		
Qté observée de larves ≥ 100 : Qté malformée > 10%	2	moyen
Qté observée de larves ≥ 56 et < 100 : $Chi^2 > 7,446$		
Qté observée de larves ≥ 100 : Qté malformée > 20%	1	sérieux
Qté observée de larves ≥ 56 et < 100 : $Chi^2 > 11,479$		

Ð **Critères de validité**

Il convient d'apprécier par lieu de prélèvement au moins 56 larves de chironomes, et préférablement au moins 100 larves.

A moins de 56 larves, le pourcentage de larves malformées peut uniquement être apprécié à titre indicatif.

Ñ **Coûts**

Voir l'en-tête de la présente fiche.

Ò **Points d'attention**

Les sédiments sableux conviennent moins bien aux larves de chironomes parce que ces larves ne peuvent y construire que difficilement les petits tubes où elles habitent. Dans ce cas, il est recommandé d'étudier les malformations d'autres genres de larves de moustique.

Toutefois, les valeurs "normales" pour cela ne sont pas encore disponibles, et par conséquent pas de critères d'appréciation non plus. Si un lieu de référence est disponible, il sera possible de tester au moyen de méthodes statistiques si, par rapport à ce lieu, on observe un pourcentage plus élevé de malformations. Dans ce cas, il est toutefois indispensable de noter séparément les malformations par prise d'échantillon.

Ó **Expérience**

Aux Pays-Bas, une expérience positive a déjà été menée avec cette technique (Maas *et al.,* 1993) pour l'appréciation de sédiments pollués appartenant au patrimoine public. Cette technique a également déjà été appliquée aux Pays-Bas dans le cadre de l'examen de plans d'eau régionaux.

FICHE F
Sensibilité des bio-essais pour des polluants spécifiques

Polluants	Bioessais aigus (µ/l)					Bioessais chroniques	
	Algues EC_{50} 72h	Bactérie EC_{50} 30min	T. pla.[1] LC_{50} 24h	D.mag[2] EC_{50} 48h	B.cal.[3] LC_{50} 24h	D. mag. LOEC 21 jours	C. rip.[4] EC_{50} 28 jours
Métaux lourds							
As	400	4 900	1 040	1 040	12 100	520	-
Cd	40	1 620	200	20	1 200	5	420
Cr	160	13 000	18	100	8 270	44	2 447
Cu	40	130	79	10	26	2.5	21.6
Hg	800	10	40	3.8	53	1.675	80
Pb	500	80	1 630	150	9 980	22.5	6 256
Ni	500	23 000	2 210	510	4 000	15	-
Zn	60	530	230	68	2420	105	450
HAP							
Anthracène	6	11	3	3	-	1.9	5.4
Benzo (a) anthracène	-	260	0.72	0.72	-	0.18	-
Benzo(a) pyrène	2.5	-	0.3	0.3	-	0.0075	-
Benzo(ghi) perylène	-	-	0.08	0.08	-	0.02	-
Benzo(k) fluoroanthène	-	-	0.56	0.56	-	0.14	-
Chrysène	-	-	0.7	0.7	-	0.175	-
Phénantrène	180	-	380	380	-	45	98
Fluoroanthène	54 000	210	0.8	0.8	-	0.2	12.8
Naphtalène	33 000	470	2 200	2 200	-	550	560
Indeno(1,2,3) pyrène	-	680	-	-	-	-	-
OCB							
Aldrin	-	-	28	28	-	7	0.16
Dieldrin	25 000	-	145	145	-	80	0.1
Endrin	1 920	-	0.57	0.57	-	0.1425	2.594
DDT	1.6	10	0.5	0.5	-	0.125	0.94
DDD	-	-	4.6	4.6	-	1.15	0.072
DDE	-	-	-	-	-	-	1.2
Endosulfan	20 000	-	62	62	5 150	15.5	0.46
Alpha-HCH	2 000	-	800	800	-	225	-
Beta- HCH	4 000	-	3 200	3 200	-	800	-
Gamma-HCH	2 000	5 700	485	485	-	47.5	0.72
Heptachlore	28.2	-	52	52	-	31.25	0.22
Heptachlorep-oxide	-	-	120	120	-	30	-
HCB	30	-	16	16	-	0.325	-
Hydrocarbures	-	-	32 000	32 000	-	8 000	-

[1] T. pla. : *Thamnocephalus platyurus*
[2] D. mag. : *Daphnia magna strauss*
[3] B. cal. : *Brachionus calyciflorus*
[4] C. rip. : *Chironomus riparius*

FICHE G
Valeurs Kp pour un sédiment standard

Polluant	Valeur K_p (l/kg MES)			log K_p	K_p	Koc
	Minimum	Médiane	Maximum	(l/kg MES)	(l/kg MES)	(l/kg)
Métaux lourds						
As	5 400	10 000	18 400	-	10 000	-
Cd	50 000	130 000	493 000	-	130 000	-
Cr	126 000	290 000	786 000	-	290 000	-
Cu	12 000	50 000	149 000	-	50 000	-
Hg	31 000	170 000	270 000	-	170 000	-
Pb	438 000	640 000	347 400	-	640 000	-
Ni	4 300	8 000	21 700	-	8 000	-
Zn	52 000	110 000	215 000	-	110 000	-
HAP						
Anthracène	-	-	-	3.52	3 311	56 315
Benzo(a)anthracène	-	-	-	4.86	72 444	1 232 034
Benzo(a)pyrène	-	-	-	5.04	109 648	1 864 759
Benzo(ghi)perylène	-	-	-	5.70	501 187	8 523 592
Benzo(k)fluoranthène	-	-	-	5.07	117 490	1 998 125
Chrysène	-	-	-	4.80	63 096	1 073 057
Phénantrène	-	-	-	3.53	3 388	57 627
Fluoroanthène	-	-	-	4.23	16 982	288 817
Naphtalène	-	-	-	2.37	234	3 987
Indeno(1,2,3)pyrène	-	-	-	5.47	295 121	5 019 063
OCB						
Aldrin	-	-	-	4.18	15 136	257 408
Dieldrin	-	-	-	4.87	74 131	1 260 732
Endrin	-	-	-	3.36	2 291	38 960
DDT	-	-	-	4.70	50 119	852 359
DDD	-	-	-	3.98	9 550	162 414
DDE	-	-	-	3.89	7 762	132 015
Endosulfan	-	-	-	2.18	151	2574
Alpha-HCH	-	-	-	2.32	209	3 553
Beta-HCH	-	-	-	2.43	269	4 577
Gamma-HCH	-	-	-	2.05	112	1 908
Heptachlore	-	-	-	3.52	3 311	56 315
Heptachloroepoxide	-	-	-	2.01	102	1 740
HCB	-	-	-	4.80	63 150	1 073 980
Hydrocarbures	-	-	-		98 642	1 677 590

FICHE H
Probabilité d'observation des effets pour 0% de dépassement des concentrations de base (UPA)

Polluant	Bioessais aigus					Bioessais chroniques	
	algues	bactérie	T. pla.[1]	D. mag[2]	B.cal.[3]	D. mag.	C. rip.[4]
Métaux lourds							
As	0.06	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	-
Cd	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	0.00
Cr	0.03	0.00	0.29	0.05	0.00	0.12	0.00
Cu	0.30	0.09	0.15	1.20	0.46	4.80	0.56
Hg	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.08	0.00
Pb	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.10	0.00
Ni	0.08	0.00	0.02	0.07	0.01	2.50	-
Zn	0.57	0.06	0.15	0.50	0.01	0.32	0.08
Somme des UPA-métaux	1.05	0.21	0.63	1.92	0.49	8.04	0.64
Moyenne UPA	0.13	0.03	0.08	0.24	0.06	1.00	0.11
HAP							
Anthracène	4.03	2.20	8.05	8.05		12.72	4.47
Benzo (a) anthra-cène		0.00	1.53	1.53		6.14	
Benzo(a)pyrène	0.29		2.43	2.43		9.73	
Benzo(ghi)perylène			2.00	2.00		7.98	
Benzo(k)fluoroanthène			1.22	1.22		4.86	
Chrysène			1.81	1.81		7.25	
Phénantrène	0.13	0.11	0.06	0.06		0.52	0.24
Fluoroanthène	0.00	0.01	5.89	5.89		23.55	0.37
Naphtalène	0.01	0.50	0.16	0.16		0.62	0.61
Indeno(1,2,3)pyrène							
Somme des UPA-HAP	4 .46	2.82	23.15	23.15		73.17	5.69
Moyenne UPA	0.89	0.56	2.57	2.57		8.15	1.42
OCB							
Aldrin	0.00		0 .02	0 .02		0.08	3.30
Dieldrin	0.00		0.00	0.00		0.00	1.08
Endrin			6.13	6.13		24.51	1.35
DDT	0.10	0.02	0.32	0.32		1.28	0.17
DDD			0.18	0.18		0.73	11.63
DDE							0.86
Endosulfan	0.00		0.00	0.00	0.00	0.02	0.57
Alpha-HCH	0.01		0.02	0.02		0.09	
Beta-HCH	0.00		0.00	0.00		0.02	
Gamma-HCH	0.02	0.01	0.07	0.07		0.75	49.51
Heptachlore	0.00		0.00	0.00		0.00	0.05
Heptachloroepoxide			0.00	0.00		0.01	
Somme des UPA-OCB	0.13	0.02	6.76	6.76	0.00	27.47	68.54
Moyenne UPA	0.02	0.00	0.47	0.47	0.00	1.90	11.25
HCB	0.03		0.06	0.06		2.92	
Hydrocarbures			0.00	0.00		0.01	

[1] T. pla. : *Thamnocephalus platyurus* [2] D. mag. : *Daphnia magna strauss*

[3] B. cal. : *Brachionus calyciflorus* [4] C. rip. : *Chironomus riparius*

Pourcentages de dépassement de la concentration de base pour un UPA>0,1

Polluant	Bioessais aigus					Bioessais chroniques	
	algues	bactérie	T. pla.[1]	D. mag[2]	B.cal.[3]	D. mag.	C. rip.[4]
Métaux lourds							
As	100	>1 000	400	400	>1 000	150	?
Cd	>1 000	>1 000	>1 000	500	>1 000	50	>1 000
Cr	250	>1 000	0	100	>1 000	0	>1 000
Cu	0	50	0	0	0	0	0
Hg	>1 000	750	>1 000	200	>1 000	50	>1 000
Pb	>1 000	250	>1 000	750	>1 000	0	>1 000
Ni	50	>1000	500	50	1 000	0	?
Zn	0	100	0	0	750	0	50
HAP							
Anthracène	0	0	0	0	?	0	0
Benzo (a) anthracène	?	>1 000	0	0	?	0	?
Benzo(a)pyrène	0	?	0	0	?	0	?
Benzo(ghi)perylène	?	?	0	0	?	0	?
Benzo(k)fluoroanthène	?	?	0	0	?	0	?
Chrysène	?	?	0	0	?	0	?
Phénantrène	0	0	100	100	?	0	0
Fluoroanthène	>1 000	1 000	0	0	?	0	0
Naphtalène	1 000	0	0	0	?	0	0
Indeno(1,2,3)pyrène	?	?	?	?	?	?	?
PCB - Totaux	?	?	?	?	?	?	?
OCB							
Aldrin	?	?	450	450	?	50	0
Dieldrin	>1 000	?	>1 000	>1 000	?	>1 000	0
Endrin	>1 000	?	0	0	?	0	0
DDT	50	750	0	0	?	0	0
DDD	?	?	0	0	?	0	0
DDE	?	?	?	?	?	?	0
Endosulfan	>1 000	?	>1 000	>1 000	>1 000	500	0
Alpha-HCH	1 000	?	350	350	?	50	?
Beta-HCH	>1 000	?	>1 000	>1 000	?	450	?
Gamma-HCH	500	1000	50	50	?	0	0
Heptachlore	>1 000	?	>1 000	>1 000	?	>1 000	100
Heptachloroepoxide	?	?	>1 000	>1 000	?	750	?
HCB	250	?	100	100	?	0	?
Hydrocarbures	?	?	>1 000	>1 000	?	750	?

[1] T. pla. : *Thamnocephalus platyurus* [2] D. mag. : *Daphnia magna strauss*

[3] B. cal. : *Brachionus calyciflorus* [4] C. rip. : *Chironomus riparius*

Légende

? = inconnu

0% de dépassement = UPA > 0,1 avec concentration de base

100% de dépassement = UPA > 0,1 avec 2 fois la concentration de base

Références bibliographiques

MODES DE RECUEIL DES DONNEES

Dans une première approche, le groupement Tauw Environnement/Ophrys a choisi de réaliser un tour d'horizon général de l'état de l'art de la gestion des sédiments par une collecte d'information auprès des principaux acteurs concernés sur le territoire national, dans quelques pays européens et plus largement en Amérique du Nord.

Les moyens employés ont été l'entretien téléphonique, l'échange par Internet ou par télécopie, le prêt de documents et l'entrevue.

Au fur et à mesure de l'acquisition de l'information, notre groupement a pu constater :

- l'abondance des documents traitant de la thématique

- l'hétérogénéité de l'information en termes de connaissances, de savoir-faire et de disponibilité ou de diffusion…

Face à cette situation, la principale difficulté rencontrée a été de sélectionner l'essentiel de l'information pertinente après croisement des données.

La réflexion menée à partir de la synthèse des informations retirées à ce jour nous permet d'élaborer et de proposer une première approche de développement d'une méthodologie de caractérisation des sédiments, qu'il conviendra d'étoffer et de préciser au fur et à mesure de l'état d'avancement des connaissances techniques et scientifiques et de l'affirmation d'une politique nationale et réglementée.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, **1992**. Normes françaises, Essai des eaux, Détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), *NFT 90-350*, décembre 1992.

ALZIEU C., BOCQUENE G., DHAINAUT N., DELESMONT R., EMPIS A., FORGET J., GLEMAREC M., GRALL J., PAVILLON J.F., PRUVOT C. & QUINIOU F., **1999**. Evaluation des risques liés à l'immersion des boues de dragage des ports maritimes. *Ed : Colloque PNETOX*.

AGENCES DE L'EAU, **1996**. Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques. *Cemagref, Agence de l'eau et du ministère de l'Environnement, Etude inter agences n°47.*

AGENCES DE L'EAU, **1997**. Qualité des cours d'eau de 1991 à 1996 – Compilation des résultats.

AGENCES DE L'EAU, **1999**. Qualité des cours d'eau, Résultats 1997. *DIrection Régionale de l'ENvironnement Rhône-Alpes, Agence de l'eau Rhône-Méditérranée-Corse*.

AGENCES DE L'EAU, **1999**. Le prélèvement en rivière : Qualité des eaux superficielles – Guide technique. *Agence loire – bretagne, DIREN*, 133p.

AGENCES DE L'EAU, **1999**. Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau (S.E.Q.) Principes généraux. *Etude Inter-Agences n°72*, 11p.

AGENCES DE L'EAU, **1999**. La contamination du fleuve Rhône par les micropolluants, Evaluation des niveaux de pollution et des effets sur les communautés vivantes aquatiques. *Agence de l'eau Rhône-Mediterranée-Corse. Sous-Direction de la Planification, des Études et des Milieux Aquatiques*.

AGENCES DE L'EAU, **2000**. Bio-essais sur sédiments, Méthodologie et application à la mesure de la toxicité de sédiments naturels. *Cemagref, Agences de l'eau et du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Etude Inter-Agence n°76*, 53p.

AGENCES DE L'EAU, **2000**. Système d'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau, S.E.Q. Bio (version 0) Rapport de présentation. *Etude Inter-Agences n°77*, 27p.

AGENCES DE L'EAU, **2000**. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, S.E.Q. Eau (version 1) Principes généraux. *Etude Inter-Agences n°64*, 21p.

AIPCN, **1997**. Manutention et traitement des matériaux de dragage contaminés provenant des ports et des voies navigables intérieures, Volume 1. *AIPCN, Association Internationale des Compagnies de Dragage*, 80p.

B.R.G.M., **2000**. Gestion des sites (potentiellement) pollués. *BRGM Editions, MATE*.

BABUT M. & PERRODIN Y., **2001**. Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage, (tome I) Présentation & justification de la démarche. document provisoire du 03/01/01. *Cemagref / ENTPE*, 45p.

BARROIN G., **1999**. Limnologie Appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. *Edition Agence de l'eau, Etudes inter-Agences n°62*.

BASTIEN B. & LIBERT Y., **1998**. La gestion des produits de dragage et de curage en région wallonne. *Ed Pôle de Compétence Site et Sols pollués, Thématique Sédiments Toxiques, Chambre d'Agriculture du Nord*.

BLANCHARD C., **2000**. Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. *Thèse de doctorat, INSA de Lyon, Villeurbanne*, 241p.

BRAY M., BABUT M., MONTUELLE B., DEVAUX A., DELOLME C., DURRIEU C., BEDELL J-P. & CLEMENT B., **2001**. Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage, (tome III) Application au Canal de l'Est branche sud. *Cemagref / ENTPE*, 59p.

BRICHE N., DUFRAISSE C., FLACQUET-LACOUX V., GEAI C., LE FUR J-P., MAROTTA K., PAVAGEAU P. & SARTHOU J-M., **1998**. Guide d'intervention pour la pratique des dragages. *Voies Navigables de France*, 30p.

BURTON GAJ., NELSON M-K. & INGERSOLL C-G., **1992**. Freshwater benthic toxicity tests. In BURTON, GAJ, eds, *Sediment toxicity assessment*, Lewis, Chelsea, MI, USA, pp 213-240.

CENTRE SAINT-LAURENT, **1992**. Guide pour le choix et l'opération des équipements de dragage et des pratiques environnementales qui s'y rattachent. *Document préparé en collaboration avec Travaux Publics Canada et le Ministère de l'Environnement du Québec et réalisé par Les Consultants Jacques Bérubé Inc.* n° de catalogue En40-438/1992F. 81p.

DAMES & MOORE GROUP COMPAGNY, **1997**. Rapport provisoire, Etude détaillée des risques, terrain de dépôt n°6, commune de Deulemont. *Ed : Dames & Moore*, France.

DAMES & MOORE GROUP COMPAGNY, **2001**. Evaluation détaillée des risques liés à la gestion des sédiments et aux opérations de curage. *Ed : Dames & Moore*, France, 146p.

DDE, DDAF & SN, **1996**. Les boues de curage des cours d'eau, guide pratique. *Editions Direction Départementale de l'Équipement, Action n°3*.

ECRIN – MATE, **2000**. Modélisation en écotoxicologie. *Association ECRIN*, 197p.

EXTRACT, DÉPOLLUTION EN SITE AQUATIQUE, **1996**. Le dragage et le traitement des sédiments. *Ed : Arènes communication*, France.

EXTRACT, DÉPOLLUTION EN SITE AQUATIQUE, **2000**. Dossier de presse. *Ed : Chantier de France, BTP magazine*, France.

FOUCAULT A. & RAOULT J-F., **1995**. Dictionnaire de Géologie, 4ème édition. *Masson éditions*, 324p.

FOX R., LANDRUM P., McCRONE L., SCHUMACHER B., FILKINS J.C., BARRICK B., ROOD S.G., RATHBUN J.E., HUELLMANTEL L.L., TRACY M., AHLGREN K.A. & CRECELIUS E., **1994**. Assessment and Remediation of Contamined Sediments (ARCS) Program, Assessment guidance Document. *Ed : United States Environmental Protection Agency (USA).*

GARRIC J., BALIGAND M-P., FLAMMARION P., GOUY V., MONTUELLE B. & ROULIER J-L., **1998**. Etude d'établissement de seuils de qualité pour les sédiments. *Agence de l'Eau, Cemagref*. 120p.

GARRIC J., CATRIN O., VOLLAT B., MONS R., BRAY M., MIGEON B., MONTUELLE B., CORTES S., MASFARAUD J.F., SIMAO-BEAUNOIR A.M., FERARD J.F., QUINIOU F., GORAGUER H., PARENTHOEN K., LEGARO C., SEGALEN M., PAVILLON J.F., MANASRIA R., LAMY M.H., GEORGE C., GONDELLE F., THYBAUD E., CLEMENT B., VERHIEST G., BLAKE G. & BOBINEAU L., **1999**. Evaluation de l'écotoxicité de sédiment marin et d'eau douce, Influence de leur composition sur la toxicité de contaminants organiques. *Ed : Colloque PNETOX*.

GARRIC J., BRAY M., VOLLAT B., CLEMENT B., DEVAUX A., DELOLME C., DURRIEU C. & BEDELL J-P., **2000**. Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage, (tome II) Présentation des méthodes d'essai. *Cemagref / ENTPE,* 43p.

HÅKANSON L. & JANSSON M., **1983**. Principles of lake sedimentology. *Springer-Verlag,* 316p.

HONORE M-A., **1994**. Mise au point d'une méthodologie d'étude des sédiments contaminés par les métaux lourds en préalable à des opérations de curage. *Mémoire de fin d'études de l'ISA, Agence de l'eau Artois Picardie*, 120p.

ISO, NORME 11269-2, **1995**. Qualité du sol – Détermination des effets des polluants sur la flore du sol – Partie 2 : Effets des substances chimiques sur l'émergence et la croissance des végétaux supérieurs.

JAUZEIN M., JOURDAIN M-J., BISPO A. & SAVANNE D., **1999**. Ecotoxicité des sols et des déchets : Extraction des polluants. *ADEME Editions, Paris*, 138p.

KEATING J., ARMITAGE T. & SOUTHERLAND E., **1997**. The Incident and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey. *Ed : United States Environmental Protection Agency (USA),* Volume 1.

MARSHALL FARRIS J., ARMITAGE T. & SOUTHERLAND E., **1998**. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. EPA-823/R-98/001. *U.S. Environmental Protection Agency (USA).*

MICHAUD J.-R., **1994**. Guide pour l'évaluation et le choix des technologies de traitement des sédiments contaminés. *Ed : Environnement Canada*, seconde édition.

MILLER J., PALERMO M., HUGHES D., ZAPPI P., AVERETT D., HOERNER P. & GARBACIAK S., **1994**. Assessment and Remediation of Contamined Sediments (ARCS)

Program, Remediation guidance Document. *Ed : United States Environmental Protection Agency (USA).*

MUDROCH A., AZCUE J.-M. & MUDROCH P., **1999**. Bioassessment of Aquatic Sediment Quality. *Ed : Lewis Publishers, USA.*

PALERMO M.-R., MAYNORD S., MILLER J. & REIBLE D.-D., **1998**. Assessment and Remediation of Contamined Sediments (ARCS) Program. *Ed : United States Environmental Protection Agency (USA).*

OPHRYS, EGEA ENVIRONNEMENT & ALTERIS, **1998**. Enlèvement des sédiments, Guide méthodologique «Faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision ». *Pôle de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais, Agence de l'Eau Artois-Picardie*, 161p.

ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT, **1994**. Etude des méthodes de prélèvement et de traitement des sédiments à des fins d'analyse de micropolluants métalliques et organiques – Enquête réalisée auprès de prestataires français agissant dans le cadre du RNB. *Etude Inter-Agence*, 26p.

ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT, **1994**. Etude des méthodes de prélèvement et de traitement des sédiments à des fins d'analyse de micropolluants métalliques et organiques – Analyse bibliographique. *Etude Inter-Agence*, 106p.

ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT, **1994**. Etude des méthodes de prélèvement et de traitement des sédiments à des fins d'analyse de micropolluants métalliques et organiques – Analyse bibliographique, Annexes. *Etude Inter-Agence*.

ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT, **1995**. Etude des méthodes de prélèvement et de traitement des sédiments à des fins d'analyse de micropolluants métalliques et organiques. document provisoire 7/03/95. Etude Inter-Agence, 21p.

ROCHON R. & CHEVALIER M., **1987**. Echantillonnage et conservation des sédiments en vue de la réalisation des projets de dragage. *Editions Environnement Canada*.

ROSSO-DARMET A. & LAFONT M., **1998**. Utilisation des oligochètes et indices oligochètes pour l'évaluation du risque écologique lié à la présence de micropolluants minéraux et organiques dans les sédiments du bassin Artois-Picardie. *Burgeap, Cémagref, Agence de l'Eau Artois-Picardie*, 13p.

SOCIÉTÉ PUBLIQUE D'AIDE À LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT, **1998**. La gestion des matières issues du dragage et du curage des cours d'eau et la problématique des centres d'enfouissement technique. *Société publique d'aide à la qualité de l'environnement*.

THYBAUD E., GONTHIEZ N., DARMENDRAIL D., BABUT M., NOMINE M. & AUBURTIN G., **1999**. Evaluation détaillée des risques pour les écosystèmes. document provisoire. *Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement*, 50p.

U.S. EPA, **1992**. An sab report : review of sediment criteria development methodology for non-ionic organic contaminants. Epa-Sab-Epec-93-002.

U.S. EPA, **1994**. Assessment and Remediation of Contamined Sediments (ARCS) Program, Final summary report. *United States Environmental Protection Agency (USA).*

VERNEAUX J., FAESSEL B. & MALESIEUX G., **1976**. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *CTGREF, division qualité des eaux, pêche et pisciculture*, 13 p.

VINCENT-HUBERT F., **1999**. Impact génotoxique de la pollution de l'estuaire de la Seine sur deux espèces de poissons. *Ed : Colloque PNETOX*.

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME	Agence Départementale de l'Environnement et de la Maîtrise d'Energie
AFNOR	Agence Française de NORmalisation
Ag	Argent
AIPCN	Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation
AOX	Composés organo-halogénés extractibles
As	Arsenic
B	Bore
BAP	Benzo(a)pyrène
BNDE	Banque Nationale des Données sur l'Eau
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
CEMAGREF	CEntre national du MAchinisme agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
Co	Cobalt
COD	Carbones Organiques Dissous
COT	Carbones Organiques Totaux
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDE	Direction Départementale de l'Equipement
DDT	Dichloro-diphényl-trichloréthane
DIREN	DIrection Régionale de l'ENvironnement
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EC ou CE	Concentration Efficace
EDR	Evaluation Détaillée des Risques
ENTPE	Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
EOX	Composés organo-halogénés absorbables
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ESR	Evaluation Détaillée des Risques
Fe	Fer
f_{oc}	Fraction de charbon organique

GEODE	Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement
HAP	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HCB	Hexachlorobenzène
Hg	Mercure
IBGN	Indice Biotique Global Normalisé
INP	Inventaire National de Pollution des eaux superficielles
IQBP	Indice de Qualité Biologique Potentielle
IOBS	Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments
K	Potassium
K_{oc}	Coefficient de partition normalisé par rapport au charbon organique (l/kg charbon organique)
K_{ow}	Coefficient octanol-eau
$K_{p\ (MES)}$	Coefficient de partition entre la phase solide et eau (l/kg de MES)
L(E)C ou CL	Concentration Létale
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MES	Matières En Suspension
Méthode PE	Méthode de Partition Equilibrée
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
MS	Matière Sèche
MTR	Maximum Tolerable Risk
Na	Sodium
Ni	Nickel
NOEC	No Observed Effect Concentration
NTK	Azote Total Kjedhal
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OIE	Office International de l'Eau
Pb	Plomb
PCB	Poly Chloro Biphényle
PTFE	Poly Tetra Fluoro Ethylène
RNB	Réseau National de Bassin
RNDE	Réseau National des Données sur l'Eau
SANDRE	Secrétariat d'Administration National des Données Relatives à l'Eau
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Se	Sélénium
SEQ	Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau
CS Bio	Caractérisation des sédiments – Paramètres biologiques
CS K	Caractérisation des sédiments – Caractérisation des milieux
CS PC	Caractérisation des sédiments – Analyses physico-chimiques
TUSP	Pourcentage de *Tubificidae* sans soies capillaires
UPA	Unités de la Probabilité d'Atteinte
US	Unité Spatiale
VCI	Valeur de constat d'impact
VDSS	Valeur de Définition de Source Sol
VNF	Voies Navigables de France
Zn	Zinc

GLOSSAIRE

ADSORPTION

Procédé de fixation à la surface de substances solides (atomes, ions, molécules) d'un gaz, d'un liquide ou d'une substance dissoute.

AFFLUENT

Se dit d'un cours d'eau qui se jette dans un autre.

AIGUE

Se dit d'un phénomène d'apparition soudaine et de courte durée (de quelques secondes à quelques jours). Désigne un stimulus assez intense pour provoquer rapidement une réaction. Peut qualifier l'exposition ou la réaction à une exposition.

ANOMALIE QUALITATIVE

Désigne pour la qualité des sédiments le dépassement d'une valeur indicative normale.

ANOMALIE QUANTITATIVE

Désigne la quantité de sédiments induisant une gène à la navigation.

ALLOCHTONE

Se dit des terrains sédimentaires ayant subi un important déplacement horizontal et qui reposent sur des terrains autochtones.

APPROCHE TRIADE

Egalement appelée Sediment Quality Triad (Van de Guchte, 1992). Cette approche belge et néerlandaise considère qu'une évaluation écotoxicologique doit être menée sur la base de trois domaines scientifiques : l'écologie, la chimie et la toxicologie.

AUTOCHTONE

Se dit de couches géologiques sédimentaires qui n'ont pas subi de déplacement et sur lesquelles se sont avancées parfois les nappes de charriage dites « allochtones ».

BATHYMETRIE

Mesure, par sondage, des profondeurs d'un plan d'eau permettant d'évaluer le volume de sédiment.

BENNES

Appareil de prélèvement constitué de deux mâchoires amovibles permettant le prélèvement de sédiment à de fortes profondeurs.

BENTHIQUE

- Zone correspondant au fond d'une étendue d'eau.- Organisme d'un écosystème aquatique vivant au contact du sol ou à sa proximité immédiate.

BIEF

Section de canal ou cours d'eau comprise entre 2 écluses.

BIO-ESSAI (TEST D'ECOTOXICITE)

Test servant à évaluer la puissance relative d'un produit chimique et qui consiste à comparer, dans des conditions identiques, l'effet de ce produit sur un organisme vivant à l'effet d'une substance témoin exempte de ce produit.

CAROTTIER

Appareil constitué de tubes creux servant à prélever des carottes ou échantillons cylindriques, de sol ou de sédiments. Les petits carottiers sont enfoncés dans le sol à la main.

CHELATE

Composé dans lequel un atome métallique est pris « en pince » entre des atomes électronégatifs liés à un radical organique.

CHRONIQUE

Se dit d'un stimulus qui persiste et qui dure longtemps, souvent de plusieurs semaines à plusieurs années, selon le cycle reproductif de l'espèce aquatique considérée. Peut qualifier l'exposition ou la réaction à une exposition. Une exposition chronique provoque habituellement une réaction d'évolution relativement lente et persistante.

CONFLUENT

Lieu de rencontre de deux cours d'eau.

COUVAIN

Ensemble des œufs, des larves et des nymphes des abeilles et autres insectes sociaux.

CURAGE

Enlèvement des dépôts de sédiment dans un milieu aquatique (fossé, rivière, bassin…). « Tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelles » (article 144 du Code rural). Le curage s'impose souvent pour prévenir les risques d'inondation, pour rétablir le tirant d'eau pour la navigation ou encore pour restaurer le milieu naturel.

DRAGAGE

Variante du curage qui consiste à extraire le sédiment avec un drague (mécanique : à godets, à bennes preneuses, à cuiller… ou hydraulique : dragues suceuses ou pneumatiques…).

EAU D'EGOUTTAGE

Représentant l'eau ruisselant des dépôts, elle peut être assimilée à l'eau surnageante récupérée au-dessus du sédiment dans les récipients de stockage. Cette eau excédentaire résulte du prélèvement, qu'il soit fait à la pelle, à la benne ou à la drague, qui, en plus du sédiment, remonte une certaine quantité d'eau du canal.

EAU INTERSTITIELLE

Terme désignant l'eau emprisonnée dans les sédiments, mais également la phase liquide récupérée après centrifugation des sédiments.

ECHANTILLONNAGE

Action postérieure au prélèvement, permettant de constituer, à partir de tout ou partie d'un ou plusieurs prélèvements, un échantillon qui pourra être analysé.

ECOSYSTEME

Unité écologique de base formée par une biocénose (ensemble des différentes populations vivant en communauté) dans son biotope (ensemble des caractéristiques physiques et chimiques du milieu).

ECOTOXICOLOGIE

Discipline s'intéressant aux populations constituant les écosystèmes aquatiques et terrestres. Elle vise à identifier les causes des effets nocifs, à étudier le comportement des xénobiotiques (substances étrangères au milieu) dans l'environnement, à quantifier leurs effets et à connaître les mécanismes par lesquels ils agissent.

EDR ECOTOXICOLOGIQUES

Caractérisation des risques écotoxicologiques éventuels. Cette étude est réalisée dans le cadre d'une étude de sols et fait suite à une ESR lorsque le site est qualifié en classe 1, c'est-à-dire site à étudier en détail. Elle permet de définir les objectifs de traitement du site, et de déterminer la stratégie de réhabilitation.

EDR ECOTOXICOLOGIQUES *EX-SITU*

Caractérisation des risques écotoxicologiques éventuels, envisagée lorsque les matériaux extraits ne peuvent être valorisés sans traitement préalable.

EDR ECOTOXICOLOGIQUES *IN-SITU*

Caractérisation des risques écotoxicologiques éventuels pour des sédiments pollués que l'on n'envisage pas d'extraire.

EDR SANTE HUMAINE

Caractérisation des risques toxicologiques éventuels. Cette étude est réalisée dans le cadre d'une étude de sols et fait suite à une ESR lorsque le site est qualifié en classe 1, c'est-à-dire site à étudier en détail.

EFFLUENT

Se dit d'un cours d'eau qui s'écoule d'une source et s'en éloigne. Terme correspondant également à l'ensemble des eaux usées, des eaux de ruissellement et des eaux superficielles évacuées par une industrie, un particulier ou une commune.

ELUTRIAT

Terme désignant le surnageant d'un mélange sédiment – eau qui en est extrait après agitation et décantation.

ENDOGENE

Qui se forme à l'intérieur.

ESPECE POLLUO-SENSIBLE

Se dit des espèces animales et végétales disparaissant lors de contamination.

ESR

Caractérisation simplifiée des risques ayant pour objectif, à l'issue de l'étude des sols (diagnostic initial), de classer les sites selon 3 catégories. Cette étude évalue des risques à un moment donné pour des conditions données suivant la méthode des scores.

ETANG

Etendue d'eau dormante intérieure qui ne possède pas de zone profonde, mais dont le fond est parfois soustrait à l'action thermique du soleil.

ETIAGE

Ecoulement d'une rivière en basses eaux (le plus communément pendant l'été).

EUTROPHISATION

Augmentation de productivité d'un écosystème aquatique due à un enrichissement en fertilisants ; ce phénomène naturel est souvent considérablement amplifié par les activités humaines et se traduit alors sous forme d'une prolifération végétale anormale.

EXOGENE

Qui se forme à l'extérieur.

FACTEUR D'INCERTITUDE

Facteur par lequel on divise la concentration induisant un effet toxique sur un organisme donné, afin de s'accorder une marge de sécurité.

Ex : 3 tests écotoxicologiques aigus concluent à la toxicité d'une substance X à partir de 10^{-3} mg/L d'eau interstitielle. Le facteur de sécurité est, dans ces conditions de 100, la substance est alors considérée comme toxique à partir de $10^{-3} / 100 = 10^{-5}$ mg/L.

Ex : 2 tests écotoxicologiques chroniques concluent pour la même substance à une toxicité de 10^{-3} mg/L d'eau interstitielle. Le facteur de sécurité est, dans ces conditions de 10, la substance est alors considérée comme toxique à partir $10^{-3} / 100 = 10^{-4}$ mg/L.

GENOTOXICITE

Toxicité d'une substance vis-à-vis du matériel génétique ou d'un organisme.

HELOPHYTES

Terme désignant les plantes se développant aux bords des plans d'eau dont le système racinaire est submergé et la partie aérienne émergée.

IBGN

Correspond à un bioindicateur ou indice biologique de milieu dulcicole utilisé en complément des analyses chimiques pratiquées sur l'eau ou les sédiments, ou en remplacement de ces dernières. Basé sur la norme AFNOR, 1992.

IQBP

Il s'agit d'un bioindicateur ou indicateur biologique utilisé en complément des analyses chimiques pratiquées sur l'eau ou les sédiments, ou en remplacement de ces dernières. Mis au point par VERNEAUX et al. en 1976, il diffère complètement dans sa réalisation de l'IBGN.

INERTAGE

Désigne l'action de rendre une matière sans activité propre.

IOBS

Correspond à un bioindicateur ou indicateur biologique utilisé en complément des analyses chimiques pratiquées sur les sédiments, ou en remplacement de ces dernières. Basé sur la composition qualitative et quantitative des peuplements d'oligochètes.

LAC

Etendue d'eau dormante intérieure qui possède, en plus de sa zone littorale, une zone profonde privée de lumière où les espèces végétales ne peuvent se développer.

LIXIVIAT

Eau ou tout autre liquide susceptible de contenir des matières solubles dissoutes (lixiviées) tels que sels organiques et minéraux issus de matériaux solides. Exemple : l'eau de pluie qui percole au travers d'un site de dépôt confiné à terre en y mobilisant les contaminants dissous.

LIXIVIATION

Processus par lequel un liquide libère des matières du milieu d'origine, les dissout et les transporte dans cet état.

MAITRE D'ŒUVRE

Il s'agit de la personne physique ou morale qui demande la réalisation de travaux.

MAITRE D'OUVRAGE

Il s'agit de la personne physique ou morale qui réalise et coordonne les travaux.

MATRICE ou COMPARTIMENT

Terme désignant une partie de l'environnement caractérisée par son état physique : eau, sol, air, sédiment.

MEDIUM

Standard à base d'eau déminéralisée à laquelle on a ajouté quelques sels et vitamines.

PELAGIQUE

Organisme vivant en pleine eau sans contact avec le fond (ex. méduse).

PERCOLAT

Se dit du liquide obtenu après passage lent des eaux dans un sol ou un sédiment.

PHYTOPLANCTON

Ensemble des organismes végétaux (en général de petite taille) vivant en suspension dans l'eau.

PHYTOSOCIOLOGIE

Science étudiant les groupements végétaux et leur fonctionnement écologique.

PHYTOTOXICITE

Toxicité d'une substance vis-à-vis d'un organisme végétal.

POINT SENSIBLE

Zone où l'on s'attend à trouver des sources ponctuelles de contamination. La connaissance de l'historique d'un site permet d'en tenir compte dans la sélection des points de prélèvement d'échantillons.

POLLUANT

Produit, substance ou composé chimique présent dans un milieu. On distingue les polluants primaires, rejetés directement dans le milieu naturel, des polluants secondaires qui proviennent de réactions sur les premiers, ou entre eux.

PRELEVEMENT

Action qui consiste, au sens du présent mémoire, à extraire de son milieu naturel une partie de matrice (eau, sol, sédiment) suivant une stratégie répondant aux objectifs recherchés.

RESSUYAGE

Drainage naturel des sédiments aéré par migration de l'eau en excès.

RISQUE

Probabilité que survienne un danger provoquant une atteinte (effet) et degré de sévérité de cette atteinte (effet) dans des conditions d'exposition données.

SCREENING TESTS

Appelés également essais en balayage. Se dit des tests réalisés en laboratoire pour évaluer la toxicité aiguë.

SEDIMENT

Terme désignant les particules organiques et minérales en suspension dans l'eau qui finissent par se déposer au fond du lit d'une rivière, d'un lac, dans les estuaires et les fonds marins. Ce dépôt dont l'épaisseur peut être variable, est composé de vases et de boues avec une accumulation de substances chimiques.

SICCITE

Terme désignant le degré d'humidité de la boue ou d'une substance.

SUBCHRONIQUE

Se dit d'une exposition de durée intermédiaire entre une exposition aiguë et une exposition chronique (se rapporte à une période de vie comprise entre quelques jours et quelques années).

SUBSTRATUM

Terme général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence.

SYMBIOSE

Association à bénéfice réciproque de 2 organismes appelés symbiontes, incapables de vivre l'un sans l'autre.

TERRIGENE

Dépôt marin d'origine continentale.

TEST DE TOXICITE

Ensemble des moyens utilisés pour déterminer la toxicité d'un produit chimique ou d'une autre substance. L'essai de toxicité sert à mesurer l'importance de la réaction produite à la suite d'une exposition à un stimulus d'intensité donné.

VCI

Seuil de concentration en un élément, en un composé, ou en une substance, au-delà duquel une pollution avérée a un impact sur l'homme et sur le milieu dans une démarche d'évaluation simplifiée des risques. Elle constitue un des critères de notation de la vulnérabilité d'un site. Elle ne constitue pas un objectif de réhabilitation.

VDSS

Concentration en un élément, en un composé, ou en une substance qui permet de définir qu'un sol est encore une source de pollution potentielle, et ce quel que soit le milieu de transfert et d'exposition considéré, dans une démarche d'évaluation simplifiée des risques. Elle ne préjuge en rien de la présence ou non de polluants dans les milieux de transfert et d'exposition.