

Les dépassements observés dans les 3 cas sont très légers. Par ailleurs les prélèvements Ep46a et Ep46c étant localisés en rive gauche, on peut supposer que la source de métaux est localisée sur ce secteur.

En dehors de ces très légers dépassements la qualité des sédiments de la retenue de la Roche-qui-Boit est très satisfaisante et l'ensemble des volumes est réglementairement compatible avec une valorisation à terre en épandage.

Les résultats obtenus sur l'échantillon moyen montrent par ailleurs des concentrations supérieures à toutes les valeurs des échantillons premiers pour les paramètres arsenic, cadmium et mercure notamment. Cette observation s'explique par les incertitudes associées au dosage des métaux pour les concentrations les plus faibles de la gamme (le seuil de détection de l'arsenic est égal à 1 mg/kg, celui du cadmium à 0,1 mg/kg et celui du mercure à 0,01 mg/kg).

### III°/ ANALYSE CRITIQUE DES RÉSULTATS

Le plan d'échantillonnage tel qu'il a été conçu permet de lever les incertitudes concernant la qualité globale des 2 plans d'eau :

- Les analyses engagées montrent l'absence de pollution avérée sur la majorité des sédiments du plan d'eau de la Roche-qui-Boit à l'exception d'un secteur dont l'emprise est limitée et localisée en rive gauche, 150 m en amont du barrage. Compte tenu de la faible emprise de ce secteur, il est probable que les teneurs en métaux qui y sont rencontrées sont liées à une source de pollution locale. Un transfert des polluants rencontrés sur la retenue de Vezins se serait traduit par une altération globale des sédiments de la Roche-qui-Boit ;
- La présence de concentrations métalliques plus fortes sur le cône sédimentaire de l'Yvrande est confirmée ;
- Cette augmentation des concentrations en métaux affecte également la qualité des sédiments de Vezins ;
- L'absence de concentrations plus fortes en métaux au niveau des autres affluents renforce cette hypothèse ;
- Le barrage de Vezins joue un rôle de barrière à la diffusion des métaux vers l'aval (piège à sédiments).

Sur la base de ces premiers résultats, il est possible de définir 3 types de secteurs au niveau de la zone d'étude :

- Secteurs banalisables : Ces zones ne présentent pas de dépassement des seuils de référence, S1 et Sol. Les sédiments qui y sont localisés sont considérés comme sains. Les périmètres ici concernés correspondent au secteur localisé en amont du barrage de Vezins ainsi qu'aux différents affluents (en dehors de l'Yvrande) et au barrage de la Roche-qui-Boit en dehors de la

rive gauche au niveau du point Em46. Les concentrations en contaminant relevées permettent, sans précautions préalables, de réaliser des terrassements dans ces matériaux et d'utiliser les sols ainsi constitués sans limitation d'usage ;

- Secteurs pollués : Les sédiments accumulés au niveau du secteur de l'Yvrande montrent de nombreux et importants dépassements des seuils de référence précédemment cités, et notamment des seuils d'épandage. Cette filière de gestion fréquemment mise en œuvre dans le cadre d'opération de valorisation de sédiments fluviaux n'est donc pas acceptable pour ces volumes. Par ailleurs la nature diffuse de la pollution ne permet pas d'identifier de zone plus contaminée ou de secteur épargnée par la diffusion de métaux lourds ;
- Secteurs impactés : La qualité des sédiments qui se trouvent sur ces zones est directement influencée par les polluants retrouvés au niveau des secteurs pollués. Tout le secteur localisé en aval de la confluence avec l'Yvrande ainsi qu'une partie de la superficie en amont est sous influence des sédiments pollués. Il faut également y ajouter une partie de la rive gauche du plan d'eau de la Roche-qui-Boit qui est visiblement en contact avec une source de métaux (cadmium et zinc). Les sédiments sont affectés par des polluants, mais le nombre de dépassements et leur niveau restent limités. Par ailleurs les concentrations en polluant observées sont bien en deçà des seuils d'épandage des boues de STEP et cette filière de valorisation reste accessible pour ces produits. Le dépassement du seuil S1 justifie que des études préalables de risque soient effectuées sur ces zones afin d'y confirmer les usages possibles.

Un zonage basé sur les seuils réglementaires est présenté graphiquement au travers de la *Planche 10*.



# Effacement des barrages de la Sélune et plan de gestion des sites

Zonage seuil de référence de la retenue de Vezins – carte bilan

- Concentrations < aux seuils S1 et sols
- Concentrations > aux seuils S1 et sols
- Concentrations > aux seuils épandage
- Métaux dépassants les seuils S1 et sol
- Métaux dépassant le seuils épandage

SOURCE :  
IDRA Environnement  
Google Earth



DDTM de La Manche



# CHAPITRE 4

## ANALYSE DES USAGES IMPACTÉS PAR LES OPÉRATIONS D'EFFACEMENT

***EFFACEMENT DES BARRAGES DE LA  
SÉLUNE, GESTION DES SÉDIMENTS  
CONTAMINÉS ET PLAN DE GESTION***

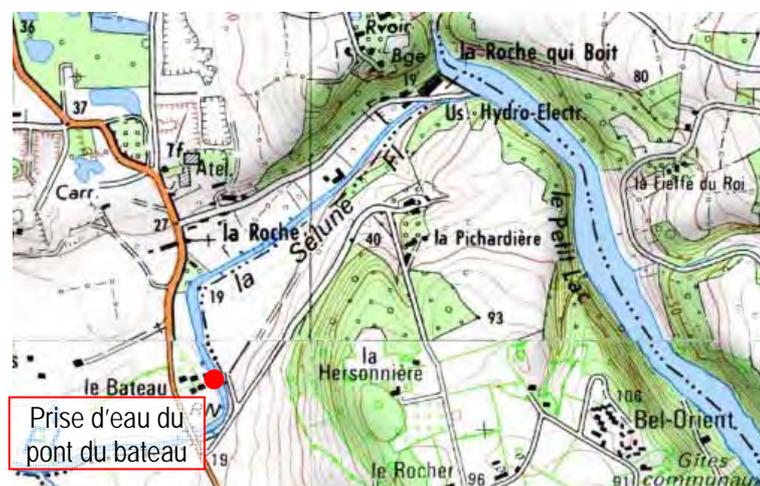


## CHAP IV / ANALYSE DES USAGES IMPACTÉS PAR LES OPÉRATIONS D'EFFACEMENT

### I°/ ALIMENTATION EN EAU POTABLE:

#### I°/ 1 PRÉSENTATION

Directement en aval du barrage de la Roche-qui-Boit, il existe une prise d'eau du Syndicat Mixte d'Alimentation en Eau Potable de la Baie et du Bocage. Le SMAEP Baie Bocage est une collectivité regroupant 43 communes et qui assure un rôle de production et de distribution d'eau sur ce territoire.



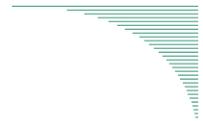
*Figure 11 : Localisation de la prise d'eau en aval du barrage de La Roche-qui-Boit*

La prise d'eau en question a une importance stratégique pour le sud manche (desserte de 30 000 habitants et de laiteries notamment) avec des interconnexions avec Isigny-le-Buat et le SIAEP de St-Hilaire-du-Harcouët.

La capacité de production de l'usine est évaluée à 10 000 m<sup>3</sup>/j, il s'agit d'une filière récente (2001) basée sur la technique de l'ultrafiltration. La production actuelle avoisine 6000 m<sup>3</sup>/j, 75 % de ces volumes proviennent de la Sélune, le reste correspondant aux prélèvements en eaux souterraines.

Du fait de l'importance stratégique de ce captage, une convention relative au soutien d'étiage a été signée avec EDF ; l'objectif de cette convention est, en dessous d'un débit fixé, de permettre la compensation des prélèvements réalisés au titre de l'AEP.

La présence des retenues en amont se traduit par de moindres fluctuations de la qualité des eaux ce qui permet de limiter des besoins en prétraitement des eaux. Des problèmes ont toutefois été mentionnés par les techniciens en charge de l'usine de traitement des eaux lors de phénomènes intenses de production algale (fluctuations de pH, température, colmatage des pré-filtres...).



## I°/ 2 INCIDENCE EN PHASE DE VIDANGE

En vue de limiter les risques en phase de vidange, la possibilité de se passer temporairement de cette prise d'eau en rivière a été évalué. Les forages et les interconnexions possibles avec d'autres réseaux de production d'eau potable doivent permettre de compenser l'absence de production de la prise d'eau du pont du bateau (un forage supplémentaire doit toutefois être mis en œuvre pour sécuriser la filière).

Compte tenu de la possibilité de compenser l'inutilisation du captage au cours de la période de vidange, les incidences sur cet usage peuvent être considérées comme limitées et vont se traduire par une simple réorganisation des moyens en production d'eau potable à l'échelle locale.

## I°/ 3 INCIDENCE APRÈS EFFACEMENT

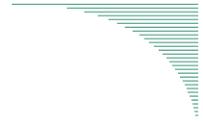
Concernant la qualité des eaux au niveau de la prise d'eau du pont du bateau, la suppression des barrages va se traduire par des effets positifs et négatifs :

- Effets négatifs :
  - Transfert vers l'aval des dégradations de qualité amont ;
  - Suppression des effets « tampons des plans d'eau » ;
- Effets positifs :
  - Suppression de la production algale liée aux eaux stagnantes ;
  - Restauration de capacité d'autoépuration du cours d'eau.

Pour ce qui est des débits, la nature reprenant ses droits, un retour à la situation antérieure aux ouvrages va être observé. Du fait de la disparition des 2 plans d'eau, les phénomènes d'évaporation vont diminuer ce qui va se traduire par une augmentation du débit notamment en période d'étiage. Concernant les risques d'inondations en cas de crue, la vallée dispose d'une configuration peu propice à l'enneigement de zones habitées ou sensibles

La production d'eau potable ne doit pas non plus être affectée, puisque même pour les étiages sévères (référence de 500 l/s en 1976), les besoins de prélèvement de la filière sont 5 fois plus faibles (100 l/s au niveau de la prise d'eau du pont du bateau).

Des aménagements sur la station de traitement sont toutefois à prévoir du fait de la disparition du rôle tampon des barrages notamment en cas de pollutions accidentelles sur le bassin versant.



## **II°/ PRODUCTION D'ÉNERGIE HYDRO-ÉLECTRIQUE**

### **II°/ 1 PRÉSENTATION**

Les 2 barrages concernés par la présente étude ont initialement été créés pour produire de l'électricité. Cette production électrique est toujours d'actualité et la puissance des équipements en place est évaluée à 12,8 MW pour le barrage de Vezins et 1,6 MW pour le barrage de la Roche-qui-Boit. Soit une production annuelle de 23 GWh pour les 2 ouvrages.

Cette quantité d'énergie permet de satisfaire aux besoins de 10 à 15 000 habitants. À titre de comparaison la production électrique est équivalente à 5 % de ce qui est produit par le barrage de la Rance correspondant à environ 5 à 10 éoliennes.

Cette activité génère 5 emplois directs pour EDF et environ une dizaine d'emplois indirects (sous-traitance, entretien, tourisme...). Les communes perçoivent environ 200 000 euros par an pour les ouvrages et les lignes hautes tensions associées.

Cette production d'énergie hydro électrique implique une obligation de vidanges périodiques pour l'entretien des ouvrages.

### **II°/ 2 INCIDENCE EN PHASE DE VIDANGE**

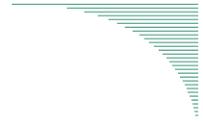
Au cours de la phase de vidange, il sera possible en partie de poursuivre la production hydroélectrique tant que la vanne alimentant la turbine sera alimentée.

Lorsque les niveaux d'eaux seront inférieurs à la cote limite du radier de cette vanne le turbinage ne sera plus possible

À noter toutefois que la vidange du barrage de Vezins doit normalement être programmée avant celle du barrage de la Roche-qui-Boit ce qui devrait permettre de poursuivre l'utilisation de cet équipement pour une période plus longue. Il s'agit toutefois de la plus petite unité dont la production électrique reste anecdotique (8 fois moins importante que Vezins).

### **II°/ 3 INCIDENCE APRÈS EFFACEMENT**

La production électrique est directement impactée par le démantèlement des 2 barrages.



## **III°/ ACTIVITÉ NAUTIQUE ET DE LOISIR**

### **III°/ 1 PÊCHE DE LOISIR**

#### **III°/ 1. 1 PRÉSENTATION**

Ces activités de loisirs concernent essentiellement la pêche de poissons blancs et carnassiers. Les APPMA locales rassemblent un peu plus de 1 600 membres. À noter également la présence de nombreuses cabanes construites sur les berges des plans d'eau par des pêcheurs passionnés.

Historiquement, suite à la construction du barrage de la Roche-qui-Boit et sous la pression des associations de pêche locales, la Sélune a obtenu son classement en cours d'eau à migrateurs en 1924.

La Sélune tout comme la Sée, une rivière voisine correspond à un milieu à fort potentiel. Cette rivière en l'absence des barrages devrait donc disposer de populations piscicoles caractéristiques des cours d'eau 1<sup>ère</sup> catégorie : Poissons migrateurs, Truites et espèces d'accompagnement.

Les différents essais (passe à poisson, transfert amont...) visant à la reconquête de la rivière par ces espèces se sont soldés par un échec du fait de l'importante longueur des 2 barrages (caractéristique des ouvrages localisés en plaine).

#### **III°/ 1. 2 INCIDENCE EN PHASE DE VIDANGE**

Au cours de la vidange et comme cela se pratique habituellement, il est probable que la pêche sera interdite. Une fois le plan d'eau suffisamment abaissé, les différents poissons seront récupérés et réutilisés dans le cadre d'opération de réempoissonnement sur des plans d'eau voisins. Les espèces nuisibles seront orientés vers l'équarrissage comme la réglementation l'oblige.

Cette pêche de sauvetage doit permettre de limiter les risques de mortalité importants des stocks piscicoles en place. En revanche l'activité de pêche de loisir ne pourra être mise en œuvre tout au long de la phase de vidange.

#### **III°/ 1. 3 INCIDENCE APRÈS EFFACEMENT**

La disparition des 2 barrages va se traduire par la réouverture de l'axe migrateur. Il est d'ailleurs prévu qu'un plan de gestion piscicole soit mis en œuvre pour accélérer la recolonisation du fleuve par ces espèces. La Figure 12 schématise les potentialités de production en Saumon Atlantique sur le fleuve de la Sélune.

Concernant les espèces autrefois inféodées aux plans d'eau, les caractéristiques du cours d'eau vont s'avérer inadaptées ou limitantes pour leur développement. La pêche de loisir telle qu'elle se pratique à l'heure

actuelle sur les plans d'eau est vouée à disparaître et sera à terme remplacée par les diverses techniques de pêche en rivière (pêche au coup, pêche à la mouche...).

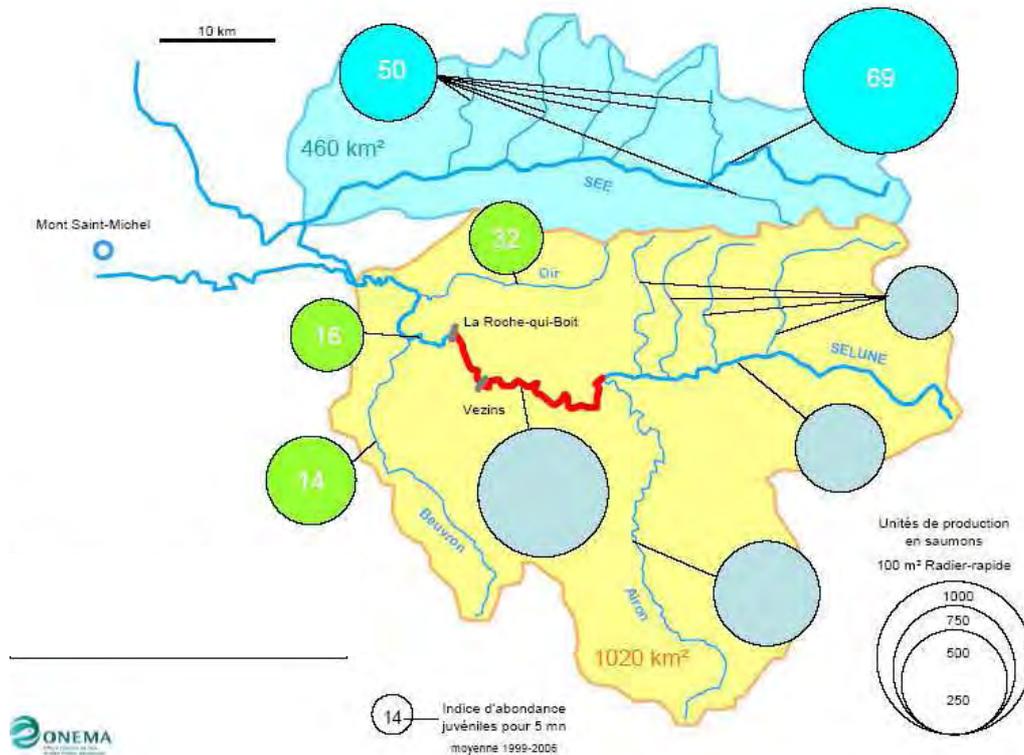


Figure 12 : Capacité de production en Saumon Atlantique de la Sélune et de la Sée

Tout comme la vidange des plans d'eau, l'opération d'effacement des barrages de la Sélune montre également une incidence lourde sur la pêche de loisir en se traduisant par une modification profonde des habitudes de pêches des différents usagers.

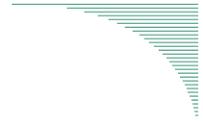
### III°/ 2 LOISIR TOURISME

#### III°/ 2. 1 PRÉSENTATION

Les plans d'eau de Vezins et de la Roche-qui-Boit disposent d'une superficie de 240 hectares ce qui implique inévitablement une fréquentation du secteur due à leur présence.

Deux types d'enjeux doivent être pris en compte :

- Les activités directement liées à la présence des plans d'eau ;
- Les activités bénéficiant du développement touristique « pays des lacs ».



Dans ce contexte, 2 centres de loisirs se sont développés au niveau du secteur des plans d'eau :

- La base de loisir de la Mazure ;
- Le parc de loisir de l'Ange Michel.

### **1 ) La vallée de la Sélune**

Elle s'étend sur 6 cantons et dispose d'une capacité d'hébergement touristique de 9730 lits (3,5% de la Manche) dont :

- 7050 résidences secondaires ;
- 2680 (La Mazure 12%, 19 000 nuitées) lits marchands ;
- 133 000 visiteurs sur les sites de visite (dont 70 000 visiteurs pour le parc de loisirs de l'Ange Michel) ;
- 40 millions d'euros de € chiffre d'affaire généré (10 M€ hébergement, 25 à 30 M€ économie locale) ;
- Soit 500 à 800 emplois induits.

### **2 ) Parc de loisirs de l'Ange Michel**

Ce parc qui s'étend sur 10 hectares propose de multiples attractions à son public. Des circuits de randonnées autour des lacs sont également disponibles.

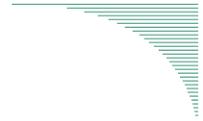
Le parc avec ses 70 000 entrées annuelles dispose d'un chiffre d'affaires d'environ 700 000 euros ce qui lui permet d'en réinvestir environ 150 000 tous les ans. Il emploie 3 salariés à temps plein et recrute environ 8 à 30 saisonniers supplémentaires d'avril à septembre.

### **3 ) La Mazure**

Cette base de loisir propose des hébergements et des activités pour partie en lien direct avec le plan d'eau de Vezins.

La structure accueille principalement des groupes (classes, clubs sportifs, associations d'handicapés...) et génère environ 15 000 nuités annuellement (pointe à 19 000 en 2007).

La base de loisir dispose d'équipements nautiques pour la découverte des lacs et de nombreux projets pédagogiques sont construits autour des lacs et de l'énergie hydroélectrique.



Elle génère un chiffre d'affaires de 500 000 à 600 000 € / an dont la moitié permet de financer la masse salariale composée de 16 permanents (dont 6 temps partiels), 7 emplois saisonniers ainsi que d'animateurs en vacances.

### **III°/ 2. 1 INCIDENCE EN PHASE DE VIDANGE**

Ce sont les activités de la base de loisir de la Mazure qui vont être les plus fortement pénalisées au cours de la phase de vidange. L'essentiel de ces activités est en lien direct avec les plans d'eau, leur vidange va donc inéluctablement impacter le fonctionnement de la base de loisir.

Concernant le parc de loisirs de l'Ange Michel, seule une partie des revenus de l'entreprise est issue de la présence des lacs (parcours de randonnée), ce dernier va donc être moins pénalisé par les travaux de vidange.

La vallée de la Sélune tirant ses bénéfices d'autres atouts, l'impact sur la fréquentation de ce secteur s'avère également limité.

### **III°/ 2. 2 INCIDENCE APRÈS EFFACEMENT**

La disparition des plans d'eau va impliquer de revoir totalement l'axe de développement retenu pour la base de loisirs de la Mazure. Une étude spécifique est en cours de manière à définir les meilleures perspectives à suivre pour pérenniser son activité.

Cette étude à une plus grande échelle doit permettre d'identifier une nouvelle identité touristique au secteur. Le maintien des capacités d'hébergement locales autour de la vallée implique de développer de nouveaux projets et gérer la phase transitoire entre les lacs et le cours d'eau (prise en compte de la contrainte dans le développement des nouvelles activités).

# CHAPITRE 5

## ÉTUDE DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES

***EFFACEMENT DES BARRAGES DE LA  
SÉLUNE, GESTION DES SÉDIMENTS  
CONTAMINÉS ET PLAN DE GESTION***

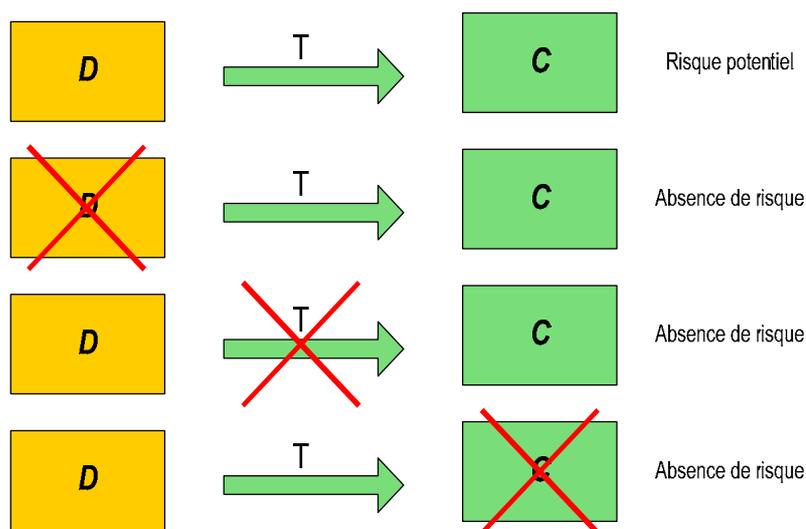


## CHAP V / ÉTUDE DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES

### I°/ MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES RISQUES

#### I°/ 1 APPROCHE GLOBALE

De manière générale, quelle que soit la méthodologie suivie, une évaluation des risques prend en compte la coexistence d'une à plusieurs sources de danger (D) et d'une à plusieurs cibles potentielles (C) susceptibles d'être affectées par la source de danger. L'évaluation des risques revient à étudier la source, la cible ainsi que les interactions potentielles entre la source et la cible. Ces interactions existent via des voies ou mécanismes de transfert (T) qui surviennent entre D et C. Ces interactions peuvent être schématisées de la manière suivante.



*Figure 13 : Principe de base de l'évaluation des risques*

En l'absence de source de danger, il est évident que tout risque pour la cible peut être exclu. De même, en l'absence de cible, la source de danger ne pose pas de problème. Dans le cas où il n'existerait aucune voie ou mécanisme de transfert entre la source et la cible, les risques peuvent également être exclus, même si celles-ci se situent à proximité l'une de l'autre.

Toute évaluation des risques débute logiquement par l'inventaire des sources de danger et des cibles, afin d'établir par la suite leurs interactions potentielles. Ces interactions sont alors représentées sous forme d'un schéma conceptuel.

## I°/ 2 DÉMARCHE ITÉRATIVE

IDRA ENVIRONNEMENT propose d'utiliser une approche itérative de l'évaluation des risques. Cette approche consiste à envisager la situation de la manière la plus globalisante dans un premier temps, pour s'orienter vers des scénarios de plus en plus précis par la suite, tendant d'avantage vers la situation réelle. Ainsi, dès le début de l'étude, l'évaluation des risques adopte un principe de « **pire cas réaliste** » par l'utilisation de modèles simplifiés et d'hypothèses conservatoires (exemple : on suppose que les concentrations en contaminant dans un lac sont maximales pour la totalité du volume, plutôt que de considérer un gradient de concentration au sein de la masse d'eau).

Si le résultat final conclut à un risque inexistant sur base des hypothèses les plus pénalisantes, on peut admettre que le phénomène ou à la situation étudiée ne présente pas de risque pour l'environnement et la santé humaine. Dans le cas contraire, la modélisation devra d'avantage tendre vers la réalité.

Cette approche itérative peut être résumée par le logigramme suivant :

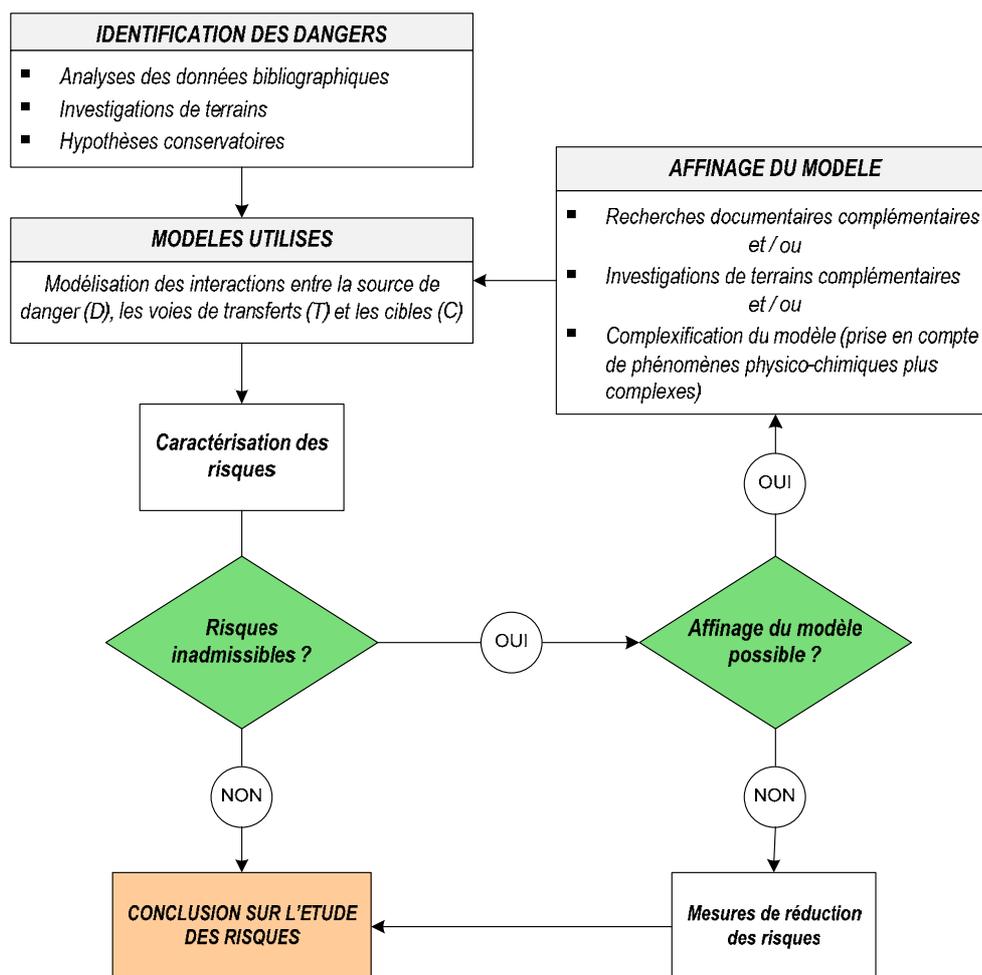


Figure 14 : Démarche itérative de l'évaluation des risques

En vertu du principe de proportionnalité, les moyens mis en œuvre pour modéliser la situation doivent s'ajuster à la complexité et/ou à la gravité de la situation étudiée. Dans certains cas, il arrive un moment où la modélisation atteint ses limites en raison de la complexité du phénomène (ou d'un manque de données ou de connaissances scientifiques) avant que l'absence de risque ait été démontrée.

Des mesures de prévention devront alors être mises en œuvre pour supprimer ces risques. Que ce soit pour des raisons financières, techniques ou de délai, il peut être plus intéressant de proposer des mesures de prévention plutôt que de pousser la modélisation trop loin.

### I°/ 3 ÉVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

L'évaluation du risque chimique dans l'environnement doit permettre d'estimer si la présence d'un contaminant donné dans le milieu naturel présente un risque immédiat ou à venir pour l'environnement.

Plusieurs méthodes d'évaluation du risque chimique existent. La présente étude se base sur la méthodologie européenne, mise en application par le Règlement (CE) n°1488/94 de l'Union Européenne et détaillée dans le guide méthodologique européen « *Technical Guidance Document* » [ECB, 2003], servant de document de référence. La publication de l'IFREMER « *Analyse du risque chimique en milieu marin – L'approche méthodologique européenne* » [MARCHAND, TISSIER, 2005] vient également appuyer cette démarche. Les deux hypothèses fondamentales de cette méthodologie sont :

- ⇒ La protection des espèces d'un écosystème protège sa structure et donc son fonctionnement ;
- ⇒ La protection de l'espèce la plus sensible permet la protection de l'ensemble de l'écosystème.

Comme indiqué sur la Figure 15, la démarche d'évaluation du risque chimique dans l'environnement met en relation deux concepts :

- **L'évaluation de l'exposition des écosystèmes**, qui repose sur la mesure de la concentration d'une substance dans un compartiment donné de l'environnement (eau douce, eau marine, sédiment, biote). Cette concentration peut également être estimée à partir de modèles appropriés. Cette étape débouche sur l'établissement de **PEC** (Predicted Environmental Concentration) ;
- **L'évaluation du danger**, qui consiste en une caractérisation de l'écotoxicité d'une substance, afin d'établir sa concentration maximale ne présentant pas d'effets délétères pour le milieu naturel (**PNEC** : Predicted No Effect Concentration). Cette concentration peut être variable selon le compartiment de l'environnement ; sa pertinence est fonction de l'abondance et de la nature des données d'écotoxicité disponibles pour l'établir. Plus la concentration sans effet d'une substance est faible, plus cette substance est dangereuse pour le milieu naturel.

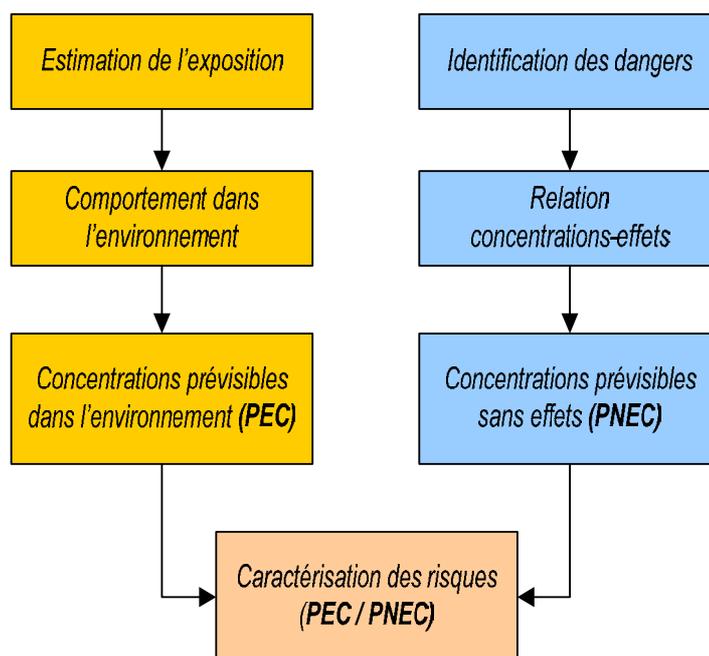


Figure 15 : Schéma de l'évaluation du risque chimique dans l'environnement. [Source : Marchand et Tissier, 2005]

Suite à ces deux étapes, l'évaluation du risque, proprement dite, est réalisée par confrontation entre la PEC et la PNEC. Trois cas peuvent alors se présenter :

- **PEC > PNEC** : La valeur d'exposition dépasse la valeur seuil ; il y a un risque pour le milieu. Il est cependant possible que le risque soit surévalué. Un affinage des connaissances vis-à-vis les PEC ou des PNEC peut s'avérer nécessaire ;
- **PEC < PNEC** : La valeur d'exposition est en deçà de la valeur seuil ; il n'y a pas de risque pour le milieu. Cela est avéré si la PEC est systématiquement surévaluée, et si la PNEC est systématiquement sous-évaluée ;
- **PEC ≈ PNEC** : la valeur d'exposition est similaire à la valeur seuil ; le risque ne peut être déterminé dans l'état actuel des connaissances. PEC et/ou PNEC doivent être recalculées de façon plus précise (avec plus de données, des méthodes plus adaptées) pour pouvoir statuer sur le risque.

Les PNEC sont calculées par des organismes experts, comme l'INERIS<sup>1</sup> en France. La méthodologie utilisée pour estimer les PNEC est décrite dans le Technical Guidance Document [ECB, 2003]. Selon les données disponibles, il existe des PNEC eau douce, eau marine, sédiment et orale (empoisonnement secondaire des prédateurs par leurs proies). Toutes ces valeurs seuils sont extrapolées à partir de résultats expérimentaux, affectés d'un facteur d'incertitude variable selon la qualité et la quantité des données nécessaire au calcul. Dans le cadre de cette étude, les PNEC des substances proviennent majoritairement des fiches toxicologiques de l'INERIS.

<sup>1</sup> INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

## I°/ 4 ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

L'évaluation des risques sanitaires présentée dans ce rapport est conforme au cadre défini dans les guides généraux de l'INSTITUT NATIONAL DE VEILLE SANITAIRE<sup>2</sup> [INVS, 2000] et aux modalités de mise en œuvre décrites par le guide méthodologique pour l'évaluation des risques sanitaires des études d'impact des ICPE, établi par l'INERIS [INERIS, 2003].

L'évaluation des risques sanitaires doit aboutir à une analyse structurée où les éléments d'informations disponibles en l'état actuel des connaissances scientifiques sont collectés, ordonnés et évalués afin de quantifier les risques d'une manière transparente.

Ainsi, l'étude des risques sanitaires réalisée se décompose en **4 étapes** indissociables détaillées ci-dessous et synthétisées en Figure 16 :

1. **Identifier les sources de danger** : La première étape est consacrée à la caractérisation du site et de son environnement. Un inventaire qualitatif et quantitatif des contaminants présents dans l'air, le sol et l'eau sont réalisés pour la sélection des contaminants « traceurs » des risques sanitaires ;
2. **Évaluer le rapport dose (concentration) / réponse (effets)** : Lors de cette étape, l'incidence et la gravité des effets sur la santé sont estimées pour chaque contaminant retenu (analyses des valeurs toxicologiques de référence, valeurs réglementaires et/ou préconisées...) ;
3. **Évaluer l'exposition** : L'objectif est de déterminer les voies de transfert des contaminants « traceurs » de la source vers la cible et d'estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition (calculs des Doses Journalières d'Exposition : DJE). Cette étape fait intervenir un modèle permettant d'estimer les concentrations en contaminant dans les différents milieux d'exposition (eau, sédiment, biote,...) en contact avec l'homme ;
4. **Caractériser les risques** : Cette dernière étape correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Les incertitudes sont évaluées qualitativement en fonction de leur caractère majorant ou minorant et de l'interprétation des résultats.

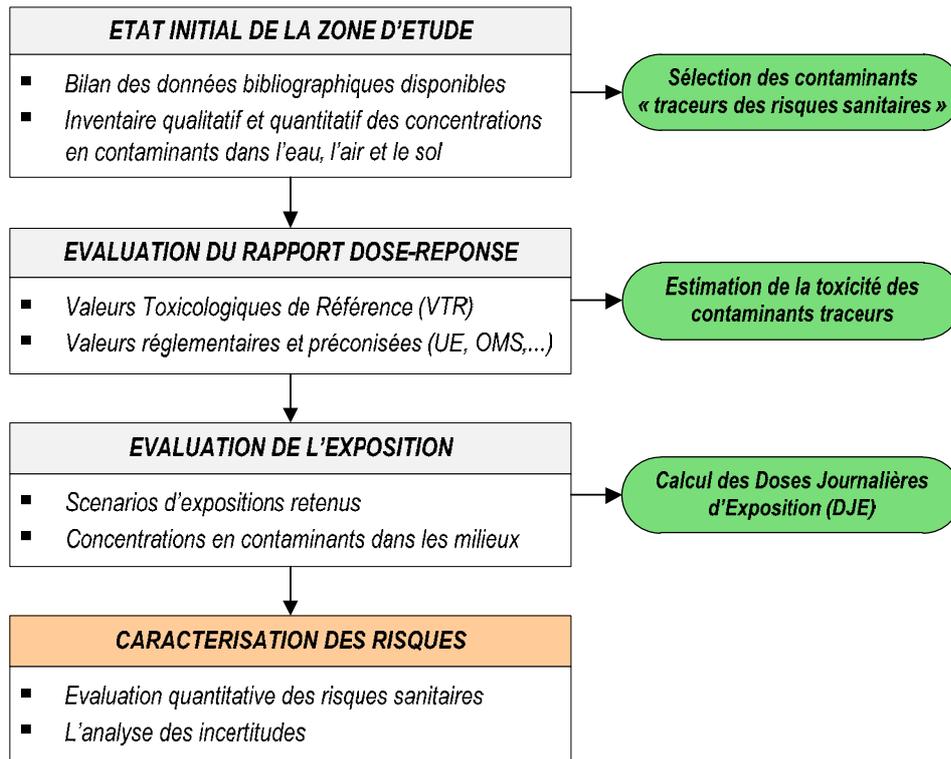
D'autre part, cette évaluation est réalisée en appliquant certains principes (d'après INERIS, 2003) :

- **Le principe de précaution**, principe « selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable » ;
- **Le principe de proportionnalité**, veillant à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude, le degré de contamination et son incidence prévisible ;

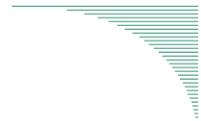
<sup>2</sup> INVS : Établissement public, placé sous la tutelle du ministère chargé de la Santé, l'Institut de veille sanitaire réunit les missions de surveillance, de vigilance et d'alerte dans tous les domaines de la santé publique.

- **Le principe de spécificité**, assurant la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement ;
- **Le principe de transparence**, impliquant que le choix des hypothèses, des outils à utiliser et du degré d'approfondissement nécessaires soient expliqués et cohérents.

L'évaluation des risques se termine par une conclusion dans laquelle les résultats sont résumés, commentés et mis en perspective.



*Figure 16 : Étapes de l'évaluation des risques sanitaires*



## II°/ DÉTERMINATION DU SCHÉMA CONCEPTUEL

À partir des investigations de terrain, le schéma conceptuel doit représenter de façon synthétique tous les scénarii d'expositions directes ou indirectes, susceptibles d'intervenir. Il identifie les enjeux environnementaux et sanitaires à considérer dans la zone d'étude et permet ainsi de traduire le concept de « **Sources → Voies de transfert → Cibles** ».

### II°/ 1 SOURCE DE POLLUTION

Dans le cas présent, la source de danger est principalement constituée par la contamination présente dans les sédiments. Les contaminants analysés et étudiés sont exclusivement inorganiques (éléments traces métalliques et métalloïde<sup>3</sup>) : **Arsenic** (métalloïde), **Cadmium**, **Chrome**, **Cuivre**, **Mercure**, **Nickel**, **Plomb** et **Zinc**. Le comportement et les caractéristiques physico-chimiques des contaminants précités sont présentés en *Annexe V*.

### II°/ 2 VECTEURS DE TRANSFERT

#### II°/ 2. 1 MÉCANISMES DE TRANSFERT

Les mécanismes de propagation des contaminants piégés dans les sédiments sont nombreux et complexes. Ils font intervenir des phénomènes physiques, chimiques et biologiques, à des échelles de temps variables, influençant le comportement et les formes des contaminants (Figure 17).

Parmi ces **mécanismes de transfert**, on peut distinguer et préciser, en rapport avec l'étude :

- **Les processus relargages** : Les contaminants associés aux sédiments et MES sont soumis à des processus d'échanges avec la colonne d'eau (**sorption/désorption**). Ces échanges dissous/solides sont contrôlés par les conditions physico-chimiques des sédiments (potentiel rédox, fraction en carbone organique) et de la colonne d'eau (pH, salinité, O<sub>2</sub> dissous, ...) ;
- **Les processus de bioconcentration et bioaccumulation** : La bioconcentration est le résultat net de l'accumulation, la distribution et l'élimination d'un contaminant dans un organisme vivant en relation directe avec l'eau (seule voie d'exposition). La bioaccumulation prend en considération toutes les voies de transfert d'un contaminant dans un organisme (l'air, l'eau, les sédiments, le sol et la nourriture) [MARCHAND, TISSIER, 2005] ;
- **Les processus d'érosion** : Au cours de l'effacement des barrages, l'effet des débits d'eau sur les fonds aura pour résultat d'éroder les sédiments non consolidés. Il en va de même pour les berges de la Sélune, constituées de sédiment sec, soumises à l'érosivité des pluies ;

<sup>3</sup> *Métalloïde* : Élément chimique dont les propriétés physiques et chimiques sont intermédiaires entre celles d'un métal et d'un non-métal.

- **Les processus de lixiviation** : La percolation des eaux météoriques à travers les sédiments secs aura pour effet de faciliter la migration des contaminants depuis les berges.

*Remarque* : Pour des raisons de cinétique, le transport de contaminant par ruissellement des eaux de pluie à la surface des sédiments secs est considéré comme marginal face aux processus de perte par érosion. Par conséquent, la pertinence de ce mécanisme de transfert a été considérée comme négligeable.

Au final, le comportement des contaminants est gouverné par ses propriétés physico-chimiques et par les conditions environnementales des milieux dans lesquels ils sont susceptibles de migrer.

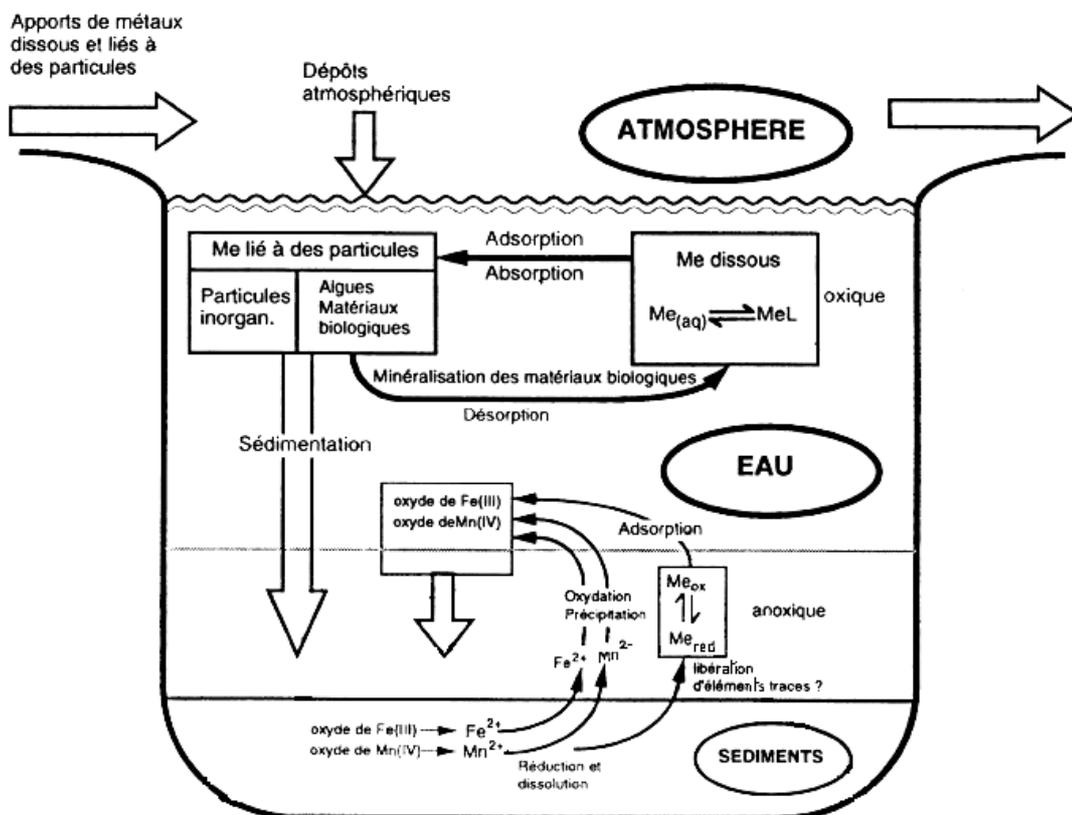


Figure 17 : Cycle des contaminants dans l'environnement aquatique [Sigg, 1992]

## II°/ 2. 2 VOIES D'EXPOSITION

Il s'agit de déterminer les possibilités de transfert des contaminants depuis la source vers les enjeux identifiés. Dans le cadre de l'étude, les **voies de transfert** à considérer sont :

- **L'ingestion** d'eau de surface (activités nautiques), de sédiment sec (berges asséchées) et des organismes aquatiques (poissons) ;
- **L'inhalation** de poussière (envol de particules de sédiment depuis les berges asséchées).

*Remarque* : D'après les propriétés physico-chimiques des contaminants inorganiques (faible perméabilité cutanée, pression de vapeur très élevée), les risques d'absorption cutanée et d'inhalation de contaminants

*volatiles sont considérés comme infimes devant les risques d'ingestion. De plus, aucune utilisation des eaux souterraines n'a été recensée à proximité du site. Par conséquent, la pertinence de ces voies d'expositions a été considérée comme négligeable.*

La **Planche 11** permet d'apprécier les différents milieux, mécanismes de transfert et voies d'exposition adoptés dans l'étude.

## II°/ 3 CIBLES ET SCÉNARIOS D'EXPOSITION

D'après les informations collectées, le projet d'effacement des barrages pourrait affecter plusieurs cibles et usages recensés.

### II°/ 3. 1 CIBLES AU SEIN DE L'ÉCOSYSTÈME

Les contaminants piégés dans les sédiments sont en partie disponibles pour le compartiment biologique via les processus mis en évidence précédemment. Cette biodisponibilité touche en premier lieu les organismes vivant dans les sédiments (macrofaune benthique : annélides et mollusques bivalves fouisseurs) ; puis les organismes benthiques vivants à proximité du sédiment, se nourrissant dans les premiers centimètres au-dessus du fond (crustacés et les poissons démersaux). Enfin, les plus hauts niveaux trophiques peuvent être atteints par le jeu des chaînes trophiques : les poissons pélagiques se nourrissant de poissons démersaux. Par conséquent, l'ensemble des maillons de cette chaîne peut être impacté de manière plus ou moins forte, par cet apport en polluants (Figure 18).

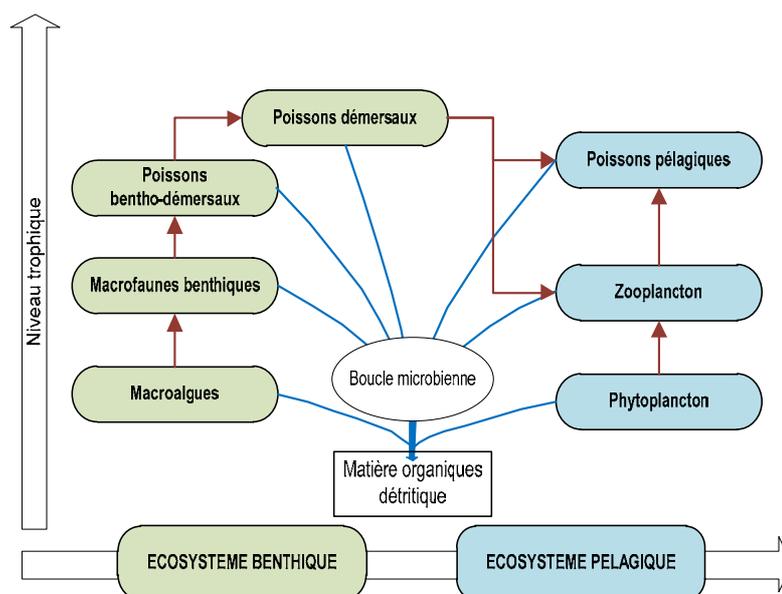
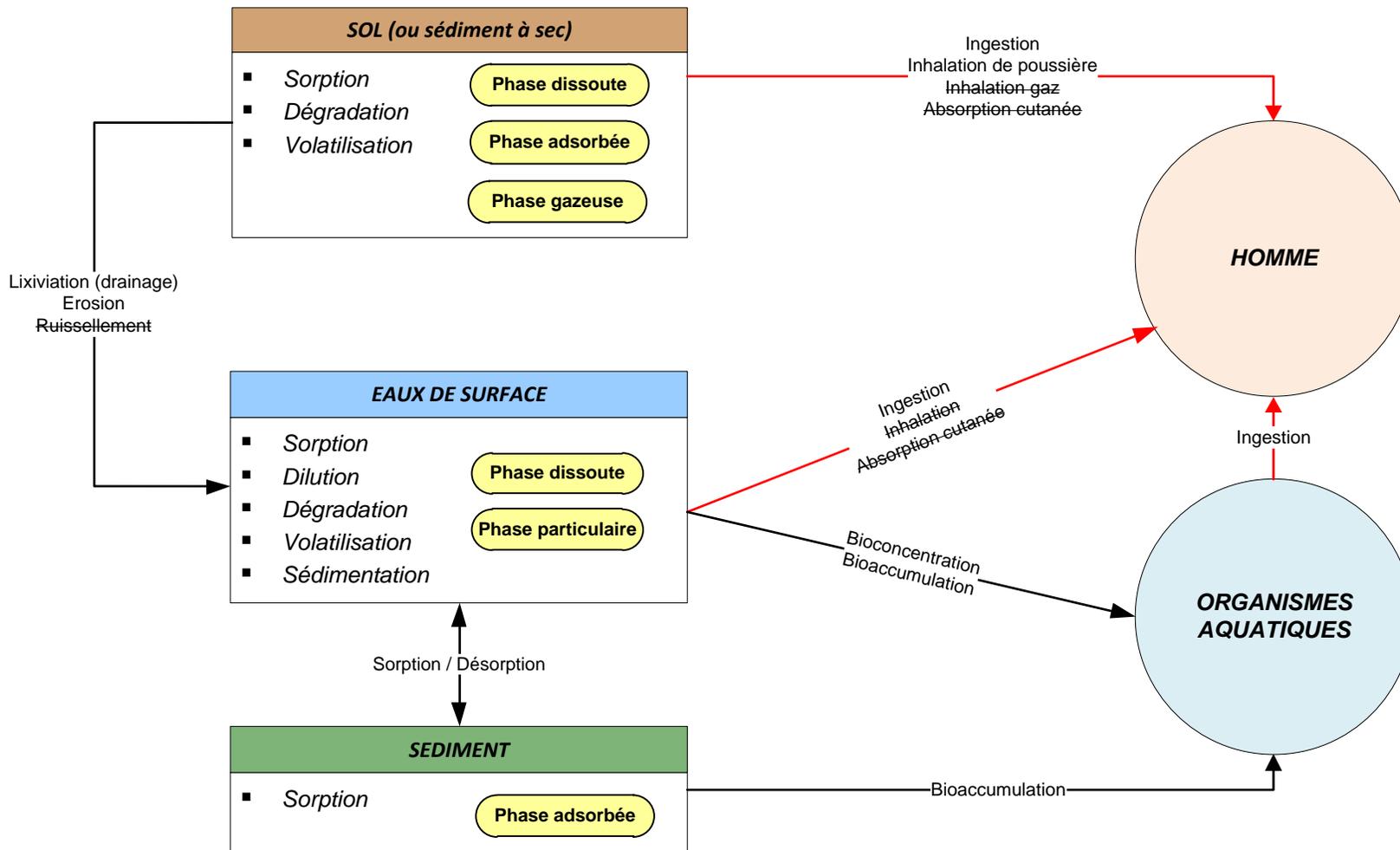


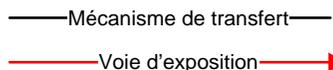
Figure 18 : Synthèse des réseaux trophiques du milieu aquatique

*Remarque : Les contaminants des sédiments peuvent ainsi arriver jusqu'à l'être humain par le biais des espèces commerciales de poissons, mollusques et crustacés.*



**MILIEUX, MÉCANISMES DE TRANSFERT ET VOIES D'EXPOSITION**

LÉGENDE :



Source : IDRA, INERIS

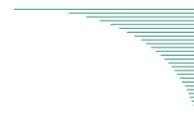


DDTM de La Manche



Juin 2012

PLANCHE 11



## II°/ 3. 2 CIBLES HUMAINES : USAGES DU MILIEU

D'après les usages du milieu, les populations cibles sont présentées dans le Tableau 7 sous la forme de scénarii d'exposition. Dans le cas présent, les scénarii d'expositions retenus prennent en compte :

<i>CIBLES / POPULATION CONCERNÉES</i>	<i>SCENARII D'EXPOSITION</i>	<i>PERTINENCE</i>	<i>SECTEURS SENSIBLES</i>
USAGES RECREATIFS : Enfants, adultes	Ingestion d'eau accidentelle (baignade)	OUI	Retenue de Vezins
	Ingestion d'eau (captage d'eau superficielle)	NÉGLIGEABLE (EAU TRAITÉE)	Aval de la Roche-qui-Boit
	Ingestion de sédiment	OUI	Abords de la Sélune
	Inhalation de poussière de sédiment	OUI	Abords de la Sélune
	Consommation de poisson	OUI	Sur tout le site
	Inhalation de gaz du sol	NÉGLIGEABLE	Abords de la Sélune
	Absorption cutanée	NÉGLIGEABLE	Abords de la Sélune

*Tableau 7 : Populations et scénarii d'exposition considérés*

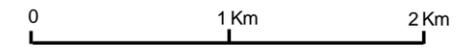
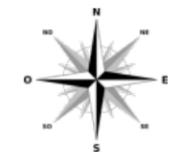
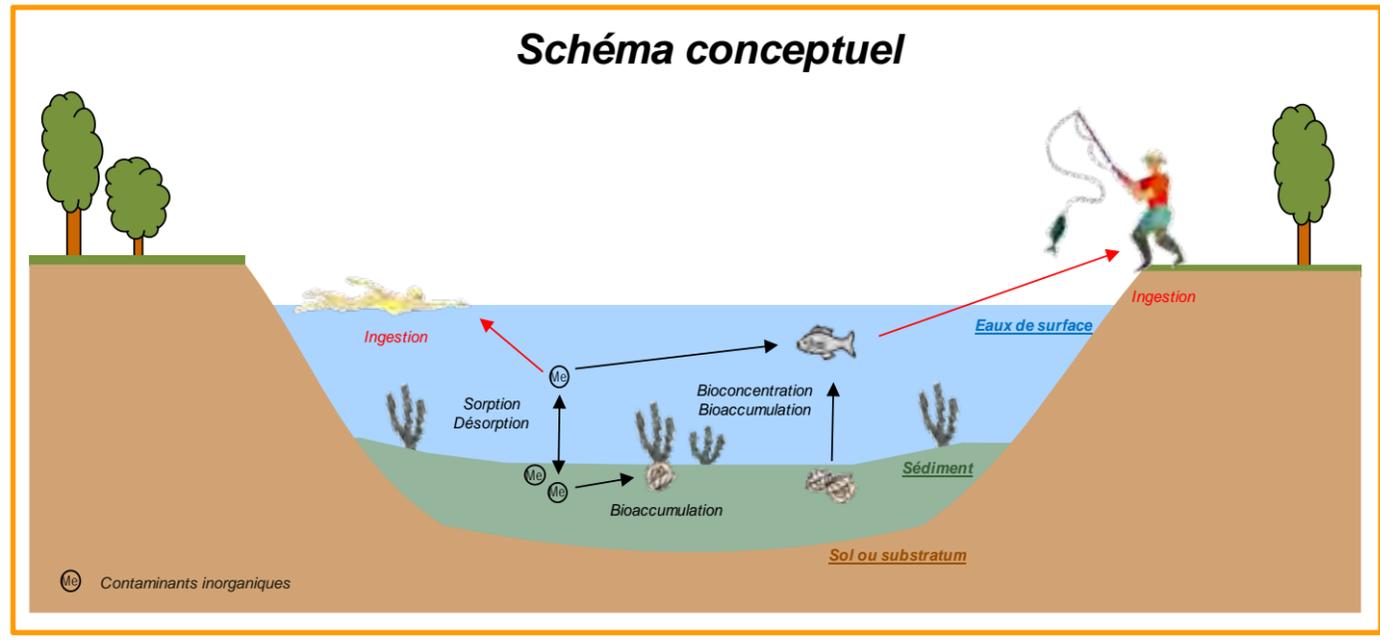
## II°/ 4 SCHÉMA CONCEPTUEL

Les schémas conceptuels présentés *Planches 12* et *13* reprennent les différentes sources de contaminations, voies de transfert et cibles exposées. Ils représentent ainsi les interactions « **Sources** → **Voies de transfert** → **Cibles** » mettant ainsi en évidence les risques potentiels du projet en phase de vidange (PHASE 1 et 2) et d'effacement des deux barrages (PHASE 3).

**La Roche qui Boit**



**Veziins**



**SCHÉMA CONCEPTUEL – PHASE 1 ETAT ACTUEL**

**LÉGENDE :**

- Site de baignade
- Acticité de pêche

- Barrage hydroélectrique

- Voies d'exposition
- Mécanismes de transfert

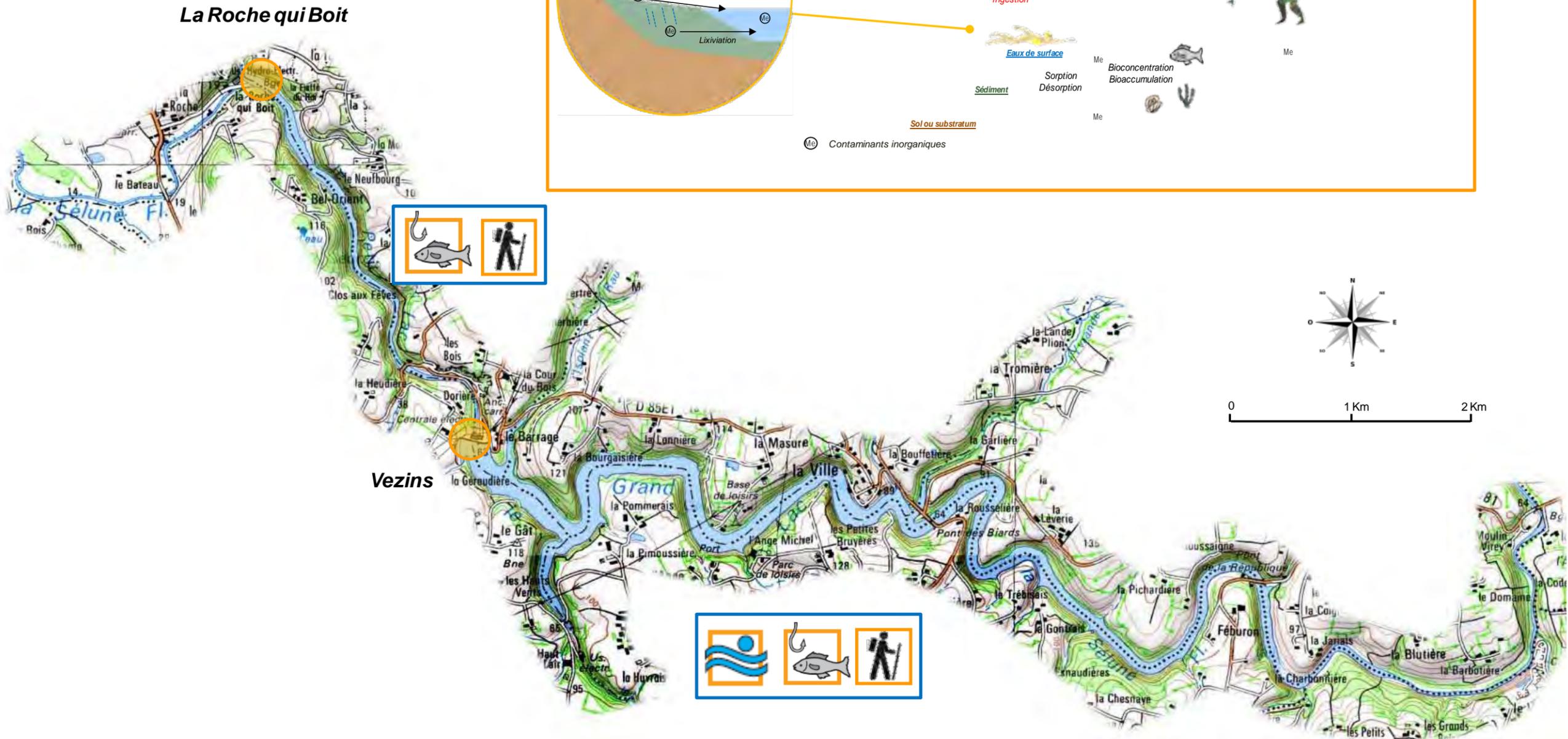
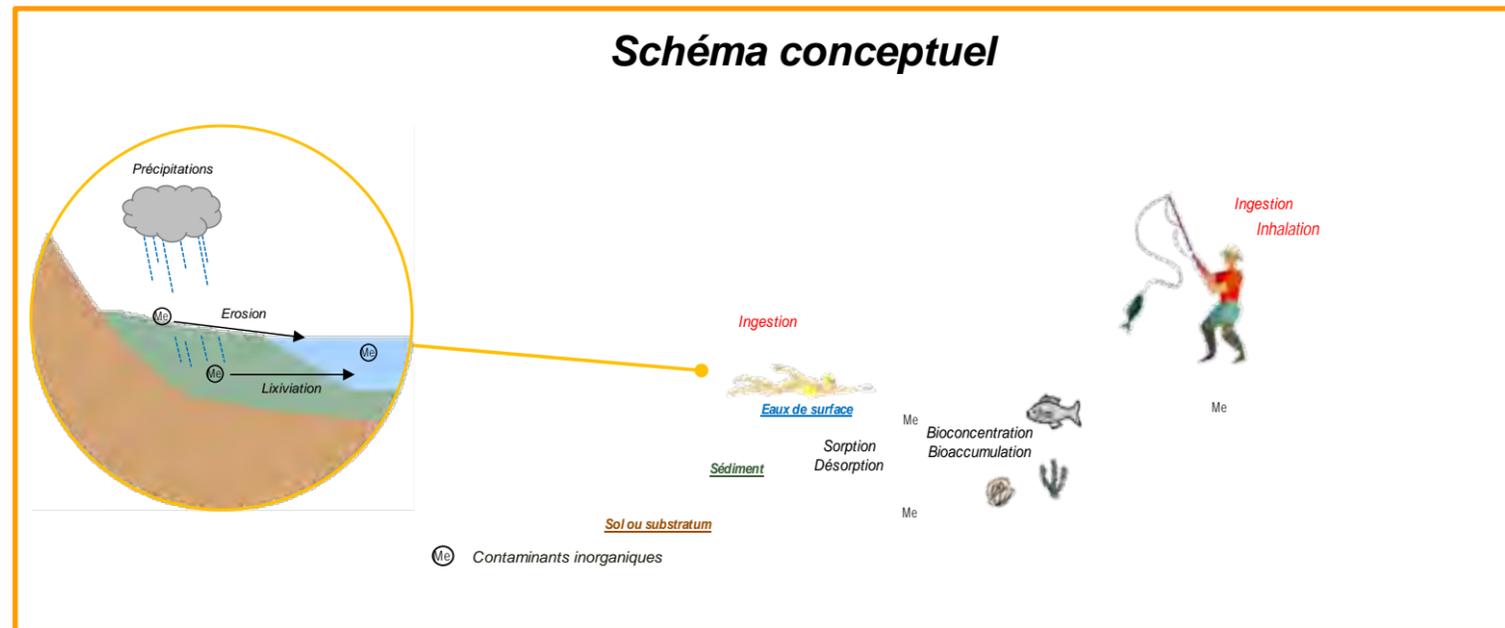
Sources : IDRA, IGN



DDTM de La Manche



## Schéma conceptuel



### SCHÉMA CONCEPTUEL – PHASE 3 ETAT APRÈS VIDANGE DÉFINITIVE ET EFFACEMENT DES BARRAGES

LÉGENDE :



Zone de promenade



Activités aquatiques



Activité de pêche



Voies d'exposition



Mécanismes de transfert

Sources : IDRA, IGN



DDTM de La Manche



Juin 2012

PLANCHE 13

## III°/ MODÉLISATION

### III°/ 1 PRINCIPES ET OBJECTIFS

Les modèles sont spécifiques à un milieu donné. Ils s'intéressent au devenir d'un polluant à partir d'un milieu vers un autre ou au devenir d'un polluant dans un seul milieu. Le degré de complexité des modèles est très variable et est proportionnel à l'importance du jeu de données et au temps nécessaire pour les mettre en application.

Dans le cadre de l'étude, les modèles choisis permettent d'estimer les concentrations en contaminant dans les différents milieux (PEC : Predicted Environmental Concentration) en intégrant au mieux les mécanismes de transfert visés précédemment (CHAP V /II°/ 2, page 62).

### III°/ 2 CHOIX DES MODÈLES

#### III°/ 2. 1 MODÈLE DE PARTITION SÉDIMENT/EAU/BIOTE

Les concentrations en contaminant dans l'eau et les organismes aquatiques sont calculées à partir des concentrations en contaminant dans les sédiments.

Pour cela, IDRA ENVIRONNEMENT a utilisé le modèle **SEDISOIL** (version 1.0) spécialement conçu pour l'évaluation des risques associés aux sédiments [Mvww, 2001]. Ce modèle a été développé par la Ministère chargé de l'Environnement des Pays-Bas et repris dans le logiciel RISC-HUMAN, développé par l'institut VAN HALL (Leeuwarden, Pays-Bas).

Les équations intégrées au modèle SEDISOIL sont fondées sur les équilibres thermodynamiques définis par des **coefficients de partage**, propre à chaque contaminant. Elles permettent de quantifier la distribution d'un contaminant entre les différents compartiments environnementaux (Figure 19).

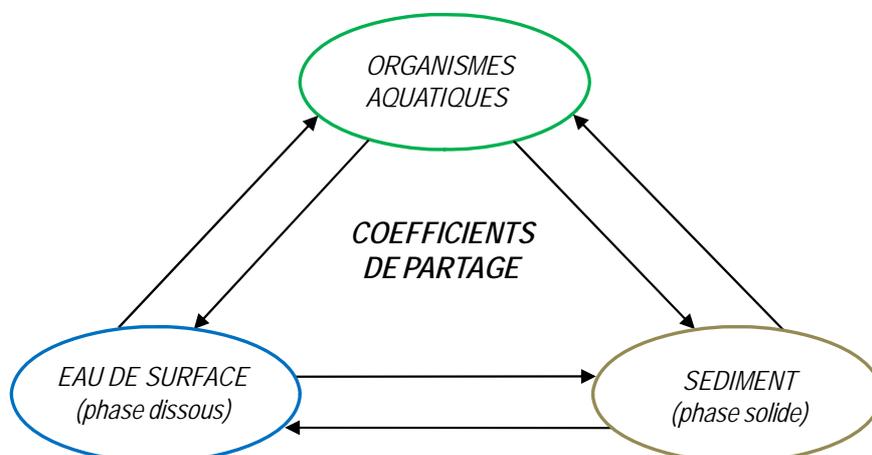


Figure 19 : Répartition d'une substance chimique au sein du milieu aquatique [Marchand et Tessier, 2005]

Cette répartition concerne dans le cadre de l'étude :

- Le partage entre les sédiments et les eaux de surface → Estimation des  $PEC_{\text{eau}}$  ;
- Le processus de bioconcentration dans les organismes vivants (poisson) → Estimation des  $PEC_{\text{oral}}$ .

Les paramètres utilisés pour la modélisation sont présentés en **Annexe VI**. Ils sont issus préférentiellement des données obtenues sur le terrain (prise en compte de l'hétérogénéité des sédiments : pH, distribution de la matière organique, proportion d'argile...). En revanche, les coefficients de partage ( $K_p$ ) et facteur de bioconcentration (BCF) pour chaque contaminant sont issus du modèle.

*Remarque : Cette méthode de calcul a été proposée et validée par des organismes experts comme EUROPEAN CHEMICALS AGENCY ou l'INERIS pour estimer l'étendue des échanges dissous/solides dans l'environnement aquatique.*

### III°/ 2. 2 MODÈLE D'ÉROSION ET DE LIXIVIATION DES BERGES

Les contaminants présents dans les sédiments secs des berges peuvent être libérés dans le milieu, au cours du temps, par des **processus d'érosion et de lixiviation**.

Afin de prendre en compte ces mécanismes, IDRA ENVIRONNEMENT a choisi d'appliquer une approche de calculs utilisée par l'INERIS pour estimer des pertes de contaminant à partir du sol [INERIS, 2010]. Les équations détaillées ci-dessous se basent sur plusieurs hypothèses et points limitants explicités au CHAP V VI°, page 92).

#### 1 ) Équation de perte par érosion

Les pertes par érosion correspondent au détachement et au transport de particule de sol. On distingue l'érosion liée au vent de celle qui est liée à l'eau. Dans le secteur d'études, le principal mécanisme d'érosion est l'érosion hydrique. Ainsi, la masse de polluant érodée depuis les berges par unité de temps est égale à :

$$FM_e = X_e \times S_s \times C_s$$

(Équation 1)

Avec :

- $FM_e$  : Masse de contaminant érodée par unité de temps ( $mg \cdot s^{-1}$ ) ;
- $X_e$  : Masse de sol détachée et transportée par érosion hydrique par unité de temps ( $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) ;
- $S_s$  : Surface de la zone considérée ( $m^2$ ) ;
- $C_s$  : Concentration de contaminant dans le sol ( $mg \cdot kg^{-1}$ ).

La masse de sol érodée par l'eau ( $X_e$ ) peut s'exprimer à partir de l'Équation Universelle de Perte des Sols (connue dans la terminologie anglaise sous le sigle USLE). Il convient de noter que cette équation ne permet pas d'estimer les pertes de sol liées à des événements orageux particulier [INERIS, 2010].

$$X_e = 3,17 \cdot 10^{-9} \times R_f \times K_f \times C_f \times P_f \times L_f \times S_f$$

(Équation 2)

Avec :

- $X_e$  : Masse de sol détachée et transportée par érosion hydrique par unité de temps ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;
- $R_f$  : Facteur d'érosivité des pluies représentant l'influence des précipitations sur l'érosion ( $\text{an}^{-1}$ ) ;
- $K_f$  : Facteur d'érodabilité des sols reflétant l'influence des propriétés du sol sur l'érosion ( $\text{t} \cdot \text{an}^{-1}$ ) ;
- $C_f$  : Facteur tenant compte de l'état de la surface du sol (-) ;
- $P_f$  : Facteur tenant compte des aménagements antiérosifs du terrain (-) ;
- $L_f$  : Facteur de longueur de pente (-) ;
- $S_f$  : Facteur d'inclinaison de pente (-).

Les paramètres utilisés ci-dessus ont fait l'objet d'une sélection minutieuse au sein de la littérature scientifique. Ils sont récapitulés en **Annexe VI**. Seuls les facteurs  $L_f$  et  $S_f$  ont été estimés grâce aux relations suivantes et aux données MNT (Modèles Numériques de Terrains) :

$$L_f = \frac{\sqrt{3,8 \times l}}{100}$$

(Équation 3)

Avec :

- $L_f$  : Facteur de longueur de pente (-) ;
- $l$  : Longueur de la pente (m).

$$S_f = 0,76 + 0,53 \times p + 0,076 \times p^2$$

(Équation 4)

Avec :

- $S_f$  : Facteur d'inclinaison (-) ;
- $p$  : Inclinaison de la pente (%).

## 2 ) Équation de perte par lixiviation

La masse de contaminant sortant de la couche du sol considérée, par unité de temps, du fait de la percolation des eaux de pluie est égale à :

$$FM_i = \frac{R_{ech} \times S_s}{K_p + \frac{\theta}{MV_s}} \times C_s$$

(Équation 5)

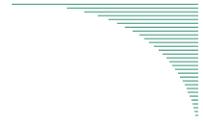
Avec :

- $FM_i$  : Masse de contaminant lixiviée par unité de temps ( $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;
- $R_{ech}$  : Flux de lixiviation ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;
- $S_s$  : Surface de la zone considérée ( $\text{m}^2$ ) ;
- $C_s$  : Concentration de contaminant dans le sol ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).
- $K_p$  : Coefficient de partage particules du sol/eau du sol ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ;
- $\theta$  : Fraction volumique apparente de la couche (-) ;
- $MV_s$  : Masse volumique apparente de la couche ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) ;

Cette équation émet l'hypothèse que la fraction de contaminant présent dans la phase gazeuse du sol est négligeable par rapport à la fraction de contaminant adsorbée sur les particules et dissoute dans l'eau [INERIS, 2010]. Cette hypothèse est acceptable à cause de la très faible volatilité des contaminants étudiés (contaminants inorganiques).

*Remarque* : Dans le cas présent, les masses de contaminant érodées et lixiviées depuis les berges ( $FM_e$  et  $FM_i$ ) ont été rapportées à des concentrations en contaminant diluées dans le milieu aquatique (prise en compte des débits moyens de la Sélune  $9,897 \text{ m}^3/\text{s}$  et de l'Yvrande  $0,165 \text{ m}^3/\text{s}^4$ ).

<sup>4</sup> Débits moyens interannuels enregistrés sur les fiches synthèses de débits caractéristiques (Direction Régionale de l'Environnement de Basse Normandie).



## IV°/ ÉVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

### IV°/ 1 GÉNÉRALITÉ

L'évaluation des risques environnementaux porte sur le compartiment sédiment et eau de surface. Pour cela, la littérature recommande de procéder à une comparaison entre les concentrations en contaminants du milieu ( $PEC_{séd}$  et  $PEC_{eau}$ ) et les valeurs seuils correspondantes ( $PNEC_{séd}$  et  $PNEC_{eau}$ ) [Ecb, 2003].

#### IV°/ 1. 1 PRÉSENTATION DES PEC

Les concentrations en contaminant prévisibles dans l'environnement issues des analyses laboratoires ( $PEC_{séd}$ ) ou du modèle ( $PEC_{eau}$ ) sont regroupées par secteur. L'objectif est d'augmenter le nombre de données et la représentativité du niveau global de contamination par milieu d'exposition.

S'ensuit un calcul statistique des centiles 10, 50, 90 et de la moyenne pour chaque secteur. Ce traitement statistique permet d'obtenir une meilleure représentation du degré de contamination régnant dans la zone d'étude :

- **Centile 10 (P10)** : Valeur en dessous de laquelle se trouvent 10% des valeurs de la série de données ;
- **Centile 50 (P50)** : Valeur en dessous de laquelle se trouvent 50% des valeurs de la série de données ;
- **Centile 90 (P90)** : Valeur en dessous de laquelle se trouvent 90% des valeurs de la série de données.

La médiane ( $P_{50}$ ) va représenter une concentration centrale d'un contaminant, les centiles 10 et 90 mettent en évidence les concentrations minimales et maximales qui peuvent être observées. Habituellement, ce sont les centiles 5 et 95 qui calculés, mais leurs niveaux de précision n'est pas justifié vu le poids des incertitudes sur les résultats de l'évaluation des risques [LACHAMBRE&FISSON, 2007].

#### IV°/ 1. 2 PRÉSENTATION DES PNEC

Les valeurs seuils utilisées vont permettre d'évaluer une relation quantitative entre les concentrations en contaminants dans l'environnement et les effets observés ou attendus (relation concentration/effet). Ces valeurs sont sélectionnées en fonction de leur degré de validation et de leur pertinence [LACHAMBRE&FISSON, 2007] :

- **Degrés de validation** : Seules les valeurs sur lesquelles il existe un consensus important sont utilisées : les Normes de Qualité Environnementales (NQE) et les PNEC validés par l'INERIS ;

- **Pertinence** : Lorsque plusieurs valeurs seuils sont disponibles, la valeur la mieux adaptée est utilisée. Dans le cadre de cette étude, les valeurs seuils pour les eaux douces de surface ont été retenues.

À partir de ces recommandations, les valeurs seuils sélectionnées sont issues des références suivantes :

- **INERIS, 2005 & 2011** : Fiches de données toxicologiques et environnementales ;
- **IFREMER, 2005** : Fiches de synthèse substance prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Les valeurs seuils retenues sont présentées dans le Tableau 8 ci-dessous.

<i>PARAMÈTRES</i>	<i>PNEC SEDIMENT (mg/kg sec)</i>	<i>SOURCE</i>	<i>PNEC EAU DOUCE (µg/l)</i>	<i>SOURCE</i>
<i>Arsenic</i>	-	-	4,4	<i>INERIS 2011</i>
<i>Cadmium</i>	2,3 + Bruit de fond	<i>INERIS 2011</i>	0,19	<i>INERIS 2011</i>
<i>Chrome</i>	-	-	4,7	<i>INERIS 2005</i>
<i>Cuivre</i>	0,8	<i>INERIS 2011</i>	1,6	<i>INERIS 2011</i>
<i>Mercuré</i>	9,3	<i>INERIS 2011</i>	0,036	<i>IFREMER</i>
<i>Nickel</i>	3,2	<i>IFREMER</i>	5	<i>INERIS 2011</i>
<i>Plomb</i>	53,4	<i>INERIS 2011</i>	2,1	<i>INERIS 2011</i>
<i>Zinc</i>	37 + Bruit de fond	<i>INERIS 2011</i>	7,8 + Bruit de fond	<i>INERIS 2011</i>

*Tableau 8 : Présentation des PNEC sédiment et PNEC eau douce*

*Remarque* : Sur la base de constats scientifiques, certaines valeurs PNEC induisent des effets toxiques à des concentrations inférieures au bruit de fond géochimique de la zone d'étude. C'est le cas pour le Cuivre, le Nickel et le Zinc qui nécessitent une prise en compte du bruit de fond local pour évaluer concrètement leur risque sur l'environnement. Pour cela, la base de données FOREGS<sup>5</sup> a été consultée pour le compartiment sédiment et les résultats du suivi de l'ARS<sup>6</sup> Basse-Normandie pour le compartiment eau de surface.

#### **IV°/ 1. 3 ANALYSE DU RISQUE**

Au final, les PEC (centiles P<sub>10</sub>, P<sub>50</sub> et P<sub>90</sub>) sont comparés aux valeurs seuils correspondantes, pour chaque milieu d'exposition. L'analyse des risques environnementaux se présente sous la forme de tableaux légendés de la manière suivante :

- P90 > PNEC : **Risque avéré** ;
- P10 < PNEC : **Absence de risque** ;
- P10 < PNEC < P90 : **Risque incertain**.

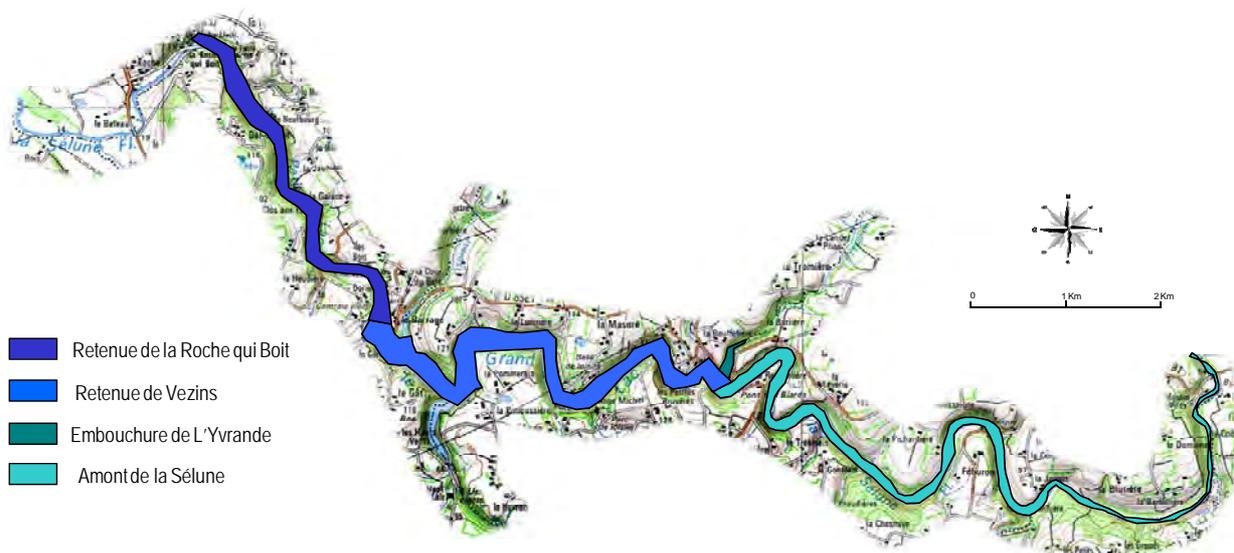
<sup>5</sup> Foregs : Forum of the European Geological Survey Directors

<sup>6</sup> ARS : Agence Régionale de Santé

Cette méthode permet de déterminer rapidement les risques engendrés par un contaminant défini, dans un secteur donné. À titre d'exemple, cette approche statistique est actuellement utilisée dans le programme d'évaluation des risques chimiques en estuaire de Seine, initié par le Groupement d'Intérêt Public Seine Aval.

## IV°/ 2 ANALYSE DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

L'analyse des risques environnementaux liés à l'effacement des barrages de la Sélune porte sur les sédiments en place et les eaux de surface. La zone d'étude a été séparée en quatre secteurs distincts (Figure 20) :



*Figure 20 : Sectorisation de la zone d'étude (fond de plan : IGN)*

### IV°/ 2. 1 PHASE 1 – ÉTAT ACTUEL DES BARRAGES

L'analyse des risques environnementaux avant effacement des deux barrages porte sur les sédiments en place et les masses d'eau retenues dans les différents secteurs. Les résultats de la comparaison des  $PEC_{séd}$  et  $PEC_{eau}$  aux valeurs seuils correspondantes sont présentés sous la forme de tableaux en *Planche 14a* et *14b*.

#### 1 ) Risques associés au compartiment sédimentaire

Les risques chimiques actuellement encourus par les peuplements benthiques sont principalement localisés au niveau de l'embouchure de l'Yvrande et de la retenue du barrage de Vezins. Ils sont représentés par les concentrations d'exposition en **Cadmium** (risque incertain), **Cuivre**, **Nickel** et **Zinc**.

PNEC sédiment			BF <sub>sol</sub>	BF <sub>sédiment</sub>	PNEC + BF
Arsenic	mg/kg sec	-	-	4 - 9	-
Cadmium	mg/kg sec	2,3	<0,25	0,29 - 0,4	-
Chrome	mg/kg sec	-	25 - 50	63 - 76	-
Cuivre	mg/kg sec	0,8	10 - 20	11 - 17	0,8 + 11
Mercure	mg/kg sec	9,3	-	0,038 - 0,051	-
Nickel	mg/kg sec	3,2	15 - 30	15 - 29	3,2 + 15
Plomb	mg/kg sec	53,4	20 - 35	17 - 20,5	-
Zinc	mg/kg sec	37	30 - 60	70 - 90	37 + 70

BF<sub>sol</sub> : Bruit de fond géochimique dans les sols en Basse Normandie [INRA, 2010]

BF<sub>sédiment</sub> : Bruit de fond géochimique des sédiments en Basse Normandie [FOREGS, 2011]



		La Roche qui Boit			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	mg/kg sec	1,9	3,6	11,7	
Cadmium	mg/kg sec	1,3	1,6	2,0	
Chrome	mg/kg sec	27,5	33,0	37,5	
Cuivre	mg/kg sec	18,0	19,4	27,2	
Mercure	mg/kg sec	0,1	0,2	0,2	
Nickel	mg/kg sec	33,0	36,4	45,8	
Plomb	mg/kg sec	17,1	19,1	26,1	
Zinc	mg/kg sec	119,0	139,0	154,5	

		Vezins			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	mg/kg sec	13,2	16,6	21,4	
Cadmium	mg/kg sec	1,4	1,8	3,2	
Chrome	mg/kg sec	40,8	47,8	52,6	
Cuivre	mg/kg sec	28,9	36,3	38,7	
Mercure	mg/kg sec	0,1	0,1	0,1	
Nickel	mg/kg sec	42,6	53,5	57,8	
Plomb	mg/kg sec	28,1	34,7	42,6	
Zinc	mg/kg sec	152,0	199,0	232,0	

		L'Yvrande			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	mg/kg sec	1,0	1,0	1,8	
Cadmium	mg/kg sec	1,6	3,7	13,8	
Chrome	mg/kg sec	28,9	58,8	278,7	
Cuivre	mg/kg sec	18,4	69,1	163,9	
Mercure	mg/kg sec	0,1	0,1	0,2	
Nickel	mg/kg sec	26,8	63,3	123,0	
Plomb	mg/kg sec	15,1	26,6	39,0	
Zinc	mg/kg sec	134,3	271,0	726,1	

		Amont de la Sélune			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	mg/kg sec	1,0	2,2	9,7	
Cadmium	mg/kg sec	0,4	0,7	1,3	
Chrome	mg/kg sec	13,4	26,1	34,7	
Cuivre	mg/kg sec	6,3	17,4	24,6	
Mercure	mg/kg sec	0,1	0,1	0,1	
Nickel	mg/kg sec	14,0	27,2	41,6	
Plomb	mg/kg sec	8,5	18,0	21,8	
Zinc	mg/kg sec	80,6	114,5	158,9	

### EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX – PHASE 1 MILIEU SÉDIMENT

#### LÉGENDE :

- Retenue de la Roche qui Boit
- Retenue de Vezins
- Embouchure de L'Yvrande
- Amont de la Sélune

#### ANALYSE DES RISQUES :

- P90 > PNEC : Risque avéré ;
- PEC > PNEC
- P10 < PNEC : Absence de risque ;
- PEC < PNEC
- P10 < PNEC < P90 : Risque incertain.

Sources : IDRA, IGN



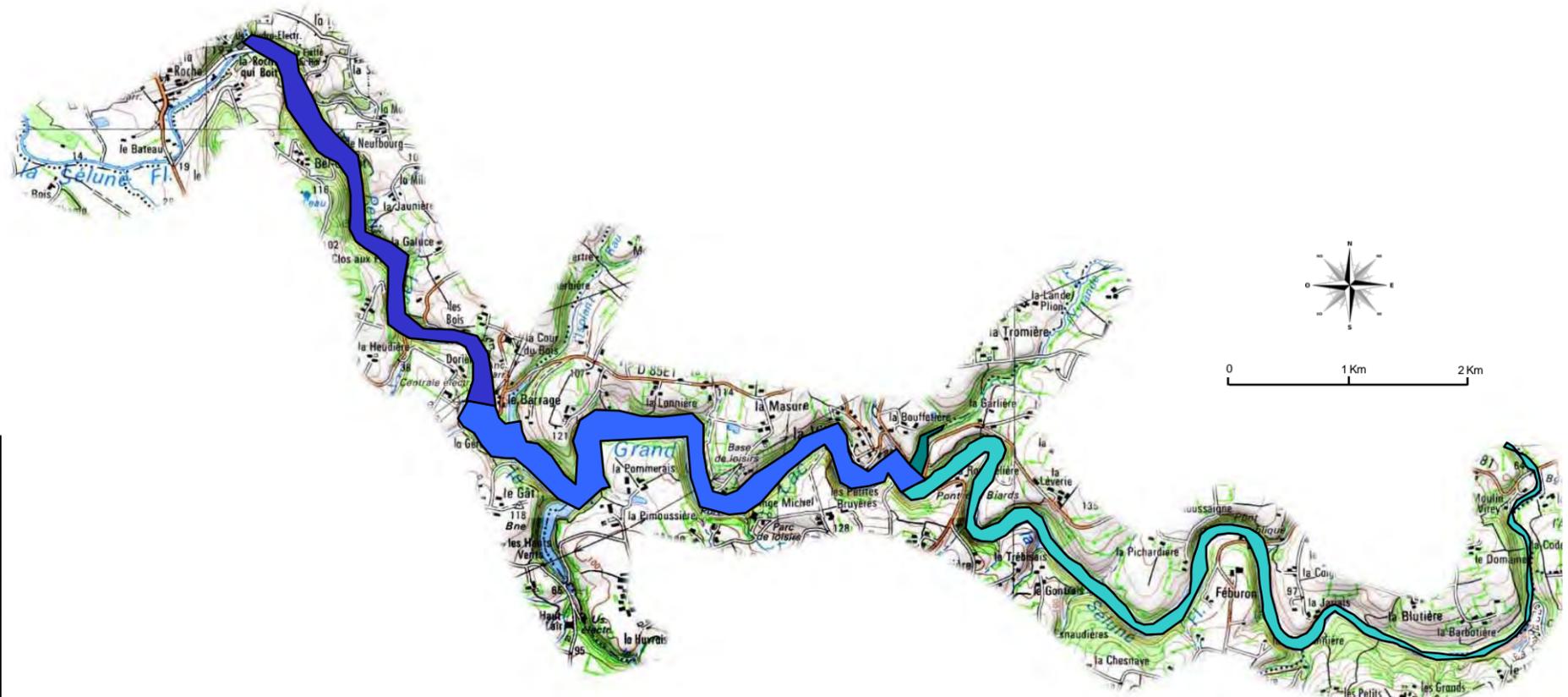
DDTM de La Manche



Juin 2012

PLANCHE 14a

PNEC eau douce		
Arsenic	µg/l	4,4
Cadmium	µg/l	0,19
Chrome	µg/l	4,7
Cuivre	µg/l	1,6
Mercure	µg/l	0,036
Nickel	µg/l	5
Plomb	µg/l	2,1
Zinc	µg/l	7,8



		La Roche qui Boit			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	0,3	0,5	1,8	
Cadmium	µg/l	0,06	0,07	0,09	
Chrome	µg/l	0,2	0,3	0,3	
Cuivre	µg/l	1,3	1,5	2,0	
Mercure	µg/l	8,8E-04	1,8E-03	1,8E-03	
Nickel	µg/l	5,7	6,3	7,9	
Plomb	µg/l	0,1	0,1	0,1	
Zinc	µg/l	2,4	2,8	3,1	

		Vezins			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	2,0	2,5	3,2	
Cadmium	µg/l	0,10	0,13	0,22	
Chrome	µg/l	0,5	0,6	0,6	
Cuivre	µg/l	3,6	4,5	4,8	
Mercure	µg/l	8,8E-04	8,8E-04	8,8E-04	
Nickel	µg/l	10,1	12,7	13,7	
Plomb	µg/l	0,3	0,3	0,4	
Zinc	µg/l	5,5	7,2	8,4	

		L'Yvrande			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	0,2	0,2	0,3	
Cadmium	µg/l	0,07	0,16	0,59	
Chrome	µg/l	0,2	0,4	2,0	
Cuivre	µg/l	1,0	3,7	8,8	
Mercure	µg/l	8,8E-04	8,8E-04	1,8E-03	
Nickel	µg/l	3,6	8,6	16,6	
Plomb	µg/l	0,1	0,1	0,2	
Zinc	µg/l	1,8	3,5	9,5	

		Amont de la Sélune			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	0,2	0,3	1,5	
Cadmium	µg/l	0,02	0,03	0,06	
Chrome	µg/l	0,1	0,2	0,3	
Cuivre	µg/l	0,4	1,1	1,6	
Mercure	µg/l	8,8E-04	8,8E-04	8,8E-04	
Nickel	µg/l	2,6	5,0	7,6	
Plomb	µg/l	0,04	0,1	0,1	
Zinc	µg/l	1,6	2,2	3,1	

### EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX – PHASE 1 MILIEU EAUX DE SURFACE

#### LÉGENDE :

- Retenue de la Roche qui Boit
- Retenue de Vezins
- Embouchure de L'Yvrande
- Amont de la Sélune

#### ANALYSE DES RISQUES :

- P90 > PNEC : Risque avéré ;
- P10 < PNEC : Absence de risque ;
- P10 < PNEC < P90 : Risque incertain.
- PEC > PNEC
- PEC < PNEC

Sources : IDRA, IGN



DDTM de La Manche



Juin 2012

PLANCHE 14b

Les sédiments de la retenue de la Roche-qui-Boit présentent également un risque avéré en Cuivre, Nickel et Zinc. Les concentrations détectées se rapprochent du bruit de fond géochimique et restent inférieures au niveau de contamination des secteurs de Vezins et de l'Yvrande.

En amont de la Sélune, une incertitude demeure pour ces mêmes éléments-traces métalliques (risques incertains). Toutefois, les concentrations d'exposition sont équivalentes au bruit de fond (à l'exception du Zinc) et permettent de minimiser les risques associés à ces contaminants sur le milieu benthique.

*Remarque : Aucune PNEC sédiment n'est disponible pour l'Arsenic et le Chrome. Les risques ne peuvent pas être déterminés dans l'état actuel des connaissances. D'après l'atlas géochimique de l'Europe [FOREGS, 2011], on notera que les concentrations dépassent les données du bruit de fond en Arsenic dans le secteur de Vezins ( $PEC_{P90} = 21,4$  mg d'Arsenic/kg sec) et en Chrome dans le secteur de l'Yvrande ( $PEC_{P90} = 287$  mg de Chrome/kg sec).*

## 2 ) Risques associés au compartiment eau

Les concentrations en contaminant dans les eaux de surface, estimées par le modèle SEDISOIL, présentent des risques avérés pour les organismes pélagiques en **Cuivre** et **Nickel**, et incertains en **Cadmium** et **Zinc**. Ces risques concernent principalement les retenues des barrages de Vezins et de la Roche-qui-Boit.

L'évaluation des risques au niveau de l'embouchure de l'Yvrande indique des risques en Nickel et en Zinc (incertain). Les risques de dégradation de la qualité de l'eau sont plus faibles que sur les secteurs en aval malgré un milieu sédimentaire plus contaminé. Ce constat s'explique principalement par l'ajustement des coefficients de partage ( $K_p$ ) issus de l'US EPA<sup>7</sup> avec ceux qui sont calculés par le BRGM sur l'Yvrande (**Annexe VI**). De plus, le processus de dilution des eaux de l'Yvrandre dans la Sélune permet de minimiser les risques de contamination dissoute pour le milieu.

Concernant l'amont de la Sélune, à l'exception du Nickel et du Cuivre (risque incertain), les concentrations d'exposition en contaminant n'indiquent aucun dépassement des valeurs seuils PNEC. Les risques encourus par les organismes pélagiques dans ce secteur sont considérés comme nuls.

*Remarque : Le suivi de la qualité de l'eau réalisé par l'ARS n'a pas permis d'estimer un bruit de fond de la contamination chimique en amont et en aval des barrages. Les résultats d'analyses physico-chimiques n'ont mis en évidence que très peu de dépassement des Limites de Quantification (LQ) du laboratoire. Cependant, la comparaison des concentrations maximales enregistrées par l'ARS en aval des barrages et*

<sup>7</sup> US EPA, 2005 - Partition coefficient for metal in surface water, soil and waste - Etude bibliographique réalisée afin de déterminer l'étendue et la distribution statistique des  $K_p$  (terrain se rapprochant des conditions naturelles, concentrations en métaux faibles pour affirmer la dépendance du  $K_p$ , gamme de pH naturelle, tests Batch).

du BRGM sur l'Yvrande avec les concentrations maximales prédites par le modèle dans la zone d'études montre clairement la cohérence des calculs établis (Tableau 9).

PARAMETRES		Concentrations maximales détectées en aval de la Sélune*	Concentrations maximales détectées dans l'Yvrande (BRGM, 2011)	Concentrations du modèle (PEC centile 90)	
Arsenic	µg/l	5	0,51	3,2	Vezins
Cadmium	µg/l	<1	0,26	0,2	Vezins
Chrome	µg/l	3	0,77	0,6	Vezins
Cuivre	µg/l	20	11,95	4,8	Vezins
Mercure	µg/l	0,24	< LQ	0,002	Yvrande
Nickel	µg/l	9	64,53	13,7	Vezins
Plomb	µg/l	<2	0,65	0,4	Vezins
Zinc	µg/l	40	60,3	8,4	Vezins

\* Suivi ARS réalisé Route de la Sélune (Pont du Bateau) entre 2000 et 2010.

*Tableau 9 : Comparaison entre les résultats de l'ARS et les PECeau*

## IV°/ 2. 2 PHASE 2 – VIDANGE DES PLANS D'EAU

Les PNEC et VTR utilisées dans le cadre d'une exposition chronique aux contaminants présents dans les sédiments des 2 plans d'eau ne sont pas applicables à des conditions hydrodynamiques particulières entraînant une exposition aiguë aux sédiments (crues par exemple).

Contrairement à l'exposition chronique, l'INERIS et les autres experts scientifiques ne fournissent pas de valeurs de référence concernant la toxicité aiguë des métaux lourds. Quoi qu'il en soit dans le cas présent, compte tenu des faibles teneurs en métaux relevées (inférieures aux seuils d'épandage en dehors du secteur de l'Yvrande), les principales incidences susceptibles d'impacter le milieu sont liées à l'augmentation des concentrations en MES dans le cours d'eau en phase de vidange ou lors d'une crue à l'issue de l'effacement.

La mise en œuvre d'une analyse classique des risques sanitaires et environnementaux n'étant pas possible dans le cas présent, une analyse plus précise des risques physiques et biologiques des phases de vidange et d'effacement est disponible dans la suite du document au CHAP V /VII°, page 95.

## IV°/ 2. 3 PHASE 3 – EFFACEMENT DES BARRAGES

### 1 ) Risques associés aux sédiments exondés

Aucune méthodologie ne permet à l'heure actuelle de mesurer précisément le risque de contamination des sédiments exondés sur les écosystèmes terrestres. La littérature recommande de procéder à une comparaison entre les PEC et PNEC correspondantes [Ecb, 2003]. Cependant, les PNEC<sub>sol</sub> manquent de fiabilité pour permettre une comparaison avec les PEC<sub>sed</sub> (données écotoxicologiques variables entre les organismes et les types de sols testés).

L'analyse des risques pour le milieu terrestre nécessite donc un traitement au cas par cas, en fonction des connaissances scientifiques disponibles.

Les résultats du diagnostic sédimentaire (CHAP III /III°, page 39) ont mis en évidence des dépassements des seuils d'épandage de boues de STEP et des bruits de fond géochimique des sols en Basse-Normandie.

Le Tableau 10 permet de synthétiser et de déceler rapidement les anomalies rencontrées dans le sédiment. Sur cette base de comparaison, les éléments **Cadmium**, **Chrome**, **Cuivre**, **Nickel** et **Zinc** peuvent potentiellement présenter un risque pour les organismes terrestres.

PARAMÈTRES		CONCENTRATIONS MOYENNES DANS LES SÉDIMENTS				BOUES D'ÉPURATION Arrêté du 08/01/98	BRUIT DE FOND SOL Basse-Normandie
		Vezi- ns amont	Yvrande	Vezi- ns	Roche- qui- Boit	Sol	INRA 2010
Arsenic	mg/kg sec	4,4	1,6	16,6	5,7		12,5 - 17,7 *
<b>Cadmium</b>	mg/kg sec	0,8	<b>7,5</b>	<b>2</b>	1,6	<b>2</b>	<0,25
<b>Chrome</b>	mg/kg sec	26,1	126,3	47,1	32,6	<b>150</b>	25 - 50
<b>Cuivre</b>	mg/kg sec	16,4	80,6	35,1	21,5	<b>100</b>	10 - 20
Mercure	mg/kg sec	0,1	0,1	0,1	0,2	<b>1</b>	
<b>Nickel</b>	mg/kg sec	28,1	<b>74,6</b>	<b>51,3</b>	38,4	<b>50</b>	15 - 30
Plomb	mg/kg sec	16,6	26,8	35,7	20,7	<b>100</b>	20 - 35
<b>Zinc</b>	mg/kg sec	117	<b>331,2</b>	206	137,5	<b>300</b>	30 - 60
Fraction < 63µm	%	64,6	90,1	92,6	88,0		

\* Bruit de fond géochimique des sols en Basse-Normandie [Foregs, 2011].

Tableau 10 : Concentrations moyennes en contaminants relevées dans la zone d'étude

Le comportement des éléments traces métalliques dans les sédiments exondés dépend de nombreux facteurs (pH, distribution de la matière organique, proportion d'argiles...) qui conditionne leur mobilité et par la suite leur biodisponibilité. Toutefois, les travaux de recherche d'organismes experts [INERIS, 2011] permettent de mettre en évidence certaines tendances :

- Le Cuivre et le Zinc adsorbés sur des argiles ne sont plus disponibles pour les végétaux. De plus, chez les mammifères, l'absorption et l'excrétion du Zinc sont régulées afin de maintenir une teneur constante en Zinc quel que soit le niveau d'exposition. Le potentiel de bioaccumulation du Zinc reste alors faible chez les mammifères ;

*Remarque : Les sédiments de la Sélune présentent une fraction en matériaux fins (< 63µm) importante de l'ordre de 80%. Les concentrations en Cuivre et en Zinc absorbées par les végétaux seront d'autant plus réduites.*

- La plupart des sols contiennent du Chrome, mais sa disponibilité pour les plantes est très limitée. Une quantité plus importante en Chrome est observée dans les racines, plutôt que dans les feuilles, tandis que la concentration la plus faible se trouve dans les graines ;

- Les taux d'absorption du Cadmium par les plantes sont très variables et dépendent de l'espèce de la plante, de la concentration de Cadmium dans le sol, ainsi que d'autres facteurs influençant la biodisponibilité du cadmium, particulièrement le pH du sol ;
- Les taux d'absorption du Nickel pour les organismes terrestres sont variables, aucune tendance générale n'est observée au travers des différentes données bibliographiques disponibles.

En l'absence de contamination significative **sédiment** → **plantes** pour les éléments Cuivre, Chrome et Zinc, le transfert de contamination **flore** → **faune herbivore** peut être considérée comme marginal. Par ailleurs, les risques encourus de bioaccumulation en Cadmium et en Nickel restent incertains sur les secteurs de l'Yvrande et de Vezins. Ces derniers peuvent ainsi nécessiter des mesures de suivi à l'issue de l'effacement des barrages pour renseigner sur l'évolution des transferts de contaminants.

## 2 ) Risques associés au compartiment eau

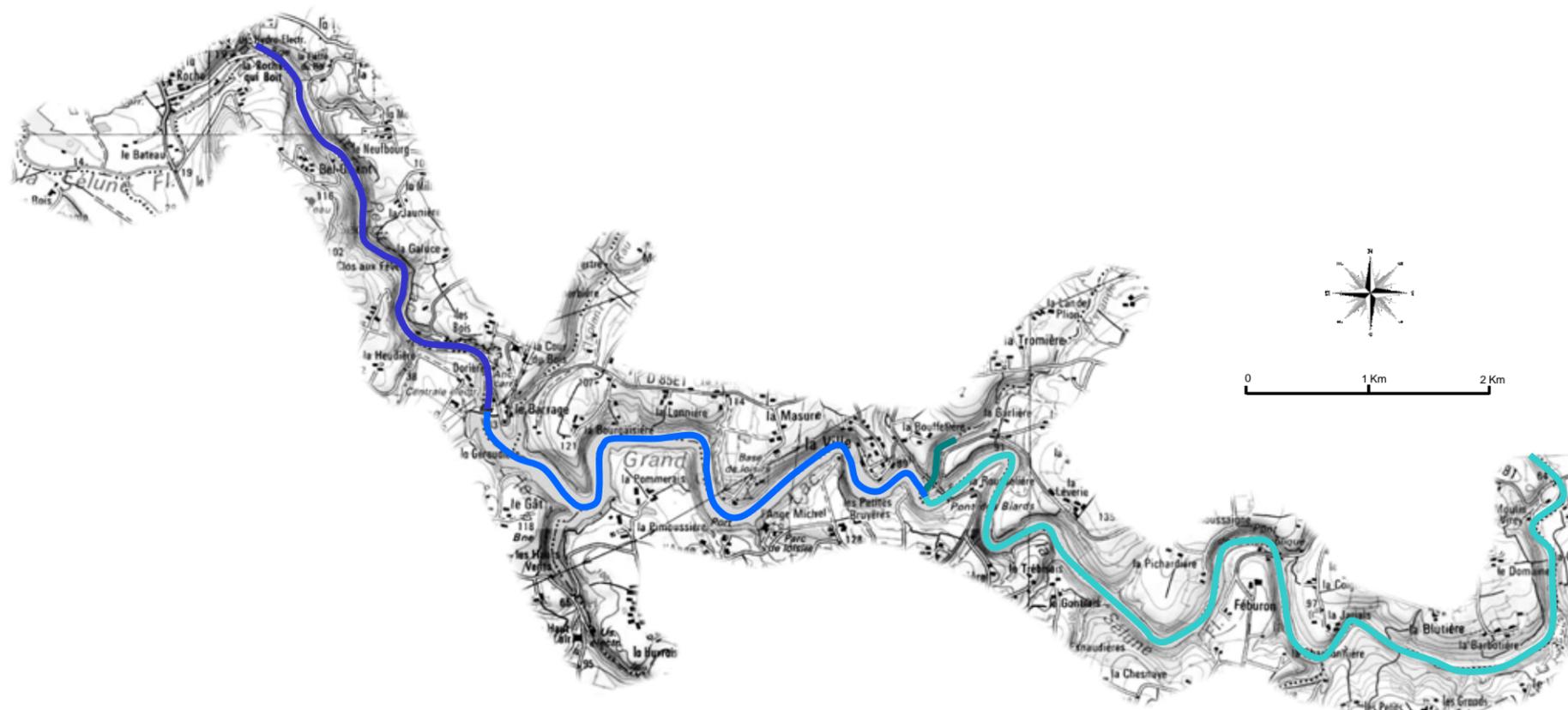
L'analyse des risques porte sur l'incidence des processus d'érosion et de lixiviation des berges asséchées (CHAP V /III/ 2. 2, page 67). Les résultats de la comparaison des  $PEC_{\text{eau}}$  aux valeurs seuils correspondantes sont présentés en *Planche 15*, pour chaque secteur identifié précédemment.

Il est important de noter que cette évaluation des risques n'intègre pas les conditions météorologiques défavorables (pluies diluviennes, crues) et les processus d'érosion des sédiments sur le fond du lit de la Sélune (stock de contaminant remobilisé en PHASE 2).

Les teneurs en contaminants érodés et lixiviés depuis les berges sous l'effet des précipitations et circulant dans la Sélune ne présentent d'aucun risque de dégradation de la qualité de l'eau. Les concentrations d'exposition n'indiquent aucun dépassement des valeurs seuils PNEC. Les risques encourus à long terme par les organismes pélagiques sont considérés comme nuls, quels que soient les contaminants et les secteurs d'exposition. Néanmoins, il convient de souligner que les concentrations en Cadmium, Cuivre et Zinc sont proches des valeurs seuils  $PNEC_{\text{eau}}$  pour le secteur de l'Yvrande plus fortement contaminé.

*Remarque : Les proportions en contaminant érodés et lixiviés sont présentées en Annexe VII. De manière générale, la migration des contaminants par lixiviation est beaucoup plus faible que par érosion, à cause de la perméabilité des matériaux sédimentaires élevée (flux de lixiviation =  $1.10^{-8}$  m/s).*

PNEC eau douce		
Arsenic	µg/l	4,4
Cadmium	µg/l	0,19
Chrome	µg/l	4,7
Cuivre	µg/l	1,6
Mercure	µg/l	0,036
Nickel	µg/l	5
Plomb	µg/l	2,1
Zinc	µg/l	7,8



		La Roche qui Boit			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	1,6E-03	3,0E-03	9,8E-03	
Cadmium	µg/l	1,5E-03	1,7E-03	2,2E-03	
Chrome	µg/l	2,0E-02	2,4E-02	2,7E-02	
Cuivre	µg/l	2,4E-02	2,6E-02	3,6E-02	
Mercure	µg/l	7,5E-05	1,2E-04	1,5E-04	
Nickel	µg/l	3,2E-02	3,5E-02	4,4E-02	
Plomb	µg/l	1,3E-02	1,4E-02	1,9E-02	
Zinc	µg/l	1,3E-01	1,5E-01	1,7E-01	

		Vezins			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	8,4E-02	1,1E-01	1,4E-01	
Cadmium	µg/l	1,1E-02	1,3E-02	2,4E-02	
Chrome	µg/l	2,5E-01	2,9E-01	3,2E-01	
Cuivre	µg/l	2,4E-01	3,0E-01	3,2E-01	
Mercure	µg/l	6,1E-04	6,1E-04	6,7E-04	
Nickel	µg/l	2,9E-01	3,7E-01	4,0E-01	
Plomb	µg/l	1,7E-01	2,1E-01	2,6E-01	
Zinc	µg/l	1,1E+00	1,5E+00	1,7E+00	

		L'Yvrande			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	5,5E-03	5,5E-03	1,0E-02	
Cadmium	µg/l	1,2E-02	2,9E-02	1,1E-01	
Chrome	µg/l	1,4E-01	2,8E-01	1,3E+00	
Cuivre	µg/l	1,7E-01	6,5E-01	1,5E+00	
Mercure	µg/l	4,9E-04	4,9E-04	7,7E-04	
Nickel	µg/l	1,8E-01	4,1E-01	8,0E-01	
Plomb	µg/l	7,2E-02	1,3E-01	1,9E-01	
Zinc	µg/l	1,0E+00	2,1E+00	5,6E+00	

		Amont de la Sélune			
		P10	P50	P90	Risque
Arsenic	µg/l	1,8E-03	3,9E-03	1,8E-02	
Cadmium	µg/l	1,1E-03	2,0E-03	3,4E-03	
Chrome	µg/l	2,0E-02	3,9E-02	5,2E-02	
Cuivre	µg/l	2,1E-02	5,8E-02	8,2E-02	
Mercure	µg/l	1,5E-04	1,5E-04	2,1E-04	
Nickel	µg/l	3,1E-02	6,0E-02	9,2E-02	
Plomb	µg/l	1,3E-02	2,7E-02	3,3E-02	
Zinc	µg/l	2,2E-01	3,1E-01	4,2E-01	

### EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX – PHASE 3 MILIEU EAUX DE SURFACE

LÉGENDE :

- Retenue de la Roche qui Boit
- Retenue de Vezins
- Embouchure de L'Yvrande
- Amont de la Sélune

ANALYSE DES RISQUES :

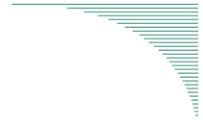
- P90 > PNEC : Risque avéré ;
- P10 < PNEC : Absence de risque ;
- P10 < PNEC < P90 : Risque incertain.
- PEC > PNEC
- PEC < PNEC

Sources : IDRA, IGN



DDTM de La Manche





## IV°/ 3 SYNTHÈSE DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

### IV°/ 3. 1 RISQUES ACTUELS

Les risques encourus actuellement par les peuplements benthiques apparaissent élevés sur les secteurs de l'Yvrande, de Vezins et de la Roche-qui-Boit. Ils sont occasionnés par des concentrations dans les sédiments en Cadmium, Cuivre, Nickel et Zinc.

**Au cours des premières phases d'abaissement, les risques de contamination particulière liés à une remobilisation des sédiments sont à craindre, notamment sur le secteur de la Roche-qui-Boit (zone de décantation).** Concernant les masses d'eau contaminées par les sédiments de l'Yvrande, de Vezins et de la Roche-qui-Boit, celles-ci présentent un degré de risque plus faible pour les peuplements pélagiques.

Par ailleurs, il est fort probable que sur la base des hypothèses du modèle SEDISOIL (principe d'équilibre de partage entre les milieux), que l'analyse des risques des eaux en circulation entre les différents secteurs soit surévaluée (Chap. VI°/ 2 , page 93).

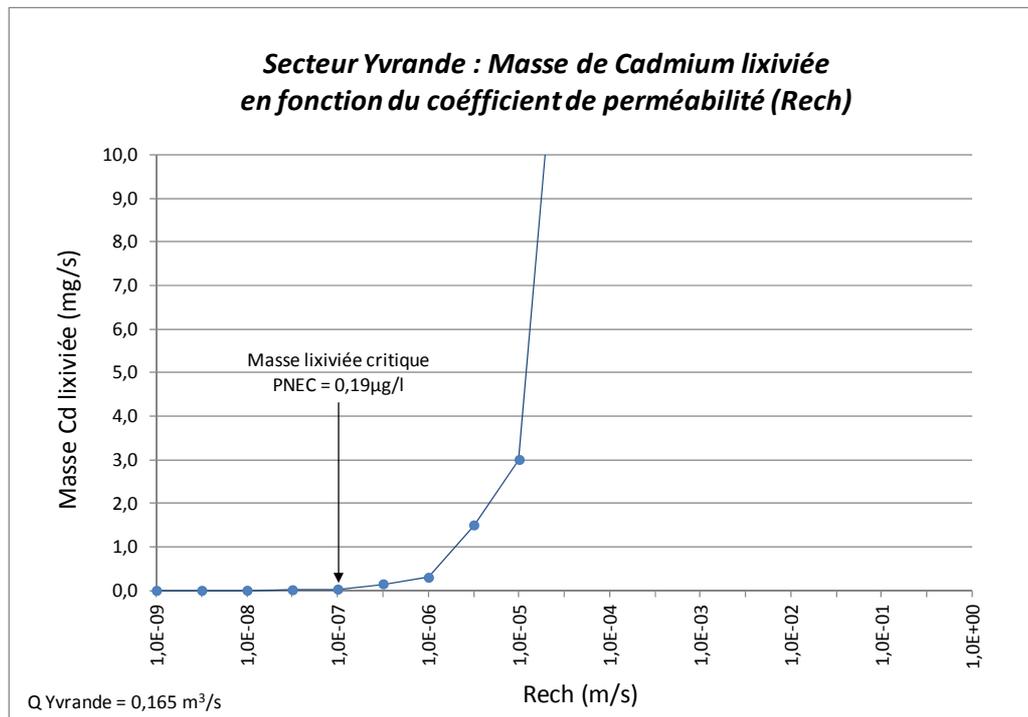
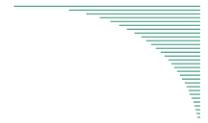
### IV°/ 3. 2 RISQUES APRÈS EFFACEMENT DES DEUX BARRAGES

Après effacement des barrages, les risques environnementaux engendrés par les sédiments exondés sur la faune et la flore terrestre sont incertains pour les éléments Cadmium et Nickel, en particulier sur les secteurs de l'Yvrande et de Vezins. **La prise en compte des risques environnementaux associés à ces 2 métaux devra être intégrée au plan de gestion correspondant à la phase 2 de la présente mission.**

**Concernant les risques environnementaux occasionnés par les processus d'érosion et de lixiviation des sédiments exondés, ils sont considérés comme nuls.** Il est important de préciser que les flux de contaminants lixiviés sont calculés à partir des équations de pertes de sol [INERIS, 2010] qui intègrent un coefficient de perméabilité de sol ( $R_{ech}$  fixé à  $1.10^{-8}$  m/s) qui tient compte de la nature limoneuse des sédiments.

Toutefois, il est fort probable que la texture des sédiments exondés risque d'évoluer avec le temps. Les observations menées sur d'anciens sites de dépôts sédimentaires à l'air libre montrent que les processus de dessiccation induisent une fissuration verticale des matériaux [BATAILLARD, 2008]. Ces fissures se combrent progressivement d'agrégats de sédiment mais la perméabilité des dépôts se rapproche plus de celle des sables grossiers ( $1.10^{-5}$  à  $1.10^{-4}$  m/s) que des limons ( $<1.10^{-8}$  m/s).

La Figure 21 permet d'évaluer, dans le secteur de l'Yvrandre, l'incidence d'une variation du coefficient de perméabilité  $R_{ech}$  sur la masse de Cadmium lixiviée depuis les sédiments exondés. On observe qu'au-dessus d'une perméabilité égale à  $1.10^{-7}$  m/s (proche de celle des sables fins) la concentration critique de Cadmium pour le milieu aquatique est atteinte. En définitive, la valeur, actuellement de  $1.10^{-8}$  m/s, peut apparaître trop faible si les phénomènes de fissuration viennent à augmenter.



*Figure 21 : Masse de Cadmium lixiviée en fonction du coefficient de perméabilité*

De toute évidence, il conviendra de préconiser des mesures de suivi à l'issue de l'effacement des barrages pour renseigner sur l'évolution des transferts de contaminant. De plus, des aménagements seront proposés dans le plan de gestion (phase 2 de l'étude) afin de limiter la déstructuration des sédiments exondés au fil du temps (revégétalisation des berges, installation de fascines,...).

## V°/ ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

### V°/ 1 GÉNÉRALITÉ

L'évaluation du risque sanitaire doit permettre d'estimer si la présence d'une substance donnée dans le milieu naturel présente un risque immédiat ou à venir pour la santé humaine.

#### V°/ 1. 1 SUBSTANCES DANGEREUSES À CONSIDÉRER

Cette étape est primordiale car elle amène à considérer ou à exclure des contaminants pouvant avoir un impact sanitaire. Ce choix sélectif a pour conséquence que la caractérisation du risque qui en découle ne peut être qu'une estimation du risque réel global encouru.

Il ne s'agit pas de retenir seulement les substances cancérigènes ou les plus toxiques. Le choix des polluants doit se faire certes en fonction de leur toxicité, mais aussi en tenant compte de la quantité émise, des relations dose-effets, de la voie d'exposition et de leur comportement dans l'environnement.

Dans le cadre de l'étude, les analyses physico-chimiques sur sédiment, ainsi que les estimations du modèle sur l'eau et les biotes ont porté exclusivement sur les substances inorganiques: **Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb et Zinc**. Il est important de noter que les propriétés physico-chimiques générales de ces contaminants sont proches (*Annexe V*).

Une fois arrivés dans l'environnement aquatique, les contaminants inorganiques se répartissent entre l'eau, les matières en suspension, le sédiment et le biote. Dans le sédiment, ils se retrouvent dans différentes fractions (particulaire et/ou dissoute) et sous différentes formes physico-chimiques (notion de spéciation). Cette dernière conditionne leur mobilité et par la suite leur biodisponibilité. En général, les formes libres ou ioniques (en phase dissoute) sont les plus biodisponibles et toxiques [GEFFARD, 2001].

<i>Non toxique</i>			<i>Toxiques, mais peu solubles ou rares</i>		<i>Toxiques et relativement disponibles</i>		
Na	C	F	Ti	Ga	Be	<b>As</b>	Au
K	P	Li	Hf	La	Co	Se	<b>Hg</b>
Mg	Fe	Rb	Zr	Os	<b>Ni</b>	Te	Tl
Ca	S	Sr	W	Rh	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Pb</b>
H	Cl	Al	Nb	Ir	<b>Zn</b>	Ag	Sb
O	Br	Si	Ta	Ru	Sn	<b>Cd</b>	Bi
N			Re	Ba		Pt	

*Tableau 11 : Classification des éléments en fonction de leur toxicité et de leur disponibilité [Geffard, 2001]*

La présence en concentration significative de contaminants inorganiques dans le milieu (supérieur à celle du bruit de fond) est un critère de sélection des substances pour l'évaluation et le calcul du risque. Le tableau ci-dessous permet de déceler les concentrations en contaminant anormales dans la zone d'étude et pouvant présenter un excès de risque pour la santé humaine.

PARAMÈTRES		CONCENTRATIONS MOYENNES DANS LES SÉDIMENTS				Bruit de fond sol Basse-Normandie
		Vezi s amont	Yvr rande	Vezi ns	Roche- qui-Boit	INRA 2010
Arsenic	mg/kg sec	4,4	1,6	16,6	5,7	12,5 - 17,7 *
<b>Cadmium</b>	mg/kg sec	<b>0,8</b>	<b>7,5</b>	<b>2</b>	<b>1,6</b>	<0,25
<b>Chrome</b>	mg/kg sec	26,1	<b>126,3</b>	47,1	32,6	25 - 50
<b>Cuivre</b>	mg/kg sec	16,4	<b>80,6</b>	<b>35,1</b>	21,5	10 - 20
Mercur e	mg/kg sec	0,1	0,1	0,1	0,2	
<b>Nickel</b>	mg/kg sec	28,1	<b>74,6</b>	<b>51,3</b>	<b>38,4</b>	15 - 30
Plomb	mg/kg sec	16,6	26,8	35,7	20,7	20 - 35
<b>Zinc</b>	mg/kg sec	<b>117</b>	<b>331,2</b>	<b>206</b>	<b>137,5</b>	30 - 60

\* Bruit de fond géochimique des sols en Basse-Normandie [Foregs, 2011].

Tableau 12 : Comparaison des concentrations dans la zone d'étude

Ce constat nous amène à considérer pour l'évaluation des risques sanitaires les contaminants inorganiques Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel et Zinc.

## V°/ 1. 2 ESTIMATION DE LA RELATION « DOSE-RÉPONSE »

L'évaluation de la relation « dose-réponse » est une estimation du rapport entre la dose ou le niveau d'exposition aux substances, et l'incidence et la gravité de ces effets. La Valeur Toxicologique de Référence (VTR) est une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant cette relation « dose-réponse ».

Les VTR sont, en principe, établies à partir d'une analyse critique et systématique de l'ensemble des connaissances disponibles aux plans toxicologiques, épidémiologiques et cliniques. Ce travail est réalisé par des organismes et agences spécialisés (UE, OMS, US EPA, ATSDR<sup>8</sup>, INERIS).

Les valeurs toxicologiques sont fixées pour une durée (effet chronique et aigu) et une voie d'absorption donnée (voie orale, voie cutanée,...). Elles peuvent également concerner les concentrations en contaminant dans les milieux biologiques chez l'homme : sang, urine, cheveux... Selon les mécanismes toxiques mis en jeu, deux grands types d'effets sanitaires sont classiquement distingués :

- ⇒ Les effets survenant à partir d'une dose seuil (principalement les effets non cancérogènes) ;
- ⇒ Les effets survenant sans seuil de dose (principalement les effets cancérogènes génotoxiques).

<sup>8</sup> Atsdr : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Une même substance peut produire ces deux types d'effets. En fonction du type d'effet décrit, on distingue ainsi classiquement les VTR des toxiques non cancérigènes des VTR pour les toxiques cancérigènes.

### 1 ) VTR des toxiques non cancérigènes

Les effets toxiques non cancérigènes peuvent apparaître après une exposition aiguë ou chronique. Une dose minimale de toxique (ou seuil) dans l'organisme est nécessaire pour provoquer l'apparition d'un effet. La gravité des effets dépend de la dose reçue. En dessous d'un certain seuil de dose, l'effet considéré ne peut pas se produire. Les toxiques « à seuil » d'effet sont pour l'essentiel des agents non cancérigènes.

**Pour ces toxiques, la VTR représente la quantité maximale théorique pouvant être administrée à un sujet, issu d'un groupe sensible ou non, sans provoquer d'effets nuisibles à sa santé.** Pour une exposition orale (ou cutanée), la VTR est appelée Dose Journalière Admissible (DJA) et s'exprime en mg/kg/j (milligramme de substance chimique par kilogramme de poids corporel et par jour). La DJA correspond à la quantité de toxique, rapportée au poids corporel, qui peut être administrée à un individu sans provoquer d'effets nuisibles, en l'état actuel des connaissances.

### 2 ) VTR des toxiques cancérigènes

Il s'agit, pour l'essentiel, des effets cancérigènes génotoxiques (et des mutations génétiques), pour lesquels la fréquence – mais non la gravité - est proportionnelle à la dose. Ces effets qualifiés de « sans seuil » pourraient apparaître quelle que soit la dose reçue par l'organisme. L'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque, non nul, qu'une seule molécule pénétrant dans le corps humain provoque des changements dans une cellule à l'origine d'une lignée néoplasique<sup>9</sup>.

**Les VTR des toxiques cancérigènes représentent la probabilité de survenue d'un effet cancérigène pour une exposition d'une vie entière à une unité de dose donnée.** Elles sont le plus souvent exprimées sous forme d'Excès de Risque Unitaire (ERU). Pour la voie orale, l'ERU est l'inverse d'une dose et s'exprime en (mg/kg/j)<sup>-1</sup>. Il fournit la probabilité individuelle et théorique, de contracter un cancer pour une exposition sur une vie entière équivalente à 1 mg/kg/j de produit toxique.

### 3 ) Démarche à adopter pour la description et le choix des VTR

La sélection repose sur les principes exposés dans la circulaire DGS/SD 7B n°2006-234 du 30 mai 2006 (*Annexe VIII*) relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact. Ainsi, les VTR ont été sélectionnées en respectant l'ordre de priorité renseigné dans la circulaire, c'est-à-dire :

<sup>9</sup> Néoplasique : Terme désignant la formation d'une tumeur

- Pour les substances à effets à seuil, successivement US EPA, ATSDR, OMS/IPCS<sup>10</sup>, Health Canada, RIVM et OEHHA<sup>11</sup> ;
- Pour les substances à effets sans seuil, successivement US EPA, OMS/IPCS, RIVM et OEHHA.

De plus, cette démarche de sélection suit les étapes suivantes :

- Rechercher les Valeurs Toxicologiques de Référence pertinentes, c'est-à-dire celles qui sont développées pour la voie d'exposition appropriée à celle retenue dans l'étude, en privilégiant une durée d'exposition chronique ;
- Dans le cas où plusieurs valeurs seraient disponibles, retenir la VTR la plus récente pour les effets à seuil et/ou sans seuil parmi les VTR identifiées comme pertinentes ;
- En cas d'absence de VTR dans les 6 bases de données énoncées ci-dessus, la substance n'est pas retenue pour les calculs de risque.

#### 4 ) VTR des substances sélectionnées

La **Planche 16** présente sous la forme de tableaux les VTR retenues pour le calcul de l'exposition aux substances à effet avec et sans seuil. Afin de faciliter la lecture, les différentes appellations de VTR utilisées ont été remplacées par la notation DJA (dose journalière admissible) en mg/kg/j pour les effets à seuil et ERU (excès de risque unitaire) en (mg/kg/j)<sup>-1</sup> pour les effets sans seuil.

## V°/ 1. 3 DESCRIPTION DES SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Cette étape doit permettre à partir des concentrations en contaminant retenues, mesurées dans l'environnement ou issues du modèle, de calculer des Doses Journalières d'Exposition (DJE).

### 1 ) Définition des scénarios d'exposition

Le choix des scénarios d'exposition est important pour la détermination du risque. Dans le cas présent, les populations concernées par les usages récréatifs du site constituent la majorité des cibles, c'est-à-dire :

- **Les pratiquants d'activités nautiques** (baignades, aviron...) exposés aux contaminants via :
  - L'ingestion d'eau accidentelle.
- **Les pratiquants d'activités de plein air** (randonnée pédestre...) exposés aux contaminants via :
  - L'ingestion accidentelle de sédiment ;
  - L'inhalation de poussières de sédiment.

<sup>10</sup> *Ipcs : International Programme on Chemical Safety*

<sup>11</sup> *OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment*

## VTR pour les substances à effet à seuil

Paramètres	Voie d'exposition orale				
	DJA (mg/kg/j)	Organes cibles	Source	Date	Commentaires
Cadmium	1,0E-3 (nourriture)	Système rénal	US EPA	1985	Exposition chronique
	5,0E-4 (eau)				
Chrome VI	3,0E-03		US EPA	1998	
Chrome III	1,5		US EPA	1998	
Cuivre	1,0E-02	Système gastro-intestinal	ATSDR	2004	
Nickel	2,0E-02	Diminution du poids du corps et des organes	US EPA	1996	Exposition chronique
Zinc	3,0E-01	système hématologique	ATSDR	2005	Exposition chronique
Cyanure	6,0E-04		US EPA		Exposition chronique

Voie d'exposition inhalation				
DJA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Organes cibles	Source	Date	Commentaires
1,00E-05	Système rénal	ATSDR	2008	Exposition chronique
0,1 (particule)		US EPA	1998	Exposition chronique
60		RIVM	2001	
1		RIVM	2001	Concentration tolérable dans l'air
9,00E-02	Système respiratoire	ATSDR	2005	Exposition chronique
ND				

## VTR pour les substances à effet sans seuil

Paramètres	Voie d'exposition orale				
	ERU (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Organes cibles	Source	Date	Commentaires
Cadmium	ND				
Chrome VI	4,2E-01		OEHHA	2002	
Chrome III	ND				
Cuivre	ND				
Nickel	ND				
Zinc	ND				

Voie d'exposition inhalation				
ERU ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>	Organes cibles	Source	Date	Commentaires
4,2E-03	Système respiratoire	OEHHA	2002	
4,0E-02	Système respiratoire	OMS	2000	
ND	Système respiratoire			
ND				
2,4E-04	Poumon	OEHHA	1991	Spéciations particulières
ND				

### VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE (VTR)

Légende :  
**DJA** : Dose Journalière Admissible  
**ERU** : Excès de Risque Unitaire  
**ND** : Non Disponible



DDTM de La Manche

Sources : INERIS, FURETOX

Juin 2012

Planche 16

- **Les consommateurs de produits de la pêche** exposés aux contaminants via :
  - L'ingestion de poissons.

À ce stade, les risques engendrés par l'absorption cutanée et l'inhalation de substances volatiles depuis les berges asséchées ont été écartés pour l'ensemble des contaminants traceur (CHAP II°/ 2. 1, page 62).

Au regard des scénarios considérés, le budget espace-temps, les habitudes alimentaires et les paramètres morphologiques des populations considérées sont les suivants :

<i>Cibles</i>	<i>Age (ans)</i>	<i>Poids (kg)</i>
Enfant	[0 – 6]	30
Adulte	[7 – 70]	70

*Tableau 13 : Paramètres morphologiques des populations cibles (source : Ciblex)*

<i>Cibles</i>	<i>Activités aquatiques (jours/an)</i>	<i>Ingestion d'eau accidentelle (ml/h de baignade)</i>	<i>Promenade (jours/an)</i>	<i>Durée d'exposition (en années)</i>
Enfant	15	25	21	6
Adulte	23	50	18	30

*Tableau 14 : Budget espace-temps des populations cibles (source : Ciblex, Invs, Us epa)*

Remarque : La durée d'exposition est de 30 ans pour les adultes résidents selon les travaux de l'US epa (20 ans selon INSEE). Au-delà, on considère que les populations cibles résidant à proximité de la zone d'étude changent d'habitudes (budget espace-temps modifié, déménagement).

<i>Cibles</i>	<i>Consommation de produits de la pêche (g/j)</i>
Enfant	27
Adulte	38

*Tableau 15 : Habitudes alimentaires des populations cibles (source : Ciblex)*

Ces informations sur l'activité et le comportement des populations cibles sont issues de plusieurs guides méthodologiques et banque de données spécifiques :

- **CIBLEX, 2003** : Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué ;
- **INVS, 2000** : Évaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages après dépollution du fioul de l'Érika ;
- **INERIS, 2003** : Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE ;
- **US EPA, 1997**: Exposure Factors Handbook ;
- **US EPA, 2005**: Human Health Risk Assessment Protocol.

## 2 ) Doses journalières d'expositions

Les doses journalières d'exposition sont calculées à partir des concentrations en contaminant dans les milieux d'exposition et du scénario d'exposition considéré. Elles sont exprimées en mg/m<sup>3</sup> ou mg/kg/jour. Dans le cas étudié, l'absorption de substances polluantes se produit via 2 voies d'exposition :

- **L'ingestion** d'eaux de surface, de sédiments secs et de produits de la pêche ;
- **L'inhalation** de poussières de sédiment.

Dans son guide méthodologique, l'INERIS définit la quantité de contaminant absorbée (DJE) de la façon suivante :

$$DJE = \frac{Ci \times Q_{ij} \times F}{P} \times \frac{T}{T_m}$$

(Équation 6)

Avec :

- **DJE** : Dose Journalière d'Exposition, liée à une exposition au milieu *i* par voie d'exposition *j* (en mg/kg/jour) ;
- **Ci** : Concentration en contaminant relative au milieu *i* (eaux, aliments), exprimée en mg/l ou mg/kg ;
- **Q<sub>ij</sub>** : Quantité de milieu *i* absorbée par la voie d'exposition *j* par unité de temps d'exposition, exprimée en l/j ou kg/j ;
- **F** : Fréquence d'exposition : fraction de nombre annuel d'unité de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année (F est sans dimension) ;
- **P** : Masse corporelle de la cible (kg) ;
- **T** : Nombre d'années d'exposition (année) ;
- **T<sub>m</sub>** : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (année).

Remarque : L'ingestion de sédiment sec ne concerne que les enfants à travers le trouble du comportement alimentaire pica qui consiste chez eux à porter à la bouche ce qu'ils trouvent. Chez les adultes, l'ingestion de sédiments secs reste possible via les poussières du sol qui adhèrent à la nourriture, aux cigarettes, ou aux mains.

<i>Cibles</i>	<i>Ingestion de sédiments secs (g/j)</i>
Enfant	10
Adulte	0,05

Tableau 16 : Dose journalière de sédiments secs ingérée (source : Us epa)

L'analyse des différentes voies d'expositions (CHAP II°/ 3. 2, page 65) a mis en évidence un risque possible de bioaccumulation des contaminants le long de la chaîne alimentaire. Dans le cas présent, l'effet toxique est évalué en déterminant les concentrations en contaminant dans les poissons ( $PEC_{oral}$ ), quantités par la suite susceptibles d'être ingérées par l'homme.

La concentration en contaminant dans la chair des poissons est le résultat d'un processus de bioconcentration depuis la phase aqueuse ( $PEC_{eau}$ ). La  $PEC_{oral}$  est calculée à partir d'une équation exposée dans le « *Technical Guidance Document* » [ECB, 2003]. Celle-ci intègre un coefficient de bioconcentration (BCF) propre à l'organisme consommé (Tableau 17).

$$PEC_{oral} = PEC_{eau} \times BCF$$

(Équation 7)

Avec :

- $PEC_{oral}$  : Concentration prédite dans les produits de la pêche (en mg/kg) ;
- $PEC_{eau}$  : Concentration dans l'eau (mg/l) ;
- BCF : Facteur de bioconcentration (l/kg).

<i>PARAMÈTRES</i>	<i>BCF<sub>poisson</sub></i> (l/kg)
Cadmium	100
Chrome III	200
Chrome VI	1
Cuivre	1000
Nickel	200
Zinc	10000

Tableau 17 : Valeurs des BCF retenues (source : Rivm, Ifremer)

Par voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par une concentration inhalée. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$DJE = C_{pe} \times Fr \times F \times \frac{T}{T_m}$$

(Équation 8)

Avec :

- **DJE** : Dose Journalière d'Exposition (en mg/m<sup>3</sup>) ;
- **C<sub>pe</sub>** : Concentration dans les poussières extérieures (mg/m<sup>3</sup>) ;
- **Fr** : Fraction de poussières retenus par les poumons (-) ;
- **F** : Fréquence d'exposition : fraction de nombre annuel d'unité de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année (F est sans dimension) ;
- **T** : Nombre d'années d'exposition (année) ;
- **T<sub>m</sub>** : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (année).

<i>Masse de poussières dans l'air extérieur (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Fraction de sol contaminé dans les poussières d'air extérieur</i>	<i>Fraction de poussières retenues dans les poumons</i>
70	0,50	0,75

*Tableau 18 : Paramètres de concentration dans l'air extérieur (source : Rivm)*

Pour les contaminants avec un effet à seuil, l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition  $T_m = T$ . Pour les contaminants sans seuil,  $T_m$  sera assimilé à la durée de vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans, soit  $T_m = 70$ ).

## V° / 1. 4 CARACTÉRISATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ

### 1 ) Présentation et objectifs

La caractérisation du risque est l'étape finale d'une évaluation de risque. Les informations issues de l'évaluation de l'exposition des populations et de l'évaluation de la toxicité des substances sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression quantitative du risque, ou qualitative lorsque cela n'est pas possible. L'évaluation des risques consiste à appliquer les relations dose-effet aux valeurs d'exposition estimées dans les étapes précédentes.

Dans le cas d'un effet toxique à seuil, elle permet le calcul du **Quotient de Danger** (QD). Dans le cas d'un effet toxique sans seuil, elle aboutit à l'estimation d'un **excès de risque individuel** (ERI). Cette caractérisation du risque tient compte de toutes les modalités d'exposition : la voie, la durée, les substances.

## 2 ) Effets à seuil

Pour les effets à seuil, l'expression déterministe de la survenue d'un effet toxique dépend du dépassement d'une valeur. Le potentiel d'effet toxique est donc représenté par le rapport entre la concentration d'exposition et la VTR. Cet indice est appelé **Quotient de Danger** (QD).

$$QD = \frac{DJE}{VTR}$$

(Équation 9)

Avec :

- DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m<sup>3</sup> ou mg/kg/j) ;
- VTR : Valeur Toxicologique de Référence (mg/m<sup>3</sup> ou mg/kg/j) ;

Lorsque le **Quotient de Danger** (QD) est inférieur à 1, le risque est considéré comme acceptable (valeur repère de risque).

*Remarque* : Cette formule ne renseigne pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange de contaminants (effet « cocktail »). Les connaissances dans ce domaine sont limitées et l'on ne dispose pas de règles générales de prises en compte de ces effets combinés. La pratique la plus courante est au moins dans un premier temps (reconnue par le Ministère de l'Environnement) [MEDD, 2007] d'additionner les indices de risques liés aux différents contaminants et aux différentes voies d'exposition pour une même durée d'exposition.

## 3 ) Effets sans seuil

Il est admis que les substances cancérigènes génotoxiques agissent sans seuil de dose. Cela signifie qu'à toute absorption non nulle d'un toxique cancérigène correspond une probabilité non nulle (même si elle est infinitésimale) de développer un cancer. Cette probabilité est appelée l'**Excès de Risque Individuel** (ERI). Un ERI est calculé pour chaque substance cancérigène en multipliant l'ERU par la DJE.

$$ERI = DJE \times ERU \times \frac{T}{Tm}$$

(Équation 10)

Avec :

- DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m<sup>3</sup> ou mg/kg/j) ;
- ERU : Valeur Toxicologique de Référence (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> ou mg/kg/j ;
- T : Durée de l'exposition (année) ;
- Tm : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (année).

Remarque : La présence d'adultes et d'enfants dans la zone d'étude, un ERI « vie-entière » est calculé en supposant l'exposition suivante : **6 ans** en tant qu'enfant et **24 ans** en tant qu'adulte.

$$ERI \text{ vie entière} = (DJE \text{ enfant} \times \frac{6}{70} + DJE \text{ adulte} \times \frac{24}{70}) \times ERU$$

(Équation 11)

Avec :

- DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m<sup>3</sup> ou mg/kg/j) ;
- ERU : Valeur Toxicologique de Référence (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> ou mg/kg/j ;

L'acceptabilité des risques évalués s'apprécie ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas bien entendu de seuil absolu d'acceptabilité, mais la valeur de 10<sup>-6</sup> (soit un cas de cancer supplémentaire sur un million de personnes exposées durant leur vie entière) est considérée aux USA comme le seuil de risque acceptable en population générale, alors que la valeur de 10<sup>-4</sup> est considérée comme limite acceptable en milieu professionnel.

La valeur de 10<sup>-5</sup> est souvent admise comme seuil d'intervention. Elle est citée en matière de sites et sols pollués par le Ministère de l'Environnement [MEDD, 2007]. Ce seuil de 10<sup>-5</sup> est également utilisé par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air.

Dans le cas présent, on considérera également qu'un excès de risques inférieur à 10<sup>-5</sup> pour toutes substances confondues est acceptable (c'est-à-dire l'apparition d'un cas sur une population de 100 000 habitants).

## V°/ 2 ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES

### V°/ 2. 1 PRÉSENTATION DES DOSES JOURNALIÈRES D'EXPOSITION

Les Doses Journalières d'Exposition (DJE) sont représentées pour chaque scénario envisagé, sous la forme de tableaux en *Annexe IX*.

*Remarque* : Afin de se placer dans une situation sécurisante, l'estimation des DJE est réalisée sur la base des concentrations moyennes en contaminants les plus élevées, identifiées dans la zone d'étude (en particulier sur le secteur de l'Yvrande et de Vezins). Les concentrations en Cyanures totaux détectées dans les prélèvements carottés du BRGM ont également été intégrées à l'étude<sup>12</sup>.

CONCENTRATION DANS L'EAU		PHASE 1	PHASE 3	CONCENTRATION DANS LES SEDIMENTS		PHASE 3
Cadmium	µg/l	0,14 (V)	0,05 (Y)	Cadmium	mg/kg	7,50 (Y)
Chrome	µg/l	0,80 (Y)	0,58 (Y)	Chrome	mg/kg	126,30 (Y)
Cuivre	µg/l	4,31 (V)	0,38 (Y)	Cuivre	mg/kg	80,60 (Y)
Nickel	µg/l	27,4 (Y)	0,45 (Y)	Nickel	mg/kg	74,60 (Y)
Zinc	µg/l	7,45 (V)	2,21 (Y)	Zinc	mg/kg	331,20 (Y)
				Cyanures	mg/kg	14,9 (Y)

(Y) : Embouchure de l'Yvrande ; (V) : Plan d'eau de Vezins

*Tableau 19 : Concentrations en contaminants utilisées pour le calcul de DJE*

### V°/ 2. 2 RISQUE ASSOCIÉ EN PHASE 1 – ÉTAT ACTUEL DES BARRAGES

Les scores de risques calculés en PHASE 1 sont présentés en *Planche 17* pour les contaminants à effets avec et sans seuil.

#### 1 ) Effet à seuils

Les Quotients de Danger (QD) sont inférieurs à la valeur repère de risque 1 quels que soient les scénarios et populations d'expositions.

#### 2 ) Effet sans seuils

Les Excès de Risques Individuels (ERI) sont inférieurs à la valeur repère de risque  $10^{-5}$  quels que soient les scénarios et populations d'expositions.

<sup>12</sup> Mission BRGM « ELISE » : Etude de la capacité de libération de contaminants présents dans les sédiments de la Sélune (50).

**RESULTATS DES QUOTIENTS DE DANGER (QD) – EFFETS AVEC SEUIL**

Paramètres	Provenance de la contamination	INGESTION				Somme QD	
		Eau de surface		Poisson		Enfant	Adultes
		Enfant	Adultes	Enfant	Adultes		
Cadmium	Yvrande	2,2E-05	4,3E-05	2,9E-03	1,8E-03	2,9E-03	1,8E-03
Chrome III	Yvrande	2,1E-08	4,1E-08	1,1E-05	6,6E-06	1,1E-05	6,7E-06
Chrome VI	Yvrande	1,1E-05	2,1E-05	2,8E-04	1,7E-04	2,9E-04	1,9E-04
Cuivre	Yvrande	1,5E-05	2,9E-05	3,9E-02	2,3E-02	3,9E-02	2,3E-02
Nickel	Vezins	2,1E-05	4,0E-05	1,1E-02	6,6E-03	1,1E-02	6,6E-03
Zing	Vezins	8,6E-07	1,7E-06	2,2E-02	1,3E-02	2,2E-02	1,3E-02
Somme QD (Cr III)						7,5E-02	4,5E-02
Somme QD (Cr VI)						7,5E-02	4,6E-02

**RESULTATS DES EXCES DE RISQUES INDIVIDUELS (ERI) - EFFETS SANS SEUIL**

Paramètres	Provenance de la contamination	INGESTION				Somme ERI		ERI "vie entière"
		Eau de surface		Poisson		Enfant	Adultes	
		Enfant	Adultes	Enfant	Adultes			
Chrome VI	Yvrande	1,1E-08	1,1E-07	3,0E-07	9,0E-07	3,1E-07	1,0E-06	1,1E-06

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES – PHASE 1 ÉTAT ACTUEL**

**LÉGENDE :**

Valeurs repères de risques :

- QD < 1 risque acceptable
- ERI < 10<sup>-5</sup> risque acceptable (apparition d'un cas sur une population de 100 000 habitants)

9,5E-01

Risque considéré comme acceptable au regard des valeurs repères de risque

3,1E-05

Risque inacceptable au regard des valeurs repères des **Excès de Risques Individuels**

2,0E+00

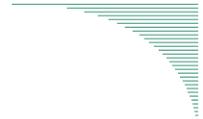
Risque considéré comme acceptable au regard des **Quotients de Danger**

Sources : IDRA



DDTM de La Manche





Remarque : En Phase 1, les Cyanures n'ont pas été pris en compte dans l'analyse des risques parce que les mesures du BRGM ont montré une faible solubilité de ces composés dans l'eau interstitielle des sédiments.

## V°/ 2. 3 RISQUE ASSOCIÉ EN PHASE 3 – EFFACEMENT DES BARRAGES

Les scores de risques calculés en PHASE 3 sont présentés *Planche 18* pour les contaminants à effets avec et sans seuil.

### 1 ) Effet à seuils

Les Quotients de Danger (QD) mettent en évidence :

- Un QD supérieur à la valeur repère 1 pour l'inhalation de poussières de sédiment contaminées en Cadmium par les enfants ;
- Un QD proche de 1 pour l'ingestion de sédiments contaminés en Chrome VI par les enfants ;
- Des QD inférieurs 1 pour l'ingestion d'eau accidentelle et la consommation de poissons quelles que soient les populations d'expositions.

### 2 ) Effet sans seuils

Les Excès de Risques Individuels (ERI) indiquent :

- Un ERI supérieur à  $10^{-5}$  pour l'ingestion de sédiments contaminés en Chrome VI par les enfants ;
- Des ERI inférieurs à  $10^{-5}$  pour l'ingestion d'eau accidentelle et la consommation de poissons quelles que soient les populations d'expositions.

Remarque : Pour l'ingestion et l'inhalation de poussières de sédiment sec, une analyse des risques spécifique à chaque secteur d'exposition a été réalisée (*Planche 19*). Les résultats indiquent les dépassements suivants :

- Un QD supérieur à 1 pour l'inhalation de poussières de sédiment contaminées en Cadmium dans le secteur de l'Yvrande pour les enfants ;
- Une somme de QD supérieurs à 1 pour l'ingestion de sédiments contaminés en Chrome VI dans le secteur de l'Yvrande pour les enfants ;
- Des ERI supérieurs à  $10^{-5}$  pour l'ingestion de sédiments contaminés en Chrome VI par les enfants dans le secteur de l'Yvrande.

**RESULTATS DES QUOTIENTS DE DANGER (QD) - EFFETS AVEC SEUIL**

Paramètres	Provenance de la contamination	INGESTION						INHALATION		Somme QD	
		Eau de surface		Poisson		Sédiment		Poussière de sédiment		Enfant	Adultes
		Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes		
Cadmium	Yvrande	4,2E-06	8,0E-06	5,4E-03	3,3E-03	1,4E-01	1,8E-04	1,1E+00	6,5E-01	1,3E+00	6,5E-01
Chrome III		1,4E-09	2,7E-09	3,6E-06	2,2E-06	9,6E-05	1,2E-07	1,9E-07	1,1E-07	1,0E-04	2,4E-06
Chrome VI		6,7E-06	1,3E-05	1,7E-04	1,0E-04	8,1E-01	9,9E-04	1,9E-03	1,1E-03	8,1E-01	2,2E-03
Cuivre		1,3E-06	2,5E-06	3,4E-02	2,1E-02	1,5E-01	1,9E-04	1,2E-04	7,0E-05	1,9E-01	2,1E-02
Nickel		7,8E-07	1,5E-06	4,1E-03	2,4E-03	7,2E-02	8,8E-05	1,3E-03	7,2E-04	7,7E-02	3,2E-03
Zing		2,6E-07	4,9E-07	6,6E-02	4,0E-02	2,1E-02	2,6E-05			8,7E-02	4,0E-02
Cyanure						4,8E-01	5,8E-04			4,8E-01	5,8E-04
Somme QD (Cr III)										2,1E+00	7,2E-01
Somme QD (Cr VI)										2,9E+00	7,2E-01

**RESULTATS DES EXCES DE RISQUES INDIVIDUELS (ERI) - EFFETS SANS SEUIL**

Paramètres	Provenance de la contamination	INGESTION						INHALATION		Somme ERI		ERI "vie entière"
		Eau de surface		Poisson		Sédiment		Poussière de sédiment		Enfant	Adultes	
		Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes			
Cadmium	Vezins							4,1E-09	1,2E-08	4,1E-09	1,2E-08	1,3E-08
Chrome VI		7,4E-10	7,1E-09	1,9E-08	5,8E-08	8,7E-05	5,3E-07	6,5E-07	1,9E-06	8,8E-05	2,5E-06	9,0E-05
Nickel								2,3E-09	6,6E-09	2,3E-09	6,6E-09	7,6E-09
Somme ERI										8,8E-05	2,5E-06	9,0E-05

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES – PHASE 3 VIDANGE DÉFINITIVES ET EFFACEMENT DES BARRAGES**

**LÉGENDE :**

Valeurs repères de risques :

- QD < 1 risque acceptable
- ERI < 10<sup>-5</sup> risque acceptable (apparition d'un cas sur une population de 100 000 habitants)

9,5E-01

Risque considéré comme acceptable au regard des valeurs repères de risque

2,0E+00

Risque considéré comme acceptable au regard des **Quotients de Danger**

3,1E-05

Risque inacceptable au regard des valeurs repères des **Excès de Risques Individuels**

Sources : IDRA



DDTM de La Manche



**RESULTATS DES QUOTIENTS DE DANGER (QD) - EFFETS AVEC SEUIL**

	INGESTION DE SEDIMENT								INHALATION DE POUSSIÈRES DE SEDIMENT							
	Vezins amont		Yvrande		Vezins		Roche qui boit		Vezins amont		Yvrande		Vezins		Roche qui boit	
	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes
Cadmium	1,6E-02	1,9E-05	1,4E-01	1,8E-04	3,9E-02	4,8E-05	3,1E-02	3,8E-05	1,2E-01	7,1E-02	1,1E+00	6,5E-01	3,1E-01	1,8E-01	2,5E-01	1,4E-01
Chrome III	3,3E-04	4,1E-07	1,6E-03	2,0E-06	6,0E-04	7,4E-07	4,2E-04	5,1E-07	6,6E-07	3,8E-07	3,2E-06	1,8E-06	1,2E-06	6,8E-07	8,2E-07	4,7E-07
Chrome VI	*	*	8,1E-01	9,9E-04	*	*	*	*	3,9E-04	2,3E-04	1,9E-03	1,1E-03	7,1E-04	4,1E-04	4,9E-04	2,8E-04
Cuivre	3,1E-02	3,8E-05	1,5E-01	1,9E-04	6,7E-02	8,2E-05	4,1E-02	5,1E-05	2,5E-05	1,4E-05	1,2E-04	7,0E-05	5,3E-05	3,0E-05	3,2E-05	1,9E-05
Nickel	2,7E-02	3,3E-05	7,2E-02	8,8E-05	4,9E-02	6,0E-05	3,7E-02	4,5E-05	4,7E-04	2,7E-04	1,3E-03	7,2E-04	8,6E-04	4,9E-04	6,4E-04	3,7E-04
Zing	7,5E-03	9,2E-06	2,1E-02	2,6E-05	1,3E-02	1,6E-05	8,8E-03	1,1E-05								
Cyanure			4,8E-01	5,8E-04												
<b>Somme QD (Cr III)</b>	8,2E-02	1,0E-04	8,7E-01	1,1E-03	1,7E-01	2,1E-04	1,2E-01	1,5E-04	1,2E-01	7,1E-02	1,1E+00	6,5E-01	3,1E-01	1,8E-01	2,5E-01	1,4E-01
<b>Somme QD (Cr VI)</b>			1,7E+00	2,1E-03					1,3E-01	7,2E-02	1,1E+00	6,5E-01	3,1E-01	1,8E-01	2,5E-01	1,4E-01

**RESULTATS DES EXCES DE RISQUES INDIVIDUELS (ERI) - EFFETS SANS SEUIL**

	INGESTION DE SEDIMENT								INHALATION DE POUSSIÈRES DE SEDIMENT							
	Vezins amont		Yvrande		Vezins		Roche qui boit		Vezins amont		Yvrande		Vezins		Roche qui boit	
	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes
Cadmium									4,5E-10	1,3E-09	4,1E-09	1,2E-08	1,1E-09	3,2E-09	8,9E-10	2,5E-09
Chrome VI	*	*	8,7E-05	5,3E-07	*	*	*	*	1,4E-07	3,9E-07	6,5E-07	1,9E-06	2,4E-07	7,0E-07	1,7E-07	4,8E-07
Nickel									8,7E-10	2,5E-09	2,3E-09	6,6E-09	1,6E-09	4,6E-09	1,2E-09	3,4E-09
<b>Somme ERI</b>									1,4E-07	3,9E-07	6,6E-07	1,9E-06	2,5E-07	7,1E-07	1,7E-07	4,9E-07

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES – PHASE 3 LOCALISATION DES SECTEURS SENSIBLES**

LÉGENDE :

Valeurs repères de risques :

- QD < 1 risque acceptable
- ERI < 10<sup>-5</sup> risque acceptable (apparition d'un cas sur une population de 100 000 habitants)

9,5E-01

Risque considéré comme acceptable au regard des valeurs repères de risque

2,0E+00

Risque considéré comme acceptable au regard des Quotients de Danger

3,1E-05

Risque inacceptable au regard des valeurs repères des Excès de Risques Individuels

\*

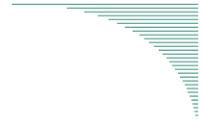
Chrome III

Sources : IDRA



DDTM de La Manche





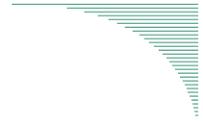
### V°/ 3 SYNTHÈSE DES RISQUES SANITAIRES

L'analyse des risques sanitaires a été évaluée sur des populations cibles (enfants et adultes) et sur la base des voies d'expositions les plus pertinentes : l'ingestion d'eau accidentelle, la consommation de poissons, l'ingestion et l'inhalation de poussières de sédiment sec.

Les résultats mettent en évidence une absence de risques pour la santé humaine quels que soient les scénarios et populations d'exposition en Phase 1 du projet. En Phase 3, les sédiments exondés occasionnent des risques sanitaires via l'inhalation et l'ingestion de sédiments contaminés en Cadmium et Chrome VI par les enfants (effet pica) sur l'Yvrande. Aucun risque lié à l'ingestion d'eau et à la consommation de poissons n'est à signaler.

*Remarque : Par principe de précaution, les concentrations en Chrome total dans les sédiments ont été assimilées à du Chrome VI plus toxique et introduit la plupart du temps par l'homme. Cette démarche est pleinement justifiée dans le secteur de l'Yvrande étant donné les concentrations en Chrome détectées et l'activité industrielle de traitement de surface en amont. Toutefois, elle reste discutable sur les secteurs moins contaminés notamment en amont de la Sélune. Les concentrations en Chrome total sont alors assimilées à des concentrations en Chrome III dont la forme moins toxique est majoritaire dans l'environnement [INERIS, 2011].*

*Les résultats présentés ci-avant devront être confirmés par des mesures de spéciation pour connaître les teneurs exactes en Chrome III et en Chrome VI des sédiments et en particulier pour le secteur de Vezins sous l'influence directe des apports de l'Yvrande. À titre indicatif, quels que soient les populations et secteurs d'expositions dans la zone d'étude en Phase 3, les risques sanitaires sont considérés comme acceptables pour une concentration en Chrome VI dans le sédiment inférieure à 13 mg/kg.*



## VI°/ ANALYSE DES HYPOTHÈSES ET DES INCERTITUDES

L'évaluation des risques environnementaux et sanitaires est basée sur un certain nombre d'hypothèses et d'incertitudes qui doivent être spécifiées pour :

- ⇒ Apporter les éléments nécessaires à la discussion ;
- ⇒ Mettre en évidence les points de l'évaluation pour lesquels un effort supplémentaire dans l'acquisition de données et le travail de modélisation peuvent réduire de façon substantielle l'incertitude entourant les résultats.

**Ce travail concerne autant l'évaluation de la toxicité des substances que l'exposition des cibles.**

### VI°/ 1 INCERTITUDES SUR L'ÉVALUATION DE LA TOXICITÉ

Les éléments à prendre en compte pour évaluer l'incertitude liée à la toxicité concernent :

1. L'identification exhaustive des dangers de la substance pour les cibles ;
2. La définition de la relation dose-effet ;
3. La possibilité d'une interaction liée à une exposition concomitante à plusieurs polluants produisant des effets de synergie ou d'antagonisme ;
4. Le risque lié à des substances qui n'auraient pas été prises en compte dans l'évaluation.

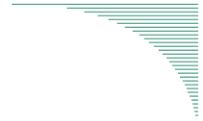
Dans le cadre du projet d'effacement des barrages de la Sélune, en ce qui concerne les 2 premiers points, les données ont été collectées depuis :

- Les fiches toxicologiques et environnementales de l'INERIS [INERIS, 2005 & 2011] ;
- Les fiches des substances prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) [IFREMER, 2005] ;
- Les documents de synthèse des Valeurs Toxicologiques de Référence [INERIS, 2009] ;
- La banque de données des VTR FURETOX ;

**Il n'est pas possible, dans le cadre de cette étude, de pousser les recherches plus loin.**

En ce qui concerne le troisième point, une additivité de l'ensemble des substances a été considérée dans l'évaluation des risques sanitaires. Il a donc été considéré que toutes les substances ont le même effet sur un même organe cible, ce qui constitue une surévaluation du risque.

Vis-à-vis du quatrième point, les substances suivantes n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation : le Fer, le Manganèse et les molécules organiques. **Il existe donc une incertitude à propos de ces substances.**



## VI°/ 2 INCERTITUDES SUR L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Trois catégories d'incertitudes sont associées à l'exposition :

1. Celles qui portent sur la définition des populations et des usages ;
2. Celles qui portent sur les modèles utilisés ;
3. Celles qui portent sur les concentrations modélisées dans le milieu ;

### VI°/ 2. 1 DÉFINITION DES POPULATIONS ET DES USAGES

#### 1 ) Populations

La zone d'étude se situe dans un secteur rural. En termes de population cible, cela suppose la présence sur le site d'adultes et d'enfants. Cette hypothèse est tout à fait correcte dans le cadre d'une évaluation des risques chroniques.

#### 2 ) Usages

Le choix des scénarios d'exposition est important pour la détermination du risque. Dans le cas présent, les populations concernées par les usages récréatifs du site constituent la majorité des cibles, c'est-à-dire : l'ingestion d'eau accidentelle, de sédiment, de produits de la pêche et l'inhalation de poussières de sédiment (Chap. V°/ 1. 3, page 82).

**Les paramètres d'exposition sont sélectionnés dans des bases de données reconnues (INERIS, CIBLEX, US EPA) et dans le but de correspondre au mieux aux futurs usages envisagés sur le site.**

### VI°/ 2. 2 DÉFINITION DES MODÈLES ET CONCENTRATIONS D'EXPOSITION

#### 1 ) Modèles utilisés

Les modèles utilisés (CHAP V /III°/, page 66) pour déterminer les concentrations en contaminant dans le milieu aquatique ( $PEC_{\text{eau}}$  et  $PEC_{\text{oral}}$ ) sous-tendent les incertitudes suivantes :

- L'existence d'un équilibre entre les différents compartiments (sédiment / eau / biote) du milieu aquatique (modèle d'équilibre de partage) ;
- Les coefficients de partage  $K_p$  ne prennent pas en compte la forme physico-chimique des contaminants. En effet, les modèles utilisés ne permettent aucune différenciation entre les formes particulaires (fixées à la fraction cristalline) et labiles (participant aux échanges dissous/particulaire) des contaminants analysés dans le sédiment ;
- L'origine et le degré de validité des coefficients de bioconcentration  $BCF_{\text{poisson}}$  (mesures expérimentales, mesures en laboratoire, type de poisson pélagique ou benthique, échelle géographique) ;

- La libération de contaminants depuis les berges est basée sur une mesure indirecte de l'érosion et de la percolation des sédiments asséchés (équations de perte des sols).

L'évaluation de l'exposition est réalisée sur la base des concentrations en contaminants dans les sédiments en place dans la zone d'étude. Sur ce point, des incertitudes demeurent sur les prélèvements, l'échantillonnage et les analyses en laboratoire.

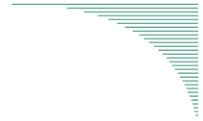
**Toutefois, les concentrations maximales en contaminants détectées en laboratoire ou estimées par les modèles sont prises en compte pour évaluer l'exposition (hypothèse majorante).**

## **2 ) Concentrations d'exposition du milieu**

Les concentrations en contaminants sont modélisées en priorité à partir des paramètres de transferts (*Annexe VI*) propres au terrain ou, par défaut, issus de la littérature. Les concentrations modélisées dans l'étude sont basées sur plusieurs hypothèses majorantes, c'est-à-dire :

- Les concentrations en contaminant dans la colonne d'eau ne prennent pas en compte l'hydrodynamisme de la Sélune ;
- Les équations et modèles précités n'intègrent pas les processus d'élimination et de biodégradation propre à chaque contaminant ;
- L'utilisation des  $BCF_{\text{POISSON}}$  ne donne qu'une vision partielle du processus de bioaccumulation, du fait de la non-prise en compte des processus biologiques (physiologie, nutrition, métabolisation des contaminants).

Concernant les processus de diffusion/relargage, ils sont difficilement mesurables car ils dépendent de nombreux paramètres variables influençant les résultats de l'analyse de risque. Le caractère conservatoire du modèle d'équilibre de partage s'avère ici pleinement justifié. **Au final, les résultats obtenus ont donc tendance à majorer le risque, tout en conservant la notion de « pire cas réaliste ».**



## VII°/ ÉVALUATION DES RISQUES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES DE LA VIDANGE

### VII°/ 1 INTRODUCTION ET DÉMARCHE RETENUE

L'analyse des risques engagée sur le principe de la modélisation précédemment décrite s'applique uniquement dans le cas d'une exposition chronique de l'environnement et de l'homme aux polluants. Cette exposition chronique se produit lorsque le fonctionnement hydraulique de la Sélune et des plans d'eau de Vezins et de la Roche-qui-Boît sont en situation dite « normale ».

Parallèlement à ce mode d'exposition, il faut également tenir compte des risques épisodiques associés à une perturbation de la dynamique hydrologique et notamment des périodes de crue, ces dernières étant très propices à l'érosion des sédiments exondés et au transfert d'importantes quantités de polluants fixés.

Les PNEC et VTR utilisées dans le cadre d'une exposition chronique de l'environnement et de l'homme aux polluants présents dans les sédiments des 2 plans d'eau ne sont pas applicables à ces conditions hydrodynamiques particulières entraînant une exposition aiguë aux polluants.

Contrairement à l'exposition chronique, l'INERIS et les autres experts scientifiques ne fournissent pas de valeurs de référence concernant la toxicité aiguë des métaux lourds. Quoiqu'il en soit dans le cas présent, compte tenu des faibles teneurs en métaux relevées (inférieures aux seuils d'épandage en dehors du secteur de l'Yvrande), les principales incidences susceptibles d'impacter le milieu sont liées à l'augmentation des concentrations en MES dans le cours d'eau en phase de vidange ou lors d'une crue à l'issue de l'effacement.

De manière à statuer sur ces éventuels impacts, une série de calculs visant à évaluer l'incidence d'une crue au cours de la phase d'abaissement et ce pour différentes côtes de plan d'eau a été mise en œuvre. Ces calculs impliquent une remobilisation massive de sédiments dans une période de temps limitée.

Parallèlement à ces réflexions, et de manière à évaluer l'incidence de l'érosion complète des sédiments, des calculs visant à déterminer la quantité de matériaux érodables dans le cadre de la reformation du lit de la Sélune ont été engagés. Pour cette hypothèse, il est en revanche, en l'état actuel des connaissances impossible de définir la période nécessaire. Le calcul serait possible en disposant de données complémentaires et notamment :

- Modélisation de la courantologie de la Sélune sur l'actuel linéaire couvert par les 2 barrages à l'issue de leur effacement ;
- Mesures d'érodabilité des sédiments des 2 barrages ;
- Bathymétrie du barrage de la Roche-qui-Boît.

Toutefois même en disposant de ces données, les hypothèses devraient intégrer les variations potentielles de débit de la Sélune, ce qui peut très grandement influencer sur le temps nécessaire à l'érosion complète des sédiments localisés dans le lit historique du cours d'eau.

De manière à disposer de moyen de comparaison, les chiffres obtenus pour ces calculs sont confrontés aux quantités de MES charriées annuellement par la Sélune ainsi qu'aux apports maritimes en sédiments sur la baie du mont Saint-Michel qui constitue l'exutoire du fleuve. Ces valeurs permettent ainsi de relativiser les possibles apports dans le cadre d'une crue ou à l'issue de l'effacement.

Dans un premier temps, un rappel de l'incidence des matières en suspension sur le milieu biologique et physique est mis en œuvre.

## VII°/ 2 INCIDENCE DE LA TURBIDITÉ SUR LE MILIEU PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE

### VII°/ 2. 1 DÉFINITION

Les matières en suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans un liquide. La turbidité est exprimée en unités néphélométriques de turbidité (NTU), cette mesure rend compte de la quantité de matière en suspension (MES, mesurée en ppm ou mg/l) ainsi que des éléments colorants de l'eau.



*Figure 22 : Relation entre aspect d'une eau et mesure NTU*

Les particules fines en suspension dans une eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Elles ont une incidence sur la composition chimique des eaux car leur surface peut concentrer certains produits dissous par des phénomènes d'adsorption ou d'échange d'ions. De plus, la plupart des micro-organismes de l'eau (bactéries, virus) peuvent se fixer sur leur surface.

Concernant la vidange et l'effacement des barrages de la Sélune, ce sont les sédiments accumulés au-dessus du lit historique du cours d'eau (matières en suspension apportée par le cours d'eau) qui vont être remis en suspension lors ou à l'issue de l'abaissement. Ces matériaux étant principalement nus, fins et peu cohésifs, toute augmentation subite de la courantologie peut se traduire par une remise en suspension brutale de grandes quantités de matière.

Le projet d'effacement des 2 barrages implique donc d'anticiper tout événement susceptible de modifier le régime hydraulique de la Sélune. Si les conditions encadrant la vidange ne permettent pas de s'assurer de l'absence d'incidences dommageables sur le milieu récepteur des mesures préventives doivent être mises en œuvre en vue de limiter ou atténuer les impacts.

## VII°/ 2. 2 TURBIDITÉ ET ENVASEMENT

Dans certains états américains, l'envasement excessif des rivières depuis les cent dernières années est considéré comme le facteur principal de la diminution de l'aire de répartition de 78 % des espèces de poissons de même que de la disparition de plusieurs espèces indigènes.

L'augmentation de la turbidité et notamment l'envasement progressif du lit de la rivière a été identifié comme un facteur menaçant l'intégrité de l'habitat et, par le fait même, la survie des espèces qui y sont rencontrées.

L'envasement des cours d'eau est un processus naturel. En situation d'équilibre, les apports qui surviennent au cours d'un cycle annuel normal ne modifient pas de façon significative l'écosystème. Chaque système possède donc une certaine capacité de tendre à nouveau vers l'équilibre suite aux événements naturels les plus fréquents comme les crues. Les activités anthropiques, de plus en plus nombreuses, représentent toutefois des perturbations supplémentaires qui conduisent à l'accélération des processus d'érosion et d'envasement et à l'apport de sédiments fins dans la colonne d'eau.

La présence de sédiments en quantité excessive influence les processus de transmission de la chaleur dans la colonne d'eau ce qui modifie inévitablement la quantité d'oxygène dissous. L'existence de liens très étroits entre la quantité de lumière qui pénètre dans l'eau, la production primaire, la respiration microbienne, la productivité des invertébrés et ultimement celle des vertébrés a été clairement démontrée. L'augmentation de la turbidité et l'envasement des cours d'eau entraînent une diminution de la biomasse des macrophytes et du périphyton.

Les effets sur les organismes aquatiques sont généralement regroupés sous deux catégories; les effets directs : désordres physiologiques, modifications du comportement et dommages mécaniques; et les effets indirects qui résultent d'une altération de l'habitat et de leurs ressources alimentaires.

Le niveau de sensibilité des différents organismes aquatiques peut varier considérablement entre les espèces et est tributaire de leurs exigences sur le plan biologique. Chez les poissons, les espèces les plus intéressantes pour la pêche sportive et la consommation (truite, saumon, brochet, esturgeon etc.) sont généralement plus vulnérables que les espèces ubiquistes souvent jugées moins désirables. À titre d'exemple au-delà de 25 mg/l, il y a risque de colmatage des branchies des poissons.

La sensibilité de la faune ichthyenne à l'envasement et à la turbidité diffère également selon les étapes du cycle vital; les œufs et plus spécifiquement, les larves sont particulièrement vulnérables.

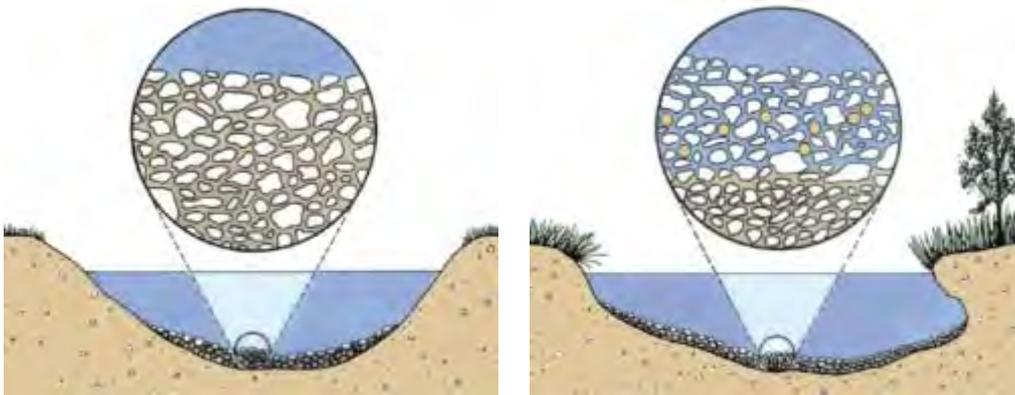
## VII°/ 2. 3 INCIDENCES DE L'ENVAISEMENT ET DE LA TURBIDITÉ

### 1 ) Sur les caractéristiques physiques et chimiques du milieu

L'envasement excessif des cours d'eau modifie les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau et ses effets se font sentir sur l'ensemble de la chaîne trophique.

Les fines particules inorganiques sont les sédiments qui causent le plus de problèmes puisqu'elles circulent avec le courant, entraînent une augmentation de la turbidité et se déposent sur le lit des cours d'eau causant une perte d'habitat pour plusieurs espèces aquatiques :

- Les interstices entre les particules de gravier se bouchent, empêchant la libre circulation de l'eau oxygénée et l'enlèvement des matières résiduelles des œufs en développement sur le gravier. Ce phénomène a souvent pour effet d'étouffer et de tuer les œufs. En fait, cela peut aller jusqu'à rendre les lits de gravier impropres à l'incubation des œufs dans l'avenir (Figure 23).



*Figure 23 : Schématisation du colmatage d'un lit de gravier en rivière du fait des phénomènes d'érosion*

- L'habitat des organismes vivant dans les profondeurs, tels les écrevisses et les insectes, est détruit. Les poissons dépendent de ces organismes pour se nourrir.
- Les zones abritées entre les roches et les particules de gravier sont éliminées alors que les jeunes poissons ont besoin de ces zones pour survivre.

En régime hydrologique moyen, les MES proviennent principalement des eaux usées urbaines et industrielles et du plancton. En revanche, en période de crue, l'érosion des sols du bassin versant est souvent à l'origine d'une grande part des MES.

À l'exception des endroits où la vitesse du courant est très faible, les sédiments en suspension sont distribués uniformément dans la colonne d'eau et ce, même aux endroits les plus profonds.

Des expériences de laboratoire démontrent que la présence de sédiments modifie les processus normaux de contrôle de la température de l'eau en influençant la transmission de la chaleur et ce, particulièrement dans les élargissements des rivières. Les répercussions peuvent être extrêmement importantes puisque la

température affecte le métabolisme des organismes aquatiques, modifie certains facteurs physiques et chimiques de l'eau telle la quantité d'oxygène dissous. En effet, une augmentation de la consommation d'oxygène est observée lorsque des particules organiques, souvent partiellement décomposées, sont transportées dans les cours d'eau dont le substrat est en grande partie composé de fines particules (limon).

D'autres effets, tels une altération de l'odeur et du goût de l'eau, une diminution de sa clarté et de son pH près du substrat résultent de la présence de sédiments en suspension et de l'envasement.

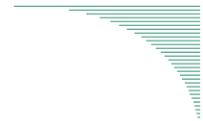
## 2 ) Sur les producteurs primaires

L'existence de liens très étroits entre la quantité de lumière qui pénètre dans l'eau, la production primaire, la respiration microbienne, la productivité des invertébrés et ultimement celle des vertébrés a été clairement démontrée.

À titre d'exemple, une augmentation de 5 NTU dans un cours d'eau où l'eau est relativement limpide engendre une baisse de la production primaire de 3 à 13 % et est correspond à une augmentation de MES de 5 à 25 mg/l. Le Tableau 20 présente un résumé des effets de l'augmentation de la turbidité et de l'envasement excessif des cours d'eau sur les producteurs primaires.

Effet	Processus/Cause	Référence
Diminution de la biomasse des macrophytes	Diminution de la photosynthèse due à : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La réduction de la pénétration de la lumière dans l'eau ;</li> <li>• L'accumulation de sédiments fins sur les macrophytes</li> </ul> Ensevelissement sous les sédiments	Cordone et Kelley (1961) Ellis (1936) Muncy <i>et al.</i> (1979) Waters (1995) Lloyd <i>et al.</i> (1987)
Diminution de la biomasse du périphyton  Diminution ou altération de la croissance et de la biomasse des algues	Réduction de la pénétration de la lumière dans l'eau ;  Combinée avec de grandes vitesses de courant, des quantités excessives de sédiments en suspension arrachent les algues du lit des rivières ;  Par l'augmentation des nutriments ou des contaminants adsorbés aux sédiments en suspension ;  Ensevelissement sous les sédiments.	Cordone et Kelley (1961) Muncy <i>et al.</i> (1979) Newcombe et MacDonald (1991) Lloyd <i>et al.</i> (1987)

*Tableau 20 : Synthèse des effets et des processus impliqués par l'augmentation de la turbidité et l'envasement excessif des cours d'eau sur les producteurs primaires.*



## VII°/ 2. 4 SUR LES INVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Les effets des sédiments en suspension sont nombreux et souvent létaux pour les invertébrés aquatiques. Comme cela est le cas pour les contaminants, la sévérité des effets des sédiments en suspension sur les organismes aquatiques est corrélée non seulement à leur concentration mais également à la durée de l'exposition (Newcombe et MacDonald 1991). Les invertébrés aquatiques seraient aussi sensibles sinon plus que les Salmonidés à cette forme de pollution.

Par contre, suite à une décharge ponctuelle de sédiments, la faune benthique montre une grande capacité de récupération lorsque les conditions sont revenues au niveau initial (Cordone et Kelley 1961). Puisque les invertébrés benthiques sont relativement sédentaires, ils sont considérés comme de bons indicateurs pour évaluer des perturbations plus circonscrites dans l'écosystème. Il faut cependant prendre en considération qu'ils ne réagissent pas tous de la même façon à l'envasement et à la turbidité (Berkman et al. 1986).

Ultimement, la présence de sédiments en suspension et l'envasement du lit des cours d'eau induisent d'importants changements dans la structure des communautés d'invertébrés aquatiques allant d'une perte de diversité à la réduction ou même à la disparition de certaines populations (Cordone et Kelley 1961, Lloyd et al. 1987, Newcombe et MacDonald 1991).

Ces changements, qui résultent inévitablement de modifications de leur taux croissance, de reproduction et de survie, sont produits soit directement par des désordres physiologiques, des modifications de leur comportement et des dommages mécaniques ou par le biais de processus plus complexes comme une altération de leur habitat et de leurs ressources alimentaires (Cordone et Kelley 1961, Newcombe et MacDonald 1991). Dans certains cas, d'autres types d'effets indirects s'ajoutent par le simple fait que les organismes présentent des exigences biologiques particulières.

Parmi les effets les plus fréquemment observés on peut citer ceux qui sont liés à alimentation : diminution du taux d'alimentation, de la disponibilité des ressources de même que de leur capacité à localiser et à assimiler leur nourriture. Les difficultés d'assimilation de la nourriture résultent souvent de l'obstruction du tractus digestif.

D'autres effets sont associés à des processus physiologiques ou à des dommages mécaniques tel une diminution de la fécondité, un retard dans le développement des œufs et des larves, l'obstruction des branchies et l'abrasion. Des dévalaisons plus importantes d'invertébrés aquatiques ont également été observées suite à des apports de sédiments (Chutter 1968, Cordone et Kelley 1961, Fairchild et al. 1987, Kerr 1995, Newcombe et MacDonald 1991, Waters 1995). La réaction de dévalaison massive est immédiate si les sédiments sont contaminés (Fairchild et al. 1987).

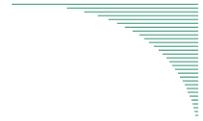
Chez les organismes benthiques, certains comportements essentiels à la survie, la croissance et à la reproduction, comme, s'enfouir, s'agripper aux végétaux ou à certaines composantes du substrat ou s'enfuir des prédateurs, peuvent être modifiés par un apport en sédiments dans l'écosystème (Fairchild et al. 1987).

L'accumulation de sédiments sur le lit des cours d'eau entraîne une perte d'habitats pour les invertébrés aquatiques puisqu'ils meublent les interstices entre les roches. La présence d'un substrat où les anfractuosités sont nombreuses est un habitat privilégié par les invertébrés aquatiques (Angermeier et Karr 1984). Les éphéméroptères, les plécoptères et les trichoptères (insectes très utilisés par les poissons) seraient les plus affectés par ce phénomène alors que d'autres seraient avantagés comme certaines larves de chironomides et les oligochètes (Angermeier et Karr 1984, Waters 1995).

Le Tableau 21 présente quelques exemples d'effets observés chez certains invertébrés aquatiques. Certains niveaux d'exposition mentionnés au sein de ce tableau sont extrêmement élevés et ne se rencontrent que rarement en milieu naturel. Toutefois, dans le cadre d'une opération de vidange de plan d'eau, l'érosion du lit historique de la rivière se traduit en général par un départ conséquent de sédiments se traduisant par une augmentation de la concentration en MES pouvant atteindre ces teneurs.

Type d'organisme	Effet	Référence
Gastéropode ( <i>Biomphalaria pfeifferi</i> )	Ne déposent pas leurs œufs si la concentration de sédiments en suspension atteint 360 ppm (soit 360 mg/l) alors qu'il y aura ponte si elle est de l'ordre de 190 ppm.	Chutter 1968
Insectes <i>Simulium</i> sp.(larve) <i>Pseudocloeon vinosum</i> (nymph)	Quittent tout simplement les régions où la végétation est recouverte de sédiments parce qu'ils sont incapables de s'y accrocher et ce, même si d'autres facteurs comme la vitesse du courant sont favorables.	Chutter 1968
Moules d'eau douce sp.	Nuit à l'alimentation puisqu'elles restent fermées 75 à 90 % du temps si la quantité de sédiments en suspension est trop élevée. Habituellement, en eau claire, elles demeurent fermées moins de 50 % du temps.  Sécrétion accrue de mucus en vue d'éliminer le limon qui s'accumule dans la cavité du manteau.  Dépôts de limon dans la cavité du manteau et dans la chambre branchiale (léta).  Incapables de se maintenir en position lorsque le substrat (composé normalement de sable et de cailloux) est recouvert par une couche variant de 0,5 à 2,5 cm de sédiments fins (limon).	Ellis 1936
Zooplancton	Réduction de la capacité d'assimiler la nourriture Exposition à 24 mg/L pendant 3,6 heures	Newcombe et MacDonald 1991
Cladocères	Effets létaux : affecte la survie et la reproduction Exposition à 82 à 392 mg/L pendant 72 heures	Newcombe et MacDonald 1991
Cladocères et Copépodes	Effets létaux : obstruction des voies respiratoire et digestive Exposition à 300 à 500 mg/L pendant 72 heures	Newcombe et MacDonald 1991
Trichoptères Éphéméroptères Crustacés et mollusques	Effets létaux Exposition à 29 mg/L pendant 30 jours	Newcombe et MacDonald 1991
Invertébrés benthiques	Augmentation de la dévalaison Exposition à 8 mg/L pendant 2 heures Exposition à 1700 mg/L pendant 2 heures	Newcombe et MacDonald 1991 Fairchild <i>et al.</i> 1987

Tableau 21 : Exemples d'effets observés chez certains invertébrés aquatiques par l'augmentation de l'envasement et de la turbidité des cours d'eau



## VII°/ 2. 1 SUR LES POISSONS

### 1 ) Introduction

Comme chez les invertébrés aquatiques, les poissons sont affectés de façon directe (désordres physiologiques, modifications du comportement et dommages mécaniques) et indirecte (altération de l'habitat et des ressources alimentaires). Les mécanismes sont similaires à ceux qui sont décrits chez les invertébrés aquatiques mais plus complexes.

Le niveau de sensibilité des poissons à la turbidité varie beaucoup entre les espèces et est tributaire de leurs exigences sur le plan biologique. Synthétiser les informations sous forme de tableau risquerait d'omettre certains détails permettant la compréhension des différences de vulnérabilité entre les espèces.

La destruction de leurs ressources alimentaires et la perturbation des processus de reproduction due à la perte d'habitats sont les effets plus connus et ont fait l'objet de plusieurs études notamment chez les Salmonidés puisqu'ils présentent un grand intérêt pour la pêche sportive

L'altération des ressources alimentaires et de l'habitat des poissons entraîne indirectement la plupart des autres effets observés tel : des retards de croissance, le déclin de populations et des problèmes liés à la reproduction.

La sensibilité de la faune ichtyenne à l'envasement et à la turbidité diffère selon les étapes du cycle vital. Plus particulièrement en ce qui concerne les effets sur la reproduction et la survie des plus jeunes stades, Muncy et al. (1979), mentionnent que cinq étapes doivent être considérées pour évaluer adéquatement l'impact de l'envasement et de la turbidité ainsi que toute autre variable environnementale sur leur succès de reproduction : soit la maturation des gonades et la fécondation, le comportement au cours de la reproduction, le développement embryonnaire et larvaire et enfin la période juvénile. À tout moment, des effets directs et indirects se font sentir, ils sont décrits au travers des points suivants.

### 2 ) Stade embryonnaire

Lorsque les œufs sont recouverts de sédiments, des dommages physiologiques irréversibles peuvent être causés à l'embryon et ce, suite à la création de conditions anoxiques et à l'accumulation de déchets métaboliques au cours de l'incubation. En fait, comme la diminution des concentrations en oxygène constitue le principal impact du recouvrement des œufs par les sédiments, l'examen d'études concernant les effets des faibles concentrations en oxygène durant la période d'incubation peut fournir de précieux renseignements au sujet des espèces moins connues. Des conditions anoxiques affectent plusieurs processus physiologiques, biochimiques et comportementaux chez les poissons.

En période de reproduction, des pourcentages de saturation en oxygène de 50 % et moins, modifient le temps d'incubation (accélèrent ou retardent), affectent à la baisse la taille des larves à l'éclosion, ralentissent leur croissance et causent des déformations au cours du développement embryonnaire.

L'effet abrasif des sédiments peut également entraîner des lésions au chorion. Une conséquence plus subtile de l'exposition des œufs aux sédiments est la propagation rapide de maladies comme les infections fongiques.

Le Tableau 22 présente quelques exemples d'effets observés chez des œufs de poissons.

<b>Oeufs</b>	Perchaude ( <i>Perca flavescens</i> ) de la rivière Severn au Maryland (Muncy <i>et al.</i> 1979) Succès d'éclosion de 65 % où le taux de sédimentation est de 7 mm/jour alors qu'il est inférieur à 1 % dans un autre secteur où le taux de sédimentation est de 30 mm/jour (mortalité par l'effet abrasif). Retard d'éclosion si la concentration de sédiments en suspension varie de 100 à 500 mg/l
	Doré jaune ( <i>Stizostedion vitreum</i> ) en pisciculture (Muncy <i>et al.</i> 1979) Mortalité presque complète puis épisode d'infection fongique après une remise en suspension, par de grands vents, des sédiments du lac qui l'alimentait.
	Grand brochet ( <i>Esox lucius</i> ) (Hassler 1970, Muncy <i>et al.</i> 1979) Plus de 97 % de mortalité si le dépôt de sédiments excède 1mm/jour. Par contre, le taux de mortalité est moins élevé si les œufs sont recouverts après le sixième jour d'incubation.
	Baret ( <i>Morone americana</i> ), bar rayé ( <i>Morone saxatilis</i> ) et alose savoureuse ( <i>Alosa sapidissima</i> ) (Muncy <i>et al.</i> 1979). Retard d'éclosion si la concentration de sédiments en suspension varie de 100 à 500 mg/l.
	Oncorhynchus masou (Kondou <i>et al.</i> 2001) Diminution du taux de survie des œufs dans les nids où la perméabilité du substrat est faible due à l'accumulation de sédiments fins.

*Tableau 22 : Exemples d'effets observés chez des œufs de poissons suite à l'augmentation de l'envasement et de la turbidité des cours d'eau*

### 3 ) Stade larvaire

Chez les poissons, la phase larvaire est marquée par de nombreuses modifications anatomiques, physiologiques et comportementales. En milieu naturel, la quantité d'oxygène disponible, la prédation dont elles font l'objet et la disponibilité des ressources alimentaires sont les principaux facteurs influençant la survie des larves (Balon 1975, Muncy *et al.* 1979).

Durant la phase larvaire, la période de transition vers l'alimentation exogène est considérée par plusieurs comme étant critique (Balon 1975, Muncy *et al.* 1979, Rosenthal et Alderdice 1976). Durant cette période de l'ontogénie, la survie des larves est considérablement affectée par la qualité et la quantité des ressources alimentaires. Au début de l'alimentation exogène, plusieurs espèces détectent visuellement les organismes planctoniques dont elles se nourrissent. L'intensité lumineuse plus faible en eau turbide entraîne une diminution de la biomasse des organismes planctoniques et leur permet également d'être moins visibles. La survie de certaines larves planctonophages peut ainsi en être affectée. Les larves et les juvéniles utilisant les sensations tactiles pour repérer leurs proies seraient donc avantagés par rapport aux autres (Cordone et Kelley 1961, Muncy *et al.* 1979).

Des chercheurs ont également montré que si des larves n'étaient pas nourries, recevaient de la nourriture trop tardivement ou n'en disposaient pas en quantité suffisante au début de l'alimentation exogène, il existe généralement un point critique de non-retour et elles meurent (Laurence 1974, Muncy et al. 1979, Papoulias et Minckley 1990).

D'autres études suggèrent que la réduction de la pénétration de la lumière causée par l'augmentation de la turbidité avantage les larves de certaines espèces car elles subiraient moins de prédation et pourraient s'alimenter plus efficacement étant donné que les organismes planctoniques se concentrent à la surface dans de telles conditions.

La compilation d'études par Muncy et al. (1979) met en évidence des différences interspécifiques en ce qui concerne la tolérance des larves à la turbidité. Leur vulnérabilité est étroitement liée à leurs exigences en termes d'habitat, à leur capacité à se déplacer et à leur comportement, des variables qui peuvent changer considérablement au cours de leur développement.

Le développement et le début du fonctionnement des structures associées à la respiration durant la phase larvaire les rendent particulièrement vulnérables à l'asphyxie. Certaines larves présentent en contrepartie des adaptations qui les avantagent si les niveaux de turbidité s'élèvent. Par exemple, chez les phytophiles, la présence d'organes adhésifs sur la tête des embryons leur permet de s'accrocher à la végétation jusqu'à ce qu'ils soient capables de nager librement et d'éviter ainsi les fonds peu oxygénés.

Le Tableau 23 présente quelques exemples d'effets observés chez des larves de poissons.

<b>Larves</b>	<p>Baret, bar rayé, alose savoureuse et perchaude (Muncy <i>et al.</i> 1979) Les larves peuvent tolérer 50 mg / l de sédiments en suspension. Le taux de mortalité augmente avec les niveaux de turbidité et la durée de l'exposition. Chez ces espèces, les larves sont moins tolérantes à la turbidité que les œufs.</p> <p>Aiglefin (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>), meunier du Colorado (<i>Xyrauchen texanus</i>) (Laurence 1974, Muncy <i>et al.</i> 1979, Papoulias et Minckley 1990) Mortalité associée à un déficit en ressources alimentaires durant la période de transition vers l'alimentation exogène.</p> <p>Achigan à petite bouche, meunier noir, meunier rouge (<i>Catostomus catostomus</i>), chevalier rouge (<i>Moxostoma macrolepidotum</i>) et couette (<i>Carpoides cyprinus</i>) (Gale et Mohr 1978, Geen <i>et al.</i> 1966, Muncy <i>et al.</i> 1979). Changements de l'ampleur et la périodicité de la dérive larvaire reliés à un accroissement de la turbidité (attribuable à des problèmes d'orientation associés à un dérèglement des sens visuel et tactile).</p>
---------------	--

Tableau 23 : Exemples d'effets observés chez des œufs de poissons suite à l'augmentation de l'envasement et de la turbidité des cours d'eau

#### 4 ) Stade juvénile

Les effets de la turbidité chez les juvéniles sont relativement similaires à ceux qui sont observés chez les larves. Des réactions de stress (flotter à la surface, avaler de l'air, ralentir les mouvements operculaires et

des nageoires) ont été observées chez des juvéniles. Comme le développement des écailles est complété à la phase juvénile, le corps est moins sensible à l'effet abrasif des sédiments mais les branchies demeurent vulnérables. L'obstruction des branchies et du tractus digestif pouvant entraîner des déformations et même la mort a été observée par plusieurs chez des poissons juvéniles.

Certaines anomalies, une réduction des activités, des difficultés d'orientation, des réactions d'évitement, un ralentissement de la croissance, une diminution du facteur de condition, des perturbations des relations prédateurs-proies sont connus pour être des effets d'une turbidité excessive chez des poissons à ce stade de développement.

Les espèces les moins affectées présentent des structures et organes sensoriels mieux développés (Lloyd et al. 1987, Muncy et al. 1979). La sensibilité est extrêmement variable entre les espèces et même certains congénères. Par exemple, au cours de travaux de laboratoire, des réactions d'évitement ont été observées chez 50 % des juvéniles de *galaxias fasciatus* (originaire de Nouvelle-Zélande) à 25 NTU. Deux congénères (*G. brevipinnis* et *maculatus*) présentaient la même réaction à des concentrations nettement plus élevées du même type de sédiment soit respectivement de 70 et de 420 NTU. (Boubée et al. 1997). Chez des juvéniles d'achigan à grande bouche, le taux de capture des proies est réduit en eau turbide. La différence n'est cependant pas significative avant que le niveau atteigne 70 NTU. (Reid et al. 1999).

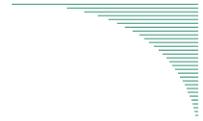
### 5 ) Adultes

Les adultes peuvent également être directement affectés par les sédiments en suspension. **Toutefois, dans la plupart des cas, les effets indirects des sédiments par le biais de la destruction de leurs ressources alimentaires, de leurs œufs et de leurs larves et / ou de la modification de leur habitat se font sentir bien avant que les poissons adultes en soient eux-mêmes directement affectés (Vachon, 2003).**

À tout âge, une alimentation déficiente chez les poissons entrave la croissance, diminue leur résistance aux maladies et aux contaminants ce qui augmente inévitablement le taux de mortalité. Chez les adultes, l'alimentation déficiente entraîne des désordres physiologiques qui perturbent, entre autres, les processus de reproduction.

Dans les cours d'eau fortement affectés par les processus de sédimentation, la productivité, la croissance de même que la condition des populations de Salmonidés sont faibles et ces observations sont reliées directement à la diminution des invertébrés aquatiques particulièrement des insectes dont ils se nourrissent abondamment (Cordone et Kelley 1961).

Certaines espèces sont plus à risques que d'autres. Par exemple, même si les ressources alimentaires sont présentes en quantité suffisante, plusieurs études rapportent que des espèces, notamment les prédateurs localisant visuellement leurs proies, éprouvent plus de difficultés dans leur quête de nourriture lorsque l'eau est turbide et l'intensité lumineuse est faible (Muncy *et al.* 1979, Sweka et Hartman 2001, Tátrai et Herzig 1995, Vinyard et O'Brien 1976).



Déjà, depuis nombres d'années, Starrett (1950) avait identifié la turbidité comme étant un facteur limitant la disponibilité des ressources alimentaires de certaines espèces de poissons notamment ceux dont le régime est plus spécialisé tels les insectivores benthiques. Selon lui, les espèces démontrant une plus grande plasticité au niveau de leur comportement alimentaire c'est-à-dire les plus opportunistes (insectivores généralistes et omnivores) sont moins affectées par une augmentation de la turbidité car elles sont en mesure de modifier leurs habitudes en vue de tirer meilleur profit des ressources alimentaires disponibles dans le milieu.

Les poissons décédés des suites d'une turbidité excessive ont les cavités operculaires ainsi que les filaments branchiaux obstrués par les sédiments ce qui nuit aux fonctions circulatoire, respiratoire, excrétoire et potentiellement aux mécanismes liés à l'osmorégulation. Par leur effet abrasif, les sédiments peuvent également endommager les branchies ce qui augmente les risques de maladies causées par différents microorganismes comme les bactéries, champignons et protozoaires.

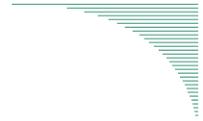
Même si la question n'a pas encore fait l'objet de recherches intensives, il est estimé qu'un excès de sédiments en suspension tend à réduire la tolérance des poissons à certains facteurs environnementaux ainsi qu'aux contaminants et aux maladies. Enfin, lorsque la turbidité est excessive, les poissons présentent souvent des comportements anormaux. Ils peuvent, par exemple, nager à la surface en avalant de l'air et de l'eau, flotter sur le côté ou augmenter la fréquence de leurs mouvements operculaires.

Même si la fraye se déroule lorsque les niveaux de turbidité sont élevés, le succès de reproduction peut être considérablement réduit, voire annihilé, chez plusieurs espèces. L'altération et la perte d'habitats dues à l'envasement et à la turbidité modulent principalement le succès de reproduction en affectant la qualité des sites de reproduction, la survie du fraie ainsi qu'en perturbant certains comportements et processus physiologiques liés à la reproduction.

Chez les Salmonidés, l'effet des sédiments en suspension et de l'envasement des cours d'eau a été très étudié. Ils constituent un facteur limitant extrêmement important pour la reproduction en milieu naturel (Cordone et Kelley 1961, Newcombe et MacDonald 1991, Waters 1995).

Il existe beaucoup moins d'information concernant les effets de la turbidité et de l'envasement sur la reproduction des autres espèces d'eau douce en zone tempérée. La saison de reproduction, le type de substrat utilisé ainsi que la nature des comportements en période de fraye sont autant de facteurs qui modulent la sensibilité des diverses espèces.

Bien qu'à l'heure actuelle, il ne soit pas encore démontré expérimentalement que la turbidité affecte la maturation des gonades et la fécondité des poissons, des études suggèrent certains effets indirects potentiels : un arrêt ou un retard de la maturation des gonades et, chez les individus matures, une réduction de la fécondité en termes de quantité et qualité des œufs. Ces effets seraient attribuables à la diminution des ressources alimentaires et de la croissance ainsi qu'à la moins grande pénétration de la lumière en eau turbide. Un apport alimentaire insuffisant de même qu'un retard de croissance peuvent inhiber la fraye ou



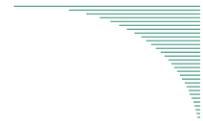
affecter divers aspects du cycle de reproduction des poissons : l'âge de la maturité sexuelle, la synchronisation de la maturation des gonades, la fécondité et la durée de l'intervalle de temps entre les périodes de reproduction.

Chez plusieurs espèces, les activités et certains processus physiologiques associés à la reproduction sont intimement liés à des facteurs énergétiques. C'est le cas pour l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*), la perche d'Eurasie (*Perca fluviatilis*), le hareng Atlantique (*Clupea harengus*), le carassin (*Carassius auratus*), l'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) et le meunier noir (*Catostomus commersoni*) (Muncy et al. 1979, Wootton 1973, Trippel et Harvey 1989).

Un accroissement de la turbidité modifie certains comportements liés à la reproduction. Par exemple, chez les Salmonidés, elle perturbe les migrations en période de fraye (Cordone et Kelley 1961, Newcombe et MacDonald 1991, Waters 1995). Muncy et al. (1979) ont observé des retards des regroupements pré-fraye ainsi que des modifications du comportement durant la fraye proprement dite. Une turbidité excessive et l'accumulation de sédiments au niveau du substrat nuisent également au comportement territorial ainsi qu'à tout ce qui concerne la fabrication du nid et les soins parentaux. En période de fraye, les espèces utilisant la vision pour se reconnaître seraient les plus affectées. La diminution de leur acuité visuelle nuisant aux communications serait vraisemblablement une explication plausible (Burkhead et Jelks 2001, Muncy et al. 1979).

Même si tous les mécanismes sous-jacents n'ont pas été identifiés, Burkhead et Jelks (2001) ont démontré expérimentalement que le succès de reproduction chez *Cyprinella trichroistia* (famille des Cyprinidés) diminue avec l'augmentation de la turbidité et ce, à partir de concentrations de sédiments en suspension assez faibles soit, 100 mg/l. La diminution du succès de reproduction est attribuable à la plus faible fréquence des actes de reproduction et, s'ils se produisent, ils sont retardés et moins d'œufs sont libérés.

Les espèces dont les activités de reproduction surviennent en dehors des périodes de grande turbidité de même que celles qui prodiguent des soins parentaux sont avantagées par rapport aux autres. Enfin, les migrations au cours de la reproduction de la plupart des espèces d'eau douce des zones tempérées seraient moins gênées par de courts épisodes de turbidité élevée alors que l'exposition chronique perturbe beaucoup plus sérieusement leur comportement de reproduction car elle entraîne des désordres physiologiques (Muncy et al. 1979).



## VII°/ 3 CALCULS D'ÉROSION EN CAS DE CRUE EN PHASE DE VIDANGE OU APRÈS ASSEC

Ces calculs sont basés sur les observations de la vidange de 1993. Au cours de cette opération, des débits équivalents à la crue décennale ont été observés au niveau des 2 barrages. Ils permettent donc d'évaluer les risques associés à l'apparition d'une crue décennale au cours de la phase de vidange. Lors de la vidange de 1993 la topographie réalisée avant remise en eau du barrage de Vezins a mis en évidence le recreusement du lit selon le profil suivant :

- 25 mètres de large au plafond et 10 mètres au plancher ;
- Pour 2 à 4 mètres de profondeur.

Les caractéristiques d'origine du lit de la Sélune sont les suivantes :

- 20 à 25 mètres de large ;
- 1,5 à 2 mètres de haut.

Ce profil est corroboré par les observations réalisables en amont des retenues à Saint-Hilaire-du-Harcouët, mais également sur la portion de cours d'eau restante entre les deux retenues. La bathymétrie du plan d'eau de Vezins montre par ailleurs que l'essentiel de l'envasement est localisé dans la partie amont du plan d'eau. Dans le détail, de l'aval vers l'amont la situation suivante est observée :

- Les hauteurs de sédiments les plus importantes sont localisées en amont du pont de la République ;
- Du pont de la République jusque la base nautique de la Mazure, on observe un gradient de sédimentation, avec une hauteur résiduelle de 30 cm au-dessus du lit historique au niveau de la base de loisir ;
- Pour le secteur le plus aval, l'envasement s'est traduit par le recouvrement du lit historique de la Sélune (hauteur de 1,5 à 2 mètres recouvrant le lit historique du cours d'eau).

À partir de ces données, les sections érodables par secteur en cas de crue décennale ont été définies de la manière suivante :

- En amont du pont de la République :
  - Largeur de la section érodée : 17,5 mètres (moyenne des observations de la crue de 1993) ;
  - Hauteur de la section érodée : 3 mètres (moyenne des observations de la crue de 1993) ;
- Du pont de la République à la base nautique :
  - Largeur de la section érodée : 17,5 mètres ;
  - Hauteur de la section érodée : de 3 à 1,30 mètres vers l'aval ;
- De la base nautique au barrage :
  - Largeur de la section érodée : 17,5 mètres ;
  - Hauteur de la section érodée : de 1 mètre.

Le calcul d'érosion prend pour hypothèse que seuls les sédiments exondés au cours de l'abaissement sont remobilisables par la Sélune. Le plan d'eau agissant comme un frein courantologique, les sédiments qui y sont accumulés ne peuvent pas être remis en suspension par les apports entrants. La Figure 24 schématise la situation actuelle du plan d'eau.

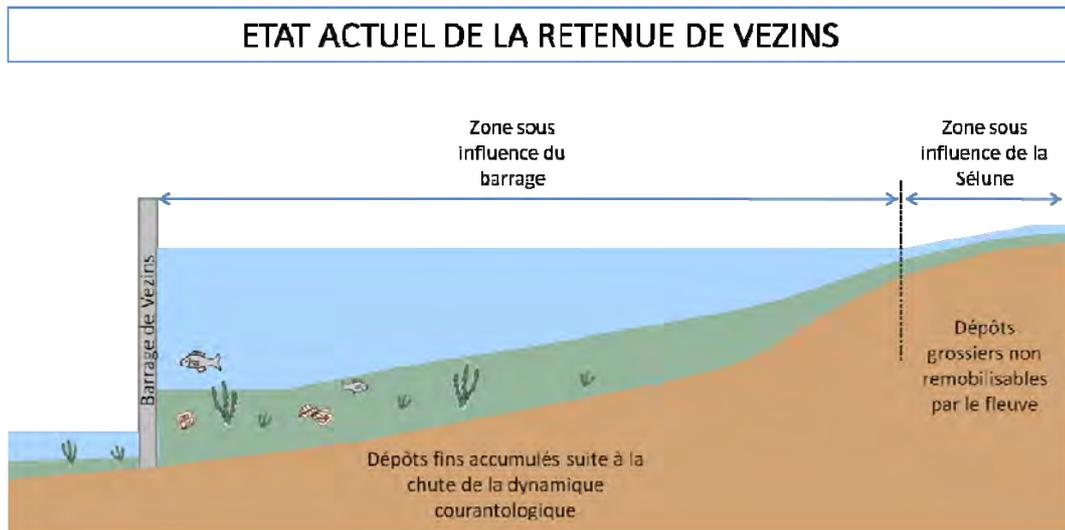


Figure 24 : Équilibre hydrosédimentaire actuel existant au sein du plan d'eau de Vezins

Lorsque le niveau du plan d'eau est abaissé, la zone sous influence hydraulique du barrage se restreint et le profil d'équilibre hydrosédimentaire se déplace vers l'aval de la retenue. Les sédiments fins accumulés dans le plan d'eau ne sont plus protégés par la zone d'influence hydraulique du barrage et sont donc exposés à des débits plus conséquents qui peuvent les remettre en suspension. Ces modifications sont retranscrites au sein de la Figure 25.

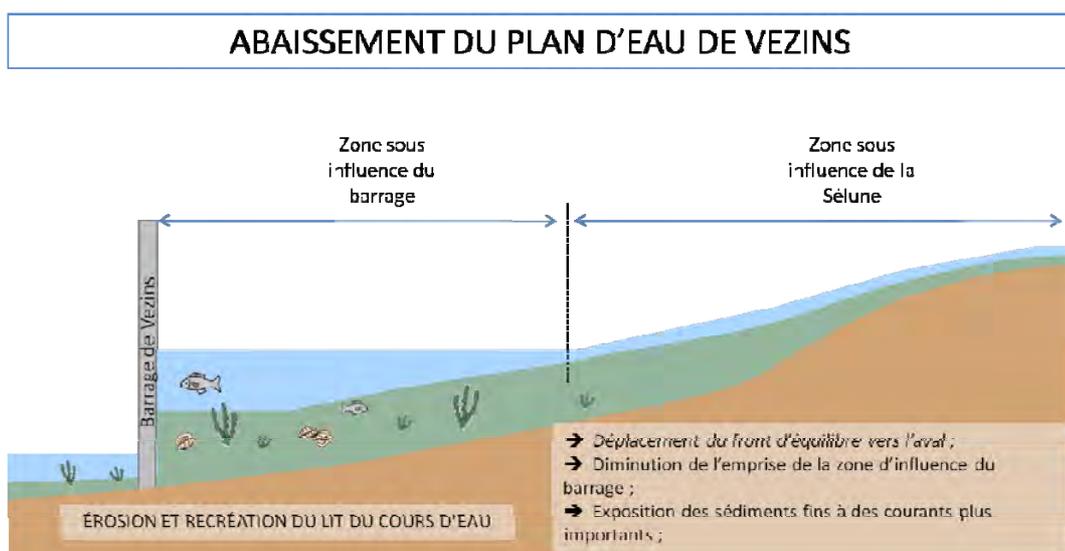


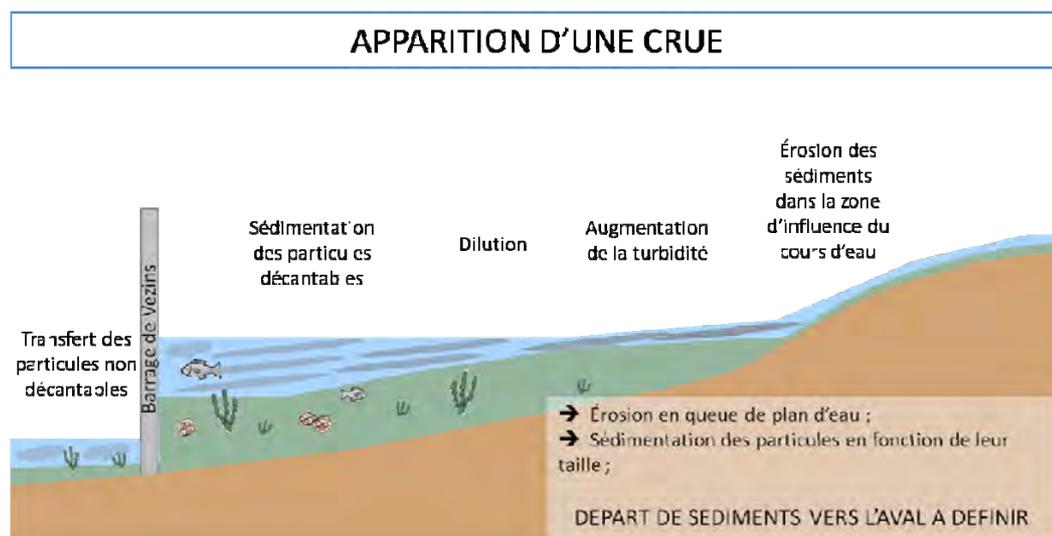
Figure 25 : Rupture de l'équilibre hydrosédimentaire existant suite à l'abaissement du plan d'eau

Le calcul tel qu'il est proposé vise à évaluer l'incidence de la survenue d'une crue sur les concentrations en MES dans la retenue et en aval de cette dernière. Le calcul doit donc tenir compte de :

- La quantité de sédiments remobilisée ;
- La dilution de ces produits dans le volume d'eau disponible dans le plan d'eau en fonction de la cote étudiée ;
- La sédimentation des particules décantables dans le volume d'eau restant (dépendant de la cote) ;

Ceci permettant d'établir la quantité de matière ne pouvant pas être captée par le plan d'eau. Ces sédiments vont donc diffuser vers l'aval où, en fonction des concentrations en jeu, ils sont susceptibles de provoquer des incidences sur le milieu physique et biologique.

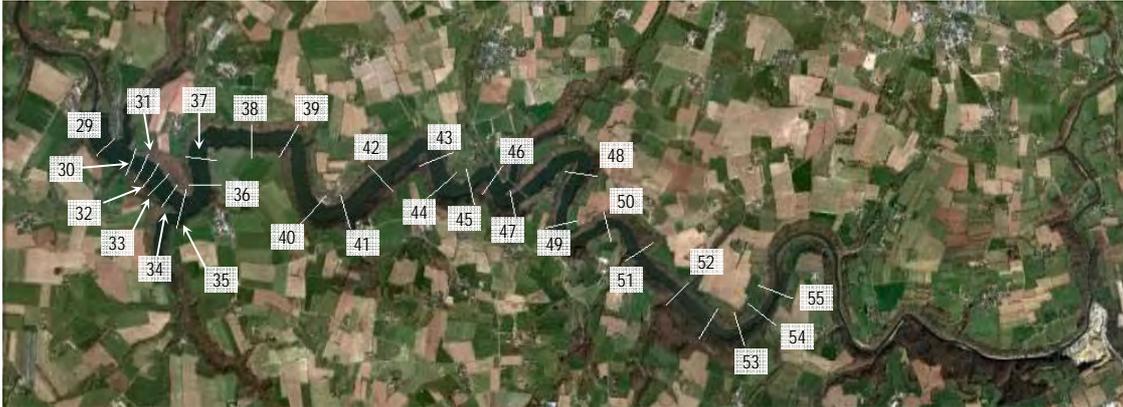
Le schéma conceptuel du calcul est retranscrit au travers de la Figure 26.



*Figure 26 : Synthèse de la méthode de calcul retenue pour l'évaluation de l'apparition d'une crue décennale au cours de la vidange*

Ce calcul ne prend en compte que le plan d'eau de Vezins. Il n'existe en effet aucune donnée bathymétrique sur le plan d'eau de La Roche-qui-Boit. La méthodologie employée nécessitant de pouvoir calculer les volumes d'eau restant dans le barrage en fonction de l'abaissement, il n'est pas possible de l'appliquer pour le barrage de la Roche-qui-Boit.

La bathymétrie a été reprise de manière à déterminer pour différentes côtes de plan d'eau (de 29 m NGF à 55 m NGF) quel linéaire est concerné l'abaissement. Ce découpage est visualisable au travers de la Figure 27.



*Figure 27 : Remplissage du lac de Vezins en fonction de la cote du plan d'eau*

La bathymétrie ne remontant pas suffisamment en amont, il n'a pas été possible de remonter au-dessus de la cote 55 m NGF. Pour chacun des secteurs, un calcul de cubature basé sur la section érodable a permis de déterminer la quantité de matériaux remobilisable en cas de crue. En cumulant ces volumes, il est possible d'estimer la quantité de matériaux qui peut être érodées entre 2 cotes de plans d'eau différentes. Le Tableau 24 synthétise l'ensemble des résultats pour les cotes de plan d'eau allant de 29 m NGF à 55 m NGF.

Ainsi en partant de l'hypothèse d'un abaissement très rapide de la retenue et de la survenue d'une crue décennale une fois le plan d'eau asséché, pas moins de 450 000 m<sup>3</sup> de sédiments sont susceptibles d'être emportés vers l'aval. Ces calculs ont tendance à maximiser les volumes emportés puisque l'érosion sera progressive et liée à l'hydrodynamisme de la Sélune. Les observations réalisées en 1993, font état du départ de 120 000 tonnes de sédiments, du début de l'abaissement jusqu'à la remise en eau (période comprenant la crue décennale). Compte tenu des densités et siccité moyennes observées sur les sédiments du plan d'eau de Vezins, selon le calcul réalisé, la quantité de sédiments érodable en cas de crue après vidange complète s'établit à 215 000 tonnes. Les calculs auraient donc tendance à surestimer la quantité de sédiments emportés, ceci s'explique probablement par les capacités de charriement limité de la Sélune notamment en phase finale d'abaissement. Il apparaît en effet difficilement concevable qu'1 litre d'eau soit en mesure de transporter plus de 1 kg de sédiments.

Même si ces calculs montrent leurs limites, de manière à conserver la démarche classique de l'évaluation des risques, et notamment du principe de précaution en utilisant des données ou hypothèses maximisantes, il est convenu de tabler la suite de l'analyse sur ces résultats.

	Distance (m)	Fond initial (m NGF)	Côte toit (m NGF)	Différence toit fond (m)	Largeur du lit (m)	Section érodable (m <sup>2</sup> )	Volume par section (m <sup>3</sup> )	Cumul vers l'aval (m <sup>3</sup> )
P barrage	0	25,56	26,56	1	17,5	17,5	5 000	445 000
P29	290	27	28	1	17,5	17,5	4 500	440 000
P30	550	28	29	1	17,5	17,5	2 000	435 500
P31	650	29	30	1	17,5	17,5	2 000	433 500
P32	765	30	31	1	17,5	17,5	1 500	431 500
P33	860	31	32	1	17,5	17,5	2 500	430 000
P34	1000	32	33	1	17,5	17,5	2 500	427 500
P35	1150	33	34	1	17,5	17,5	6 000	425 000
P36	1490	34	35	1	17,5	17,5	4 000	419 000
P37	1730	35	36	1	17,5	17,5	10 500	415 000
P38	2340	36	37	1	17,5	17,5	6 000	404 500
P39	2680	37	38	1	17,5	17,5	14 000	398 500
P40	3380	37,7	39	1,3	17,5	22,75	7 500	384 500
P41	3680	38,6	40,2	1,6	17,5	28	12 500	377 000
P42	4090	39,5	41,4	1,9	17,5	33,25	24 500	364 500
P43	4790	40,4	42,5	2,1	17,5	36,75	9 000	340 000
P44	5025	41,3	43,7	2,4	17,5	42	14 000	331 000
P45	5340	42,2	44,9	2,7	17,5	47,25	14 000	317 000
P46	5630	43,1	46	2,9	17,5	50,75	18 000	302 500
P47	5980	44	47	3	17,5	52,5	50 500	284 500
P48	6940	45	48	3	17,5	52,5	25 500	234 000
P49	7430	46	49	3	17,5	52,5	31 500	208 500
P50	8030	47	50	3	17,5	52,5	22 500	177 000
P51	8455	48	51	3	17,5	52,5	45 500	154 500
P52	9320	49	52	3	17,5	52,5	15 500	109 000
P53	9620	50	53	3	17,5	52,5	2 500	93 500
P54	9860	51	54	3	17,5	52,5	12 500	81 000
P55	10100	52	55	3	17,5	52,5	68 000	68 000

*Tableau 24 : synthèse des volumes de sédiments érodables en cas de crue décennale pour les cotes de plan d'eau allant de 29 m NGF à 55 m NGF*

Pour tenir compte des phénomènes de sédimentation dans le plan d'eau, pour chacune des côtes, un calcul bathymétrique a permis de définir la quantité d'eau encore présente dans le plan d'eau. À titre d'exemple à la cote 55 m NGF la bathymétrie indique une capacité de 10 millions de m<sup>3</sup> d'eau, pour une côte de 35 m NGF la capacité du plan d'eau chute à 180 000 m<sup>3</sup> d'eau. Le graphique disponible en Figure 28 indique la capacité du plan d'eau de Vezins en fonction de la hauteur résiduelle en eau.

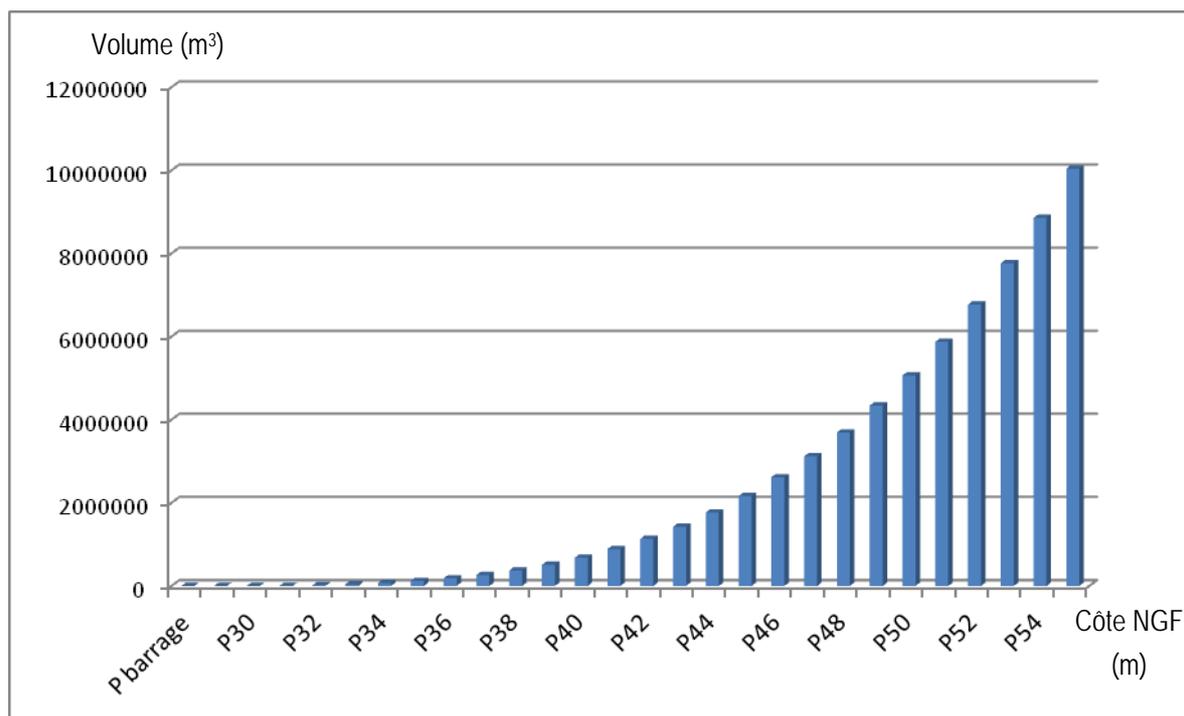


Figure 28 : Evolution de la capacité du plan d'eau de Vezins en fonction de la côte du plan d'eau

À partir de ces volumes d'eau, connaissant le débit moyen annuel de la Sélune ( $8,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) il est possible de définir le temps de séjour des eaux dans la retenue. La taille maximale des particules décantables peut à ce moment-là être définie en s'appuyant sur la Loi de Stokes.

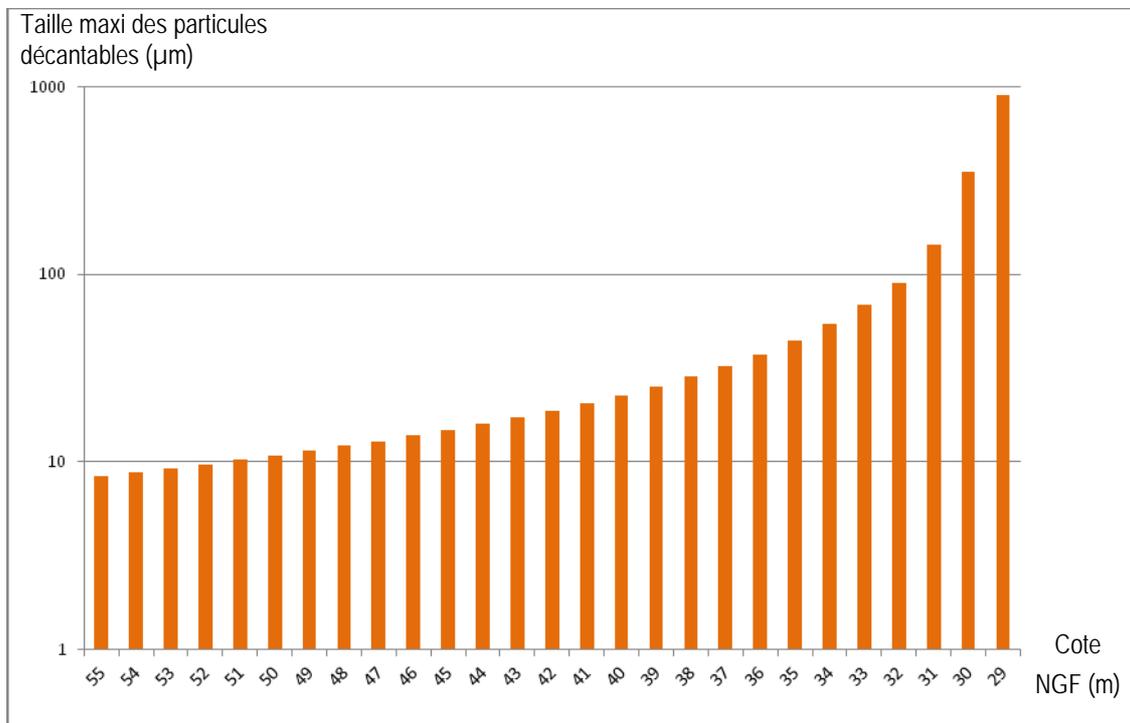
Cette dernière indique que la vitesse de décantation des particules dépend de leur granulométrie et de leur densité. Le Tableau 25 présente une synthèse des vitesses de chutes en fonction des diamètres particuliers et de la densité des particules.

Type de particule	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Temps de chute		
		Densité 1,80	Densité 1,50	Densité 1,20
Sables fins	100	1 min	2 min	4,3 min
	70	2 min	3 min	9 min
Limons	50	4 min	7 min	17 min
	30	12 min	19 min	48 min
	10	1,9 h	2,9 h	7,2 h
Argiles	1	7,5 jours	12 jours	30 jours
Colloïdes	0,1	2 ans	3,2 ans	8 ans

Tableau 25 : Application de la loi de Stokes - Temps requis pour que des particules de différentes densités (1,80 ; 1,50 ; 1,20) chutent de 1 m dans une eau à  $10^\circ\text{C}$

En appliquant cette formule aux caractéristiques du plan d'eau de Vezins, il est possible de déterminer la taille minimale des particules qui peuvent sédimenter au sein du volume d'eau restant au cours de la phase d'abaissement (volumes dépendant de la côte pour rappel). Ces données sont retranscrites au travers de la

Figure 29. Pour information, une échelle logarithmique de base 10 est appliquée sur l'axe des ordonnées (taille maximale des particules décantables).



*Figure 29 : Taille maximale des particules décantables en fonction du volume d'eau restant dans le lac de Vezins à la côte NGF indiquée*

Ainsi à la côte de 55 m NGF, le temps de séjour des eaux dans le plan d'eau permet de capter l'ensemble des particules dont la taille est inférieure à 8,4 µm. A contrario, en fin de vidange, pour la côte 29 m NGF, seules les particules d'une taille inférieure à 900 µm peuvent être piégées dans le faible volume d'eau restant. Au-delà de cette côte le plan d'eau est totalement asséché et le transport sédimentaire est directement lié à la capacité de charriement de la Sélune.

En moyennant la distribution granulométrique des sédiments de la retenue de Vezins, il est alors possible de déterminer la fraction de sédiments ne pouvant pas décanter dans le volume d'eau encore présent dans le plan d'eau. Le graphique représenté en Figure 30 schématise cette distribution granulométrique.

La distribution granulométrique des sédiments de la retenue de Vezins montre une part importante de matières fines potentiellement plus difficiles à décanter. Pour reprendre les données énoncées précédemment 30,7 % des sédiments montrent une taille inférieure à 8,4 µm. Autrement dit, pour une côte de plan d'eau fixée à 55 m NGF, en cas d'érosion subite des sédiments exondés au-dessus de cette côte, la capacité du plan d'eau disponible ne permettra pas de décanter les 2/3 des matériaux remis en suspension. Le temps de séjour disponible ne permet donc pas de capter environ 1/3 des particules remises en suspension.

Ces calculs ont été mis en œuvre pour chacune des côtes de plan d'eau précédemment déterminées, en vue de définir dans quelle mesure une crue décennale va impacter les eaux du plan d'eau de Vezins en phase de vidange.

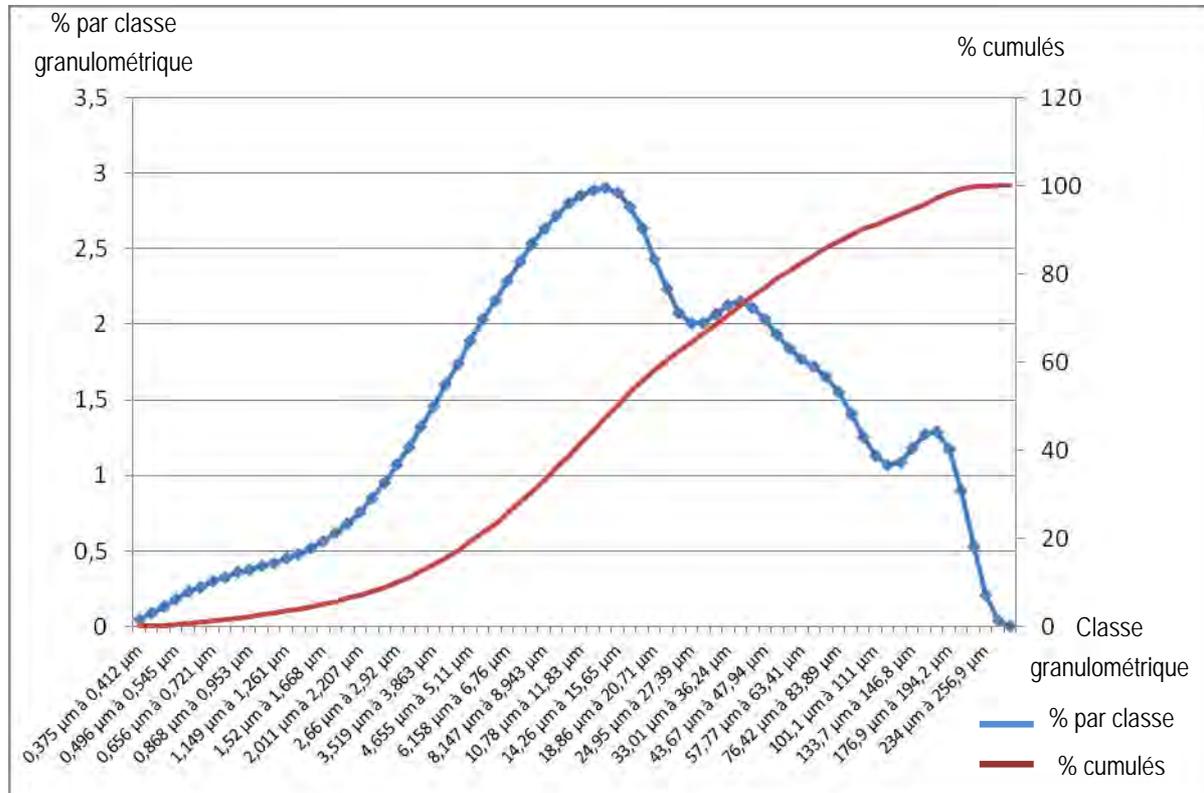


Figure 30 : Distribution granulométrique moyenne des sédiments du plan d'eau de Vezins

Les résultats montrent un impact conséquent sur les teneurs en MES dans les eaux du plan d'eau en cas de crue, les résultats s'amplifiant logiquement avec la baisse du plan d'eau et la diminution du volume de dilution qui s'ensuit.

Ainsi en cas de survenue d'une crue décennale lors de l'abaissement du plan d'eau de seulement 1,50 m sous sa cote d'exploitation actuelle (côte 55 m NGF), les phénomènes d'érosion vont se traduire par la remise en suspension d'environ 70 000 m<sup>3</sup> de sédiments. Le plan d'eau disposant d'une capacité importante pour cette cote, 50 000 m<sup>3</sup> de sédiments vont pouvoir y être piégés par décantation, ce qui se traduit par le relargage d'environ 20 000 m<sup>3</sup> de sédiments non décantables correspondant à une augmentation moyenne en MES d'1 g/l dans le plan d'eau.

Le graphique disponible en Figure 31 illustre cette augmentation de la concentration en MES dans le cas de la survenue d'une crue décennale en fonction de la cote du plan d'eau de Vezins.

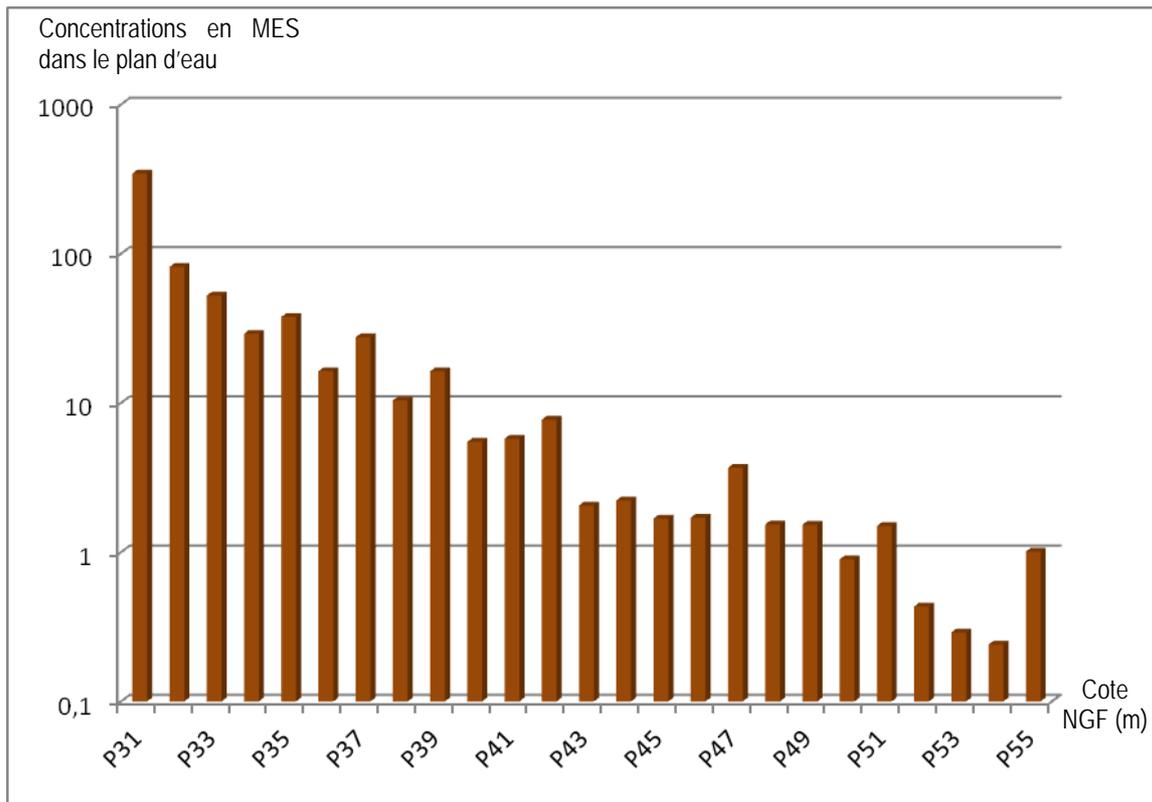


Figure 31 : Concentrations en MES en fonction de la hauteur résiduelle du plan d'eau dans le cas de la survenue d'une crue lors de la vidange

## VII°/ 4 CALCUL D'ÉROSION COMPLÈTE DU LIT APRÈS EFFACEMENT

Ces calculs tendent à maximiser les quantités de sédiments puisqu'ils partent du principe que la phase vidange s'est traduite par l'absence d'érosion. La Figure 32 rappelle la situation avant calcul.

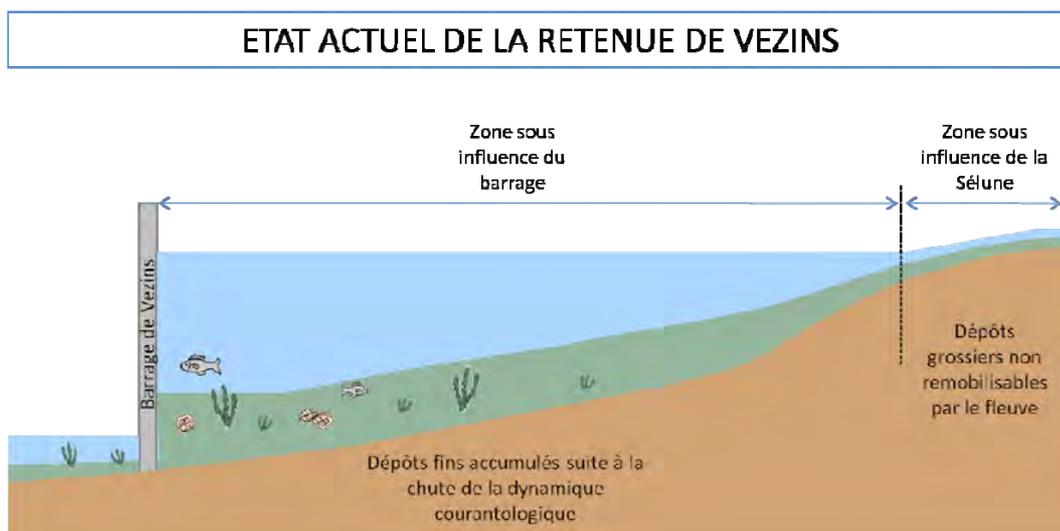
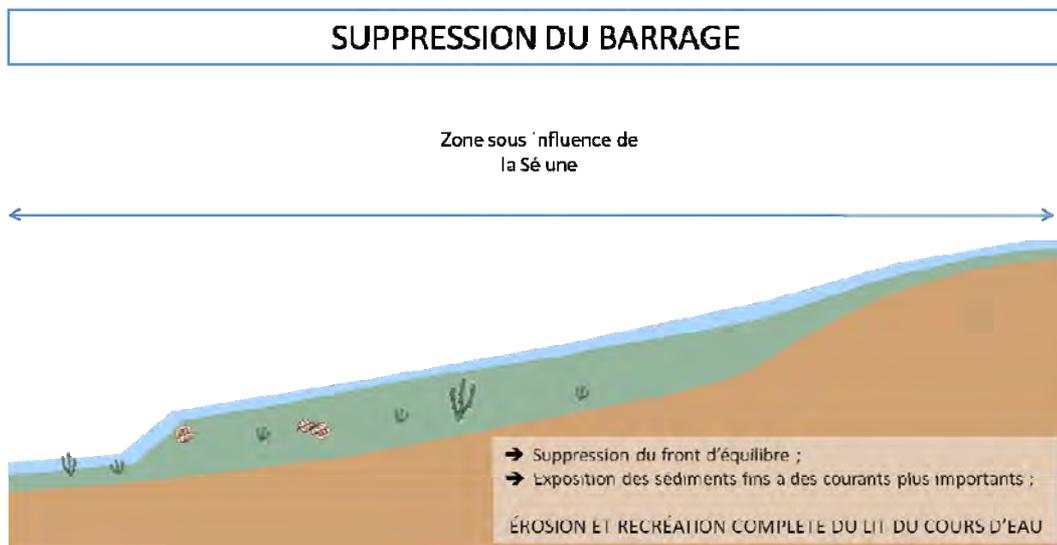


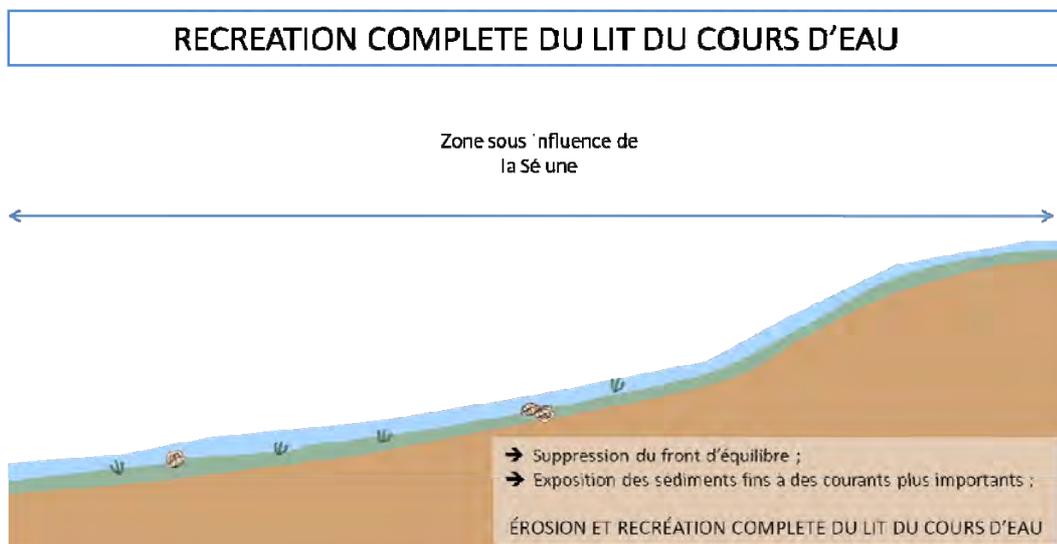
Figure 32 : Rappel de la situation actuelle du plan d'eau de Vezins

Pour le calcul, on considère que le barrage a été détruit et que l'ensemble du stock de sédiment actuellement présent se retrouve sous l'influence de la courantologie de la Sélune (Figure 33).



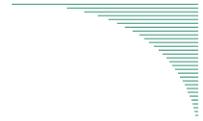
*Figure 33 : Schématisation de la situation retenue pour la mise en œuvre du calcul*

À l'issue de l'érosion complète du lit, les sédiments sont totalement emportés sur sa zone d'implantation. La situation est retranscrite au travers de la Figure 34.



*Figure 34 : Retour à la situation initiale avant création des barrages sur la Sélune*

Le calcul se base sur les observations issues de la vidange de 1993 et des données concernant le lit de la Sélune en aval et en amont des 2 barrages (cf. CHAP V /VII°/ 3).



Il n'a pas été possible de déterminer plus précisément le volume de sédiments puisque les relevés topographiques datants de 1922 ne sont pas véritablement exploitables. La réalisation d'un différentiel bathymétrie / topographie n'a pas été possible compte tenu des données d'origine disponibles.

À partir de ces données, les sections érodables par secteur en considérant l'érosion complète du lit de la Sélune selon son tracé d'origine ont été définies de la manière suivante :

- En amont du pont de la République :
  - Largeur de la section érodée : 25 mètres (largeur du lit en amont et en aval des deux barrages) ;
  - Hauteur de la section érodée : 5 mètres (déduction des observations de la crue de 1993) ;
- Du pont de la République à la base nautique :
  - Largeur de la section érodée : 25 mètres ;
  - Hauteur de la section érodée : de 3 à 1,30 mètres vers l'aval ;
- De la base nautique au barrage :
  - Largeur de la section érodée : 25 mètres ;
  - Hauteur de la section érodée : 1 mètre.

Les calculs sont récapitulés au sein du Tableau 26.

L'érosion progressive du lit de la Sélune en vue de la recréation complète du lit originel du fleuve va se traduire par le départ d'environ 850 000 m<sup>3</sup> de sédiments, soit 408 000 tonnes de produits.

Comme indiqué précédemment, il n'est pas possible en l'état actuel des connaissances de déterminer précisément le temps nécessaire pour permettre l'effacement complet du lit du cours d'eau.

Il est toutefois envisageable de comparer ce volume de sédiment à la quantité moyenne de matières en suspension charriée annuellement par la Sélune.

Côte du plan d'eau (m NGF)	Distance par rapport au barrage (mètres)	Fond initial calcul (m NGF)	Cote toit (m NGF)	Différence toit / fond (m)	Largeur du lit (m)	Section érodable (m <sup>2</sup> )	Volume par section (m <sup>3</sup> )	Cumul vers l'aval (m <sup>3</sup> )
P barrage	0	25,56	27,56	1	25	25	7 000	850 000
P29	290	27	29	1	25	25	6 500	843 000
P30	550	28	30	1	25	25	2 500	836 500
P31	650	29	31	1	25	25	3 000	834 000
P32	765	30	32	1	25	25	2 500	831 000
P33	860	31	33	1	25	25	3 500	828 500
P34	1000	32	34	1	25	25	3 500	825 000
P35	1150	33	35	1	25	25	8 500	821 500
P36	1490	34	36	1	25	25	6 000	813 000
P37	1730	35	37	1	25	25	15 500	807 000
P38	2340	36	38	1	25	25	8 500	791 500
P39	2680	37	39	1,3	25	25	17 500	783 000
P40	3380	37,7	40	1,3	25	32,5	10 000	765 500
P41	3680	38,6	41	1,6	25	40	16 500	755 500
P42	4090	39,5	42	1,9	25	47,5	33 500	739 000
P43	4790	40,4	43	2,1	25	52,5	12 000	705 500
P44	5025	41,3	44	2,4	25	60	19 000	693 500
P45	5340	42,2	45	2,7	25	67,5	19 500	674 500
P46	5630	43,1	46	2,9	25	72,5	25 500	655 000
P47	5980	44	47	3	25	75	72 000	629 500
P48	6940	43	48	5	25	125	61 500	557 500
P49	7430	44	49	5	25	125	75 000	496 000
P50	8030	45	50	5	25	125	53 000	421 000
P51	8455	46	51	5	25	125	108 000	368 000
P52	9320	47	52	5	25	125	37 500	260 000
P53	9620	48	53	5	25	125	30 000	222 500
P54	9860	49	54	5	25	125	30 000	192 500
P55	10100	50	55	5	25	125	162 500	162 500

*Tableau 26 : Volumes de sédiment à éroder par section pour retrouver le lit initial de la Sélune avant création des plans d'eau*

Les analyses de routine engagées au niveau de la station de potabilisation des eaux en amont du barrage de Vezins, sur le site au lieu dit La Lande à Milly indique une concentration moyenne en MES de 9,6 mg/l (de l'année 2001 à 2010).

À partir de cette concentration moyenne et du débit moyen de la Sélune, le Tableau 27 récapitule les quantités de MES transportées quotidiennement et annuellement par le cours d'eau.

	Apports par seconde	Apports quotidiens	Apports annuels
Eau	8,8 m <sup>3</sup>	760 000 m <sup>3</sup>	227,5 millions de m <sup>3</sup>
Matières en suspension	85 mg	7,3 t	2 664 t

*Tableau 27 : Synthèse des quantités quotidiennes et annuelles de MES charriées par la Sélune*

Ainsi la quantité de MES charriés annuellement par le fleuve Sélune s'établit environ à 2 664 tonnes de MES. Toutefois ce calcul n'est pas en adéquation avec les observations faites par EDF sur le plan d'eau :

- Les comparaisons des relevés bathymétriques montrent une accumulation de sédiments de 4 cm/an dans la partie amont et de 1 cm/an dans la partie aval. En ramenant ces vitesses d'envasement aux superficies respectives des deux parties du plan d'eau de Vezins, le volume total de sédiments accumulés par an serait proche de 20 000 m<sup>3</sup>, soit 11 000 tonnes compte tenu des siccités et densités mesurées ;
- EDF a également fait une estimation des flux entrant sur l'année hydrologique 2003 et conclu à une entrée de sédiments de 2800 tonnes dont 2000 restant dans les retenues (soit les 2/3) compte tenu des flux mesurés en aval, pour mémoire l'année 2003 était hydrologiquement basse ce bilan est vraisemblablement sous-estimé en valeur moyenne.

La sous-estimation du calcul proposé au travers du Tableau 27 peut s'expliquer par l'utilisation d'une valeur moyenne en MES pour la transformation des données de concentration en flux puisque l'on sous-estime fortement les transferts lors des crues, périodes où l'essentiel des flux de MES transite dans le cours d'eau.

Sur la base de l'ensemble de ces éléments, il apparaît raisonnable de supposer que la quantité de sédiment transitant annuellement par la Sélune au niveau des 2 plans d'eau est proche de 5 500 tonnes (le 1/3 restant des 2/3 de 11 000 tonnes).

Le recreusement du lit de la sélune au niveau du barrage de Vezins abouti ainsi à la remise en suspension de quantités de sédiments 77 fois plus importantes que les MES charriées annuellement par le cours d'eau. Il n'est pas possible d'estimer le temps nécessaire pour la remobilisation de cette importante quantité de sédiments, toutefois les calculs engagés précédemment indiquent la possibilité d'éroder jusqu'à 450 000 m<sup>3</sup> de sédiments lors d'une crue décennale.

Ceci implique que statistiquement le lit historique de la Sélune peut être recreusés dans un délais courant de 2 ans à 20 ans avec respectivement une augmentation moyenne de la concentration en MES du fleuve s'établissant entre 900 et 90 mg/l de MES.

Ces concentrations moyennes ne reflètent pas nécessairement la réalité de la situation, l'apparition de pics de concentration étant lié à la courantologie de la Sélune et notamment aux périodes de crues. Malgré tout, eu égard aux valeurs fournies au travers de l'étude bibliographique de l'incidence de la turbidité sur la faune et la flore des cours d'eau, la réalisation de l'opération d'effacement sans la mise en œuvre de mesure permettant d'atténuer ces concentrations en MES apparaît clairement compromise.

Si l'on souhaite disposer d'un autre ordre de grandeur, il est possible de comparer les apports issus de l'érosion du lit dans les sédiments tapissant le fond du barrage de Vezins aux quantités de sédiments apportées annuellement à l'échelle de la baie du Mont-Saint-Michel qui constitue l'exutoire du cours d'eau.

Plusieurs études, ont été menées afin de caractériser le remaniement et le transport des sédiments dans la baie du Mont Saint Michel. Il se dégage de ces études qu'au cours d'une marée de coefficient 90, un volume d'environ 100 millions de m<sup>3</sup> d'eau pénètrent dans la petite baie. Les données les plus récentes font état de taux de sédimentation les plus récents (Thèse de Romain DESGUEE en 2008) :

- Taux de sédimentation moyen annuel dans la petite baie (70 km<sup>2</sup>) : +700 000m<sup>3</sup>/an (Migniot 1997) ;
- Taux de sédimentation moyen annuel extrapolés à la petite baie (70 km<sup>2</sup>) entre 1997 et 2002 : 600 000m<sup>3</sup>/an ;
- Taux de sédimentation moyen annuel extrapolés à la petite baie (70 km<sup>2</sup>) entre 2002 et 2007 : +270 000m<sup>3</sup>/an

La thèse de M. DESGUEE montrent clairement une non linéarité du phénomène d'ensablement, même si, usuellement, le chiffre de Migniot de 700 000 m<sup>3</sup> de sédiments par an reste une bonne base. Les comparaisons ci-après sont donc établies sur cette hypothèse.

En estimant que le recreusement du lit de la Sélune au niveau du barrage de Vezins soit possible en 1 année, l'apport de MES serait légèrement supérieur aux apports fluviaux et maritimes annuels recensés sur la petite baie du Mont-Saint-Michel.

Cette nouvelle observation abonde dans le sens de la mise en œuvre de mesures visant à limiter l'érosion du lit historique du cours d'eau.

## VII°/ 5 CALCUL DE FLUX EN POLLUANT

### VII°/ 5. 1 QUANTITÉ DE MÉTAUX TRANSFÉRABLES SUITE À L'EFFACEMENT DES BARRAGES

À partir des quantités de sédiments présents dans les 2 retenues et des concentrations moyennes en polluant mesurées, il est possible d'évaluer les quantités de métaux susceptibles d'être emportées dans le cadre de l'effacement des barrages. Le Tableau 28 synthétise les concentrations moyennes en métaux observées par secteur sur les 2 barrages.

	Moyenne Amont Yvrande	Moyenne Aval Yvrande	Moyenne Yvrande	Moyenne Roche- qui-Boît
Arsenic (mg/kg)	6,20	16,43	1,56	5,74
Cadmium (mg/kg)	1,07	1,97	7,55	1,63
Chrome (mg/kg)	31,95	46,31	126,30	32,63
Cuivre (mg/kg)	21,18	34,14	80,61	21,52
Mercure (mg/kg)	0,11	0,10	0,13	0,16
Nickel (mg/kg)	34,76	50,38	74,57	38,38
Plomb (mg/kg)	20,05	34,70	26,75	20,73
Zinc (mg/kg)	136,47	200,35	331,15	137,50

*Tableau 28 : Synthèse des concentrations moyennes en métaux sur les différents secteurs des barrages*

Les calculs réalisés précédemment ont permis de définir les volumes de sédiments érodables au niveau du barrage de Vezins :

- Barrage de Vezins, secteur en amont de l'Yvrande : 653 500 m<sup>3</sup> ;
- Barrage de Vezins, secteur en aval de l'Yvrande : 230 500 m<sup>3</sup> ;

Concernant le secteur de l'Yvrande, il est possible de définir une quantité de sédiment érodables en connaissant la hauteur de sédiments, la largeur du cours d'eau et la longueur du chenal immergé :

- Hauteur de sédiments : environ 2 m au niveau du chenal historique selon les carottages réalisés lors des prélèvements de sédiments ;
- Largeur du cours d'eau : En amont de la confluence avec le plan d'eau, l'Yvrande présente une largeur moyenne de l'ordre de 5 m ;
- Longueur du chenal immergé : Environ 500 mètres selon les plans disponibles.

Le volume de sédiments érodable au niveau du secteur de l'Yvrande suite à l'effacement des barrages peut vraisemblablement être estimé à 5 000 m<sup>3</sup>.

Concernant le barrage de la Roche-qui-Boît, il n'existe pas de relevé bathymétrique précis du plan d'eau. De manière à estimer les pertes potentielles de sédiments issues du recreusement du lit de la Sélune il est convenu d'appliquer un facteur de 4,25 au volume de sédiments érodables calculé pour le barrage de Vezins. Ce facteur correspond au rapport des capacités globales des 2 plans d'eau (19 millions pour Vezins et 4 millions pour la Roche-qui-Boît). Le volume de sédiments érodables estimé au niveau de la Roche-qui-Boît s'établit ainsi à 342 500 m<sup>3</sup>. À partir de l'ensemble de ces données, Le Tableau 29 récapitule les quantités de métaux libérées en aval des 2 retenues suite à l'effacement des barrages en l'absence de la mise en œuvre de précautions particulières encadrant l'opération.

	Moyenne Amont Yvrande	Moyenne Aval Yvrande	Moyenne Yvrande	Moyenne Roche-qui-Boît	Total
Tonnage (t)	357 000	126 000	2730	128 000	613 730
Arsenic (t)	2,2	2,1	<0,1	0,7	5
Cadmium (t)	0,4	0,2	<0,1	0,2	1
Chrome (t)	11,4	5,8	0,3	4,2	22
Cuivre (t)	7,6	4,3	0,2	2,8	15
Mercure (t)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nickel (t)	12,4	6,3	0,2	4,9	24
Plomb (t)	7,2	4,4	0,1	2,7	14
Zinc (t)	48,7	25,2	0,9	17,6	92

*Tableau 29 : Synthèse des quantités de métaux emportées en l'absence de précautions particulières suite à l'effacement des barrages*

Les quantités les plus importantes de métaux transférables en aval correspondent au :

- Zinc ;
- Nickel ;
- Plomb ;
- Chrome ;
- Et cuivre

Ces éléments représentent à eux seuls 96 % des apports totaux en métaux dont plus de 50 % pour le Zinc uniquement. La quantité totale de métaux érodables en l'absence de mesure de précaution encadrant l'effacement des barrages se chiffre à 173 tonnes.

## VII°/ 5. 2 MOYENS DE COMPARAISON DES VALEURS

En vue de disposer de moyens de comparaison, ces apports peuvent être comparés à d'autres valeurs reflétant les apports naturels du milieu :

- Quantités de métaux apportées annuellement par le jeu des marées au niveau de la Baie du Mont-Saint-Michel ;
- Apport annuel en provenance du fleuve Sélune.

### 1 ) Quantités de métaux apportées annuellement par les marées

De manière à évaluer plus clairement les concentrations en métaux présents dans les MES apportées par la mer au niveau de la baie du Mont-Saint-Michel, il est possible de se baser sur les concentrations relevées dans les sédiments localisés sur ce secteur.

Dans le cadre de travaux d'extension du port de Granville en 2001, un suivi au niveau de la zone qui a été utilisée pour l'immersion des déblais a été mis en œuvre au cours de l'opération. Ce suivi s'est traduit par la réalisation de dosages de métaux lourds dans les sédiments de la zone de clapage avant et à l'issue des opérations. Les résultats de ce suivi sont synthétisés dans le Tableau 30.

	Avant clapage	Après clapage		Moyenne
Arsenic (mg/kg sec)	10	8	6,5	8,2
Cadmium (mg/kg sec)	0,09	0,11	0,2	0,1
Chrome (mg/kg sec)	6	23	22	17,0
Cuivre (mg/kg sec)	1	7	2,9	3,6
Mercuré (mg/kg sec)	0,01	0,024	0,1	0,04
Nickel (mg/kg sec)	2,2	9	8	6,4
Plomb (mg/kg sec)	6,5	49	15	23,5
Zinc (mg/kg sec)	30	49	39	39,3

*Tableau 30 : Résultats du suivi de la zone d'immersion utilisée dans le cadre de l'extension du port de Granville en 2001.*

Les résultats de ce suivi montrent un impact faible mais non négligeable des opérations de clapage sur les concentrations en métaux dans les sédiments. Il est donc convenu de ne prendre en compte que les résultats du suivi avant travaux pour les calculs à venir.

Les apports annuels en sédiments à l'échelle de la baie du Mont-Saint-Michel sont, pour rappel, évalués à 00 000 m<sup>3</sup>. En partant sur l'hypothèse d'une densité et d'une siccité de l'ordre respectivement de 1,4 et 35 % il est possible de déterminer le tonnage de sédiments secs apportés, soit 395 000 tonnes.

Le Tableau 31 synthétise ainsi les quantités de métaux apportées annuellement du fait de la sédimentation issue du jeu des marées.

	Concentration bruit de fond baie (mg/kg)	Quantité de métaux apportée annuellement (t)
Arsenic	10	3,95
Cadmium	0,09	0,03
Chrome	6	2,37
Cuivre	1	0,39
Mercuré	0,01	0,004
Nickel	2,2	0,87
Plomb	6,5	2,57
Zinc	30	11,85

*Tableau 31 : Synthèse des quantités de métaux apportées annuellement par le milieu marin sur la baie du Mont-Saint-Michel*

Il est ainsi possible de comparer la quantité de métaux apportée dans le cadre de l'effacement des barrages aux apports annuels d'origine marine au niveau de la baie du Mont-Saint-Michel en définissant le nombre d'années nécessaire pour atteindre un équilibre des flux.

Pour illustrer ce propos, sur la base des éléments présentés au sein du Tableau 32, les apports en nickel en provenance de l'érosion du lit de la Sélune au niveau des barrages actuels et en l'absence de la mise en œuvre de précaution particulière correspondent à 27,6 années d'apports naturels marins.

	Apports naturels marins (t)	Apport effacement des barrages (t)	Rapport des flux (année)
Arsenic	3,95	5	1,3
Cadmium	0,03	1	33
Chrome	2,37	22	9,3
Cuivre	0,39	15	38,4
Mercure	0,004	<0,1	25
Nickel	0,87	24	27,6
Plomb	2,57	14	5,4
Zinc	11,85	92	7,7

*Tableau 32 : Rapport des apports issus de l'effacement des barrages en l'absence de précaution encadrant l'opération et des flux annuels naturels*

Les flux de métaux apportés par la Sélune au niveau de la baie du Mont-Saint-Michel en cas d'effacement des barrages en l'absence de mesures de précaution sont ainsi de 1,3 à 38,4 fois plus importants que les apports naturels d'origine marine.

## 2 ) Apports annuels en provenance de la Sélune

À partir des données de qualité des eaux fournies par l'ARS, il est également possible de déterminer les concentrations moyennes en métaux retrouvées dans les eaux de la Sélune.

Ces concentrations sont basées sur les mesures qui ont été réalisées en amont du barrage de Vezins pour ne pas fausser les mesures. Les barrages jouent en effet un rôle de piège à sédiments et peuvent donc atténuer les concentrations en métaux en aval puisque ces polluants se fixent préférentiellement sur les matières en suspension. Pour rappel, la quantité d'eau dévalant annuellement le fleuve Sélune au niveau des barrages est évaluée à 227,5 millions de m<sup>3</sup>.

	Concentration (µg/l)	Flux annuel (tonnes)
Arsenic	2,8	0,6
Cadmium	0,9	0,2
Chrome	3,8	0,9
Cuivre	4,0	0,9
Mercure	0,1	0,0
Nickel	7,1	1,6
Plomb	4,6	1,1
Zinc	29,8	6,8

*Tableau 33 : Flux annuel de métaux charriés par la Sélune*

Comme précédemment il est possible de comparer la quantité de métaux apportée dans le cadre de l'effacement des barrages aux apports annuels du fleuve Sélune. Ces éléments sont retranscrits dans le Tableau 34.

	Apports naturels fleuve Sélune (tonne)	Apport effacement des barrages (tonne)	Rapport des flux (année)
Arsenic	0,6	5	7,9
Cadmium	0,2	1	4,9
Chrome	0,9	22	25,5
Cuivre	0,9	15	16,5
Mercure	<0,1	<0,1	1
Nickel	1,6	24	14,8
Plomb	1,1	14	13,3
Zinc	6,8	92	13,6

*Tableau 34 : Comparaison des apports annuels en métaux issus de l'effacement des barrages et de ceux qui sont issus du fleuve Sélune*

Les flux de métaux apportés par l'effacement des barrages en l'absence de mesures de précaution sont ainsi de 1 à 25,5 fois plus importants que les apports naturels du fleuve Sélune.

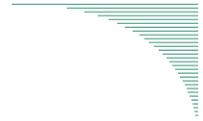
## VII°/ 6 CONCLUSION

### VII°/ 6. 1 CONCERNANT LA PHASE D'ABAISSEMENT

Compte tenu des résultats de la simulation, les teneurs en MES rencontrées en sortie de plan d'eau en phase de vidange dans le cas de la survenue d'une crue décennale (pour rappel 1 g/l pour un abaissement de la côte actuelle de seulement 1,50 m) impliquent très clairement la mise en œuvre de mesure visant à limiter les phénomènes d'érosion.

En effet, si les poissons sont en mesure de résister de manière variable à d'importantes concentrations en MES lors de phénomènes épisodiques, l'analyse bibliographique réalisée met clairement en évidence que leurs habitats sont directement menacés, bloquant totalement les possibilités de reproduction sur le cours d'eau aval. Les effets indirects de la turbidité sont également en mesure de perturber le développement des espèces en place en altérant leurs capacités de respiration, de nutrition et de reproduction.

Toutes ces observations impliquent de mettre en œuvre une planification rigoureuse de la phase d'abaissement et des aspects techniques retenus pour limiter la remise en suspension des sédiments. L'ensemble de ces éléments doit être développé au cours de la seconde phase de cette étude.



## VII°/ 6. 2 CONCERNANT LE RECREUSEMENT PROGRESSIF DU LIT DE LA SÉLUNE

Les résultats des calculs engagés dans le cadre du recreusement du lit de la Sélune ne permettent pas de définir le temps qui sera nécessaire à l'érosion complète des sédiments qui comblent actuellement le lit historique du cours d'eau.

Toutefois, compte tenu des quantités de sédiment en jeu et des résultats des calculs issus de l'apparition d'une crue décennale, l'opération d'effacement nécessite également la mise en œuvre de précautions particulières pour ne pas porter atteinte au lit du fleuve en aval des barrages.

Les simulations montrent également que l'effacement des ouvrages peut aboutir au transfert de très importantes quantités de sédiments en direction de la baie du Mont-Saint-Michel et dans des proportions non négligeables eu égard à la dynamique sédimentaire du secteur.

La seconde phase de l'étude doit donc également être force de proposition en vue de limiter ces possibles incidences sur le milieu naturel ainsi que sur les activités recensées en aval du cours d'eau.

## VII°/ 6. 3 CONCERNANT LES FLUX EN MÉTAUX

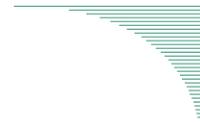
Les calculs de flux de métaux établis en se basant sur l'hypothèse de l'absence de mise en œuvre de précaution au cours de l'effacement des 2 barrages de la Sélune montrent que les quantités charriées sont relativement conséquentes avec des apports globaux évalués à 173 tonnes.

En comparant ces résultats aux flux de métaux apportés annuellement par le milieu marin sur la baie du Mont-Saint-Michel, il s'avère que les apports maritimes annuels au niveau du milieu récepteur sont bien moindres que ceux qui seraient liés à l'effacement des barrages (de 1,3 à 38,4 fois moins selon les métaux). Ceci est d'autant plus contraignant que les apports maritimes comptent pour des apports globaux en sédiments sur la baie (les métaux étant préférentiellement fixés sur les matières en suspension).

Il en est de même concernant les apports en métaux issus des flux transitant dans le fleuve Sélune. Les calculs montrent ainsi qu'annuellement les apports en ETM sont 1 à 25,5 fois plus faibles que les flux théoriques observables en l'absence de précaution au cours de l'opération d'effacement.

Les métaux lourds constituant des éléments dont la toxicité est variable mais avérée, il apparaît d'autant plus nécessaire de mettre en œuvre des solutions techniques permettant de limiter les phénomènes d'érosion au cours de la vidange des plans d'eau.

Ces solutions techniques doivent également être en mesure de limiter les remises en suspension de sédiments à l'issue de l'effacement des ouvrages de Vezins et de la Roche-qui-Boit de manière à éviter d'important transferts de métaux en aval du fleuve en direction de la baie du Mont-Saint-Michel.



## BIBLIOGRAPHIE

ANGERMEIER, P.L. ET J. R. KARR. 1984. Relationships between woody debris and fish habitat in a small warmwater stream. Trans. Amer. Fish. Soc. 113 : 716-726.

BALON, E. K. 1975. Reproductive guilds of fishes : A proposal and definition. J. Fish. Res. Board. Can. 32 : 821-864.

BALON, E. K. 1975. Reproductive guilds of fishes : A proposal and definition. J. Fish. Res. Board. Can. 32 : 821-864.

BATAILLARD ET AL. 2008. Mobilité des éléments traces dans un anthroposol développé sur sédiment de curage fortement contaminé – Migration à l'échelle du profil – Etude et gestion des sols – 15, 7-18p ;

BERKMAN, H. E., C. F. RABENI ET T. P. BOYLE. 1986. Biomonitoring of stream quality in agricultural areas : fish versus invertebrates. Environmental Management. 10: 413-419.

BOUBÉE, J. A., T. L. DEAN, D. W. WEST ET R. F. G. BARRIER. 1997. Avoidance of suspended sediment by the juvenile migratory stage of six New Zealand fish species. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 31: 61-69.

BURKHEAD, N. M. ET H. L. JELKS. 2001. Effects of suspended sediment on the reproductive success of the tricolor shiner, a crevice-spawning minnow. Trans. Amer. Fish. Soc. 130 : 959-968.

CFG, 2003. – *Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans la lutte contre l'érosion* – Comité français des Géosynthétiques – 128p ;

CHUTTER, F. M. 1969. The effects of silt and sand on the invertebrate fauna of streams and rivers. Hydrobiologia. 34 : 57-76.

CIBLEX, 2003. – *Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué* – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ;

CORDONE, A. J. ET D. W. KELLEY. 1961. The influences of inorganic sediment on the aquatic life in streams. Calif. Fish Game. 47 : 189-228.

ECB, 2003. – *Technical Guidance Document on Risk Assessment – Institute for Health and Consumer Protection* – European Chemicals Bureau – 900p ;

ELLIS, M. M. 1936. Erosion silt as a factor in aquatic environments. Ecology, 17 : 29-42.

FAIRCHILD, J. F., T. BOYLE, W. R. ENGLISH ET C. RABENI. 1987. Effects of sediment and contaminated sediment on structural and functional components of experimental stream ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 36 : 271 – 293.

IFREMER, 2005. – *Les substances prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) – Fiches de synthèse – IFREMER – 92p ;*

INERIS, 2003. – *Guide méthodologique : Evaluation des Risques Sanitaires dans les études d'impact des installations classées – Substances chimiques – Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques – 152p ;*

IFREMER, 2005&2011. – *Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques ;*

INRA, 2010. – *Cartographies des teneurs en éléments traces métalliques dans les horizons de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine ; de la Manche et de la Mayenne – Institut National de la Recherche Agronomique ;*

INERIS, 2010. – *Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle – Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques – 250p ;*

INVS, 2000. – *Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact – Institut National de Veille Sanitaire ;*

INVS, 2000. – *Evaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages après dépollution du fioul de l'Érika – Institut National de Veille Sanitaire – 77p ;*

KERR, S.J. 1995. Silt, turbidity and suspended sediments in the aquatic environment: an annotated bibliography and literature review. Ontario Ministry of Natural Resources, Southern Region Science & Technology Transfer Unit Technical Report TR-008.

LACHAMBRE&FISSON, 2007. – *Contamination chimique en estuaire de Seine : Quel risque en estuaire de Seine ? – Rapport – Groupement d'intérêt public Seine-Aval ;*

LAURENCE, G. C. 1974. Growth and survival of Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in relation to planktonic prey concentration. *J. Fish. Res. Board. Can.* 31 : 1415-1419.

LLOYD, D. S. 1987. Turbidity as a water quality standard for salmonid habitats in Alaska. *North Am. J. Fish. Manag.* 7 : 34-45.

MARCHAND, TESSIER, 2005. – *Analyse du risque chimique en milieu marin – L'approche méthodologique européenne – IFREMER / INERIS - 124p ;*

**MEDD, 2007.** – *Démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM)* – Guide Méthodologique du 8 février 2007 – Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – 42p ;

**MUNCY, R. J, G. J. ATCHISON, R. V. BULKLEY, B. W. MENZEL, L. G. PERRY ET R. C. SUMMERFELT.** 1979. Effects of suspended solids and sediment on reproduction and early life of warmwater fishes : a review. U.S. Environmental Protection Agency, EPA Report 600 / 3 –79 – 042, Washington, DC.

**MVVW, 2001.** – *Risico's van blootstelling van de mens aan verontreinigde waterbodems* – Ministerie van Verkeer en Waterstaat – 37p ;

**NEBOIT, 1991.** – *L'homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde* – Faculté des lettres et des sciences humaines de l'université Blaise-Pascal – 264p ;

**NEWCOMBE, C. P. ET D. D. MACDONALD.** 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. North Am. J. Fish. Manag. 11 : 72-82.

**PAPOULIAS, D. ET W. L. MINCKLEY.** 1990. Food limited survival of larval razorback sucker, *Xyrauchen texanus*), in the laboratory. Env. Biol. Fish. 29 : 73-78.

**ROSENTHAL, H. ET D. F. Alderdice.** 1976. Sublethal effects of environmental stressors, natural and pollutional, on marine fish eggs and larvae. J. Fish. Res. Board. Can. 33 : 2047-2065.

**SIGG, 1992.** – *Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement* – Masson – 391p ;

**STARRETT, W. C.** 1950. Food relationships of the minnows of the Des Moines river, Iowa. Ecology, 31 : 216-233.

**SWEKA, J. A. ET K. J. HARTMAN.** 2001. Influence of turbidity on brook trout reactive distance and foraging success. Trans. Amer. Fish. Soc. 130 : 138-146.

**TÁTRAI, I. ET A. HERZIG.** 1995. Effect of habitat structure on the feeding efficiency of young stages of razor fish (*Pelecus cultratus* (L.)) : an experimental approach. Hydrobiologia, 299 : 75-81.

**TRIPPEL, E. A. ET H. H. HARVEY.** 1989. Missing opportunities to reproduce : an energy dependent or fecundity gaining strategy in white sucker (*Catostomus commersoni*)?. Can. J. Zool. 67 : 2180-2188.

**US EPA, 1985.** – *A Screening Procedure for Toxic and Conventional Pollutants in Surface and Ground Water – Part. I* – United States Environmental Protection Agency – 628p ;

**US-EPA, 1997.** – *Exposure Factors Handbook* – United States Environmental Protection Agency – 1193p ;

**US-EPA, 2005.** – *Partition coefficient for metal in surface water, soil and waste* – United States Environmental Protection Agency – 93p ;

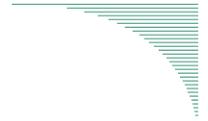
**US-EPA, 2005.** – *Vol 1 – Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities* – United States Environmental Protection Agency ;

**VACHON, N.** 2003. L'envasement des cours d'eau : processus, causes et effets sur les écosystèmes avec une attention particulière aux Catostomidés dont le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*). Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-13, vi + 49 p.

**VINYARD, G. L. ET W. J. O'BRIEN.** 1976. Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*). J. Fish. Res. Board. Can. 33 : 2845-2849.

**WATERS, T. F.** 1995. Sediment instreams. Sources, biological effects and control. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society Monograph 7.

**WOOTTON, R. J.** 1973. The effect of size of food ration on egg production in the female threespined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. J. Fish Biol. 5 : 89-96.



## **ANNEXE I**

# **CARTOGRAPHIE DES BRUITS DE FONDS EN MÉTAUX LOURDS SUR LE DÉPARTEMENT DE LA MANCHE (INRA)**

# Teneurs en cadmium dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

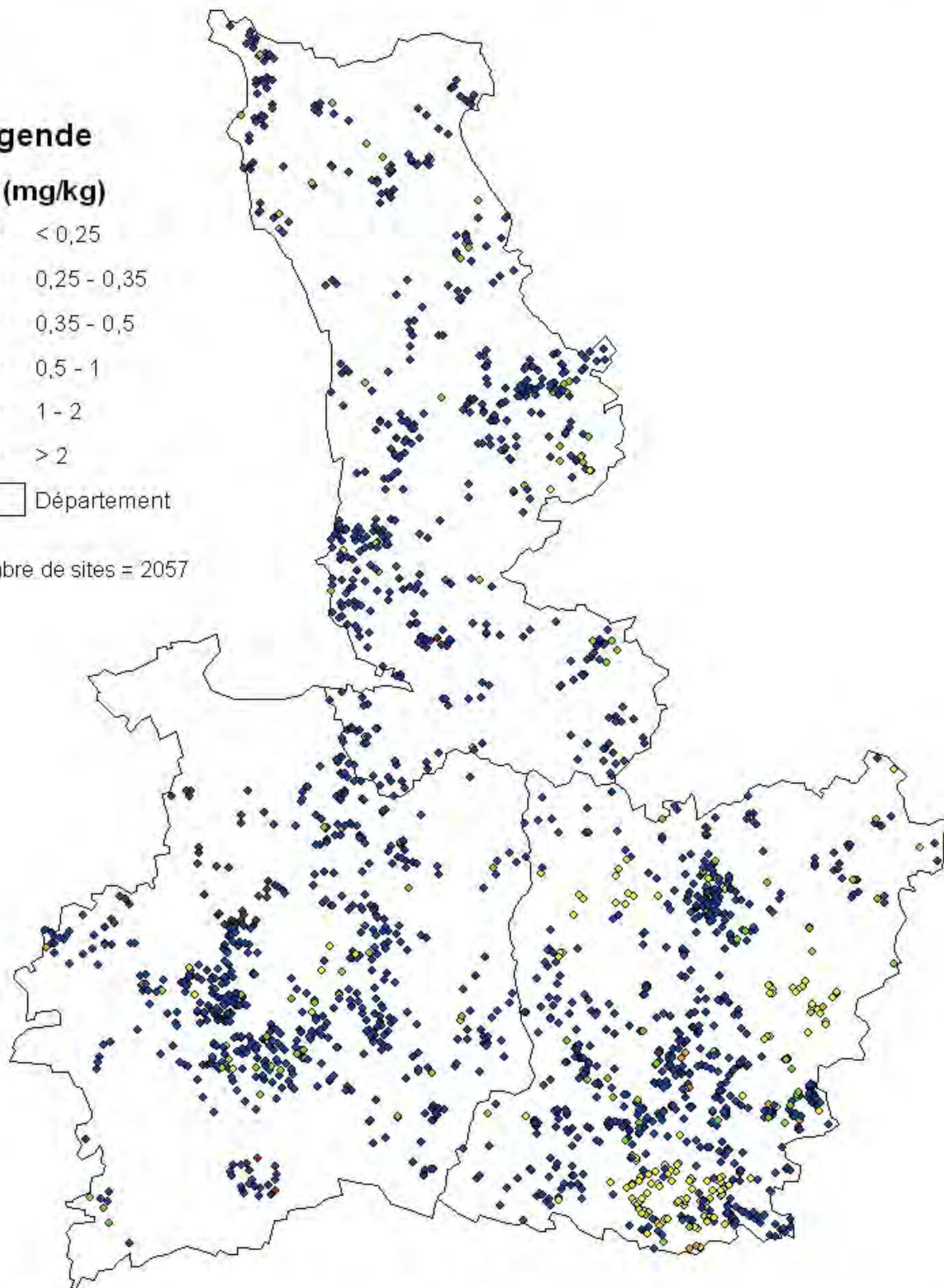
## Légende

### Cd (mg/kg)

- ◆ < 0,25
- ◇ 0,25 - 0,35
- ◇ 0,35 - 0,5
- ◇ 0,5 - 1
- ◆ 1 - 2
- ◆ > 2

□ Département

Nombre de sites = 2057



# Teneurs en chrome dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

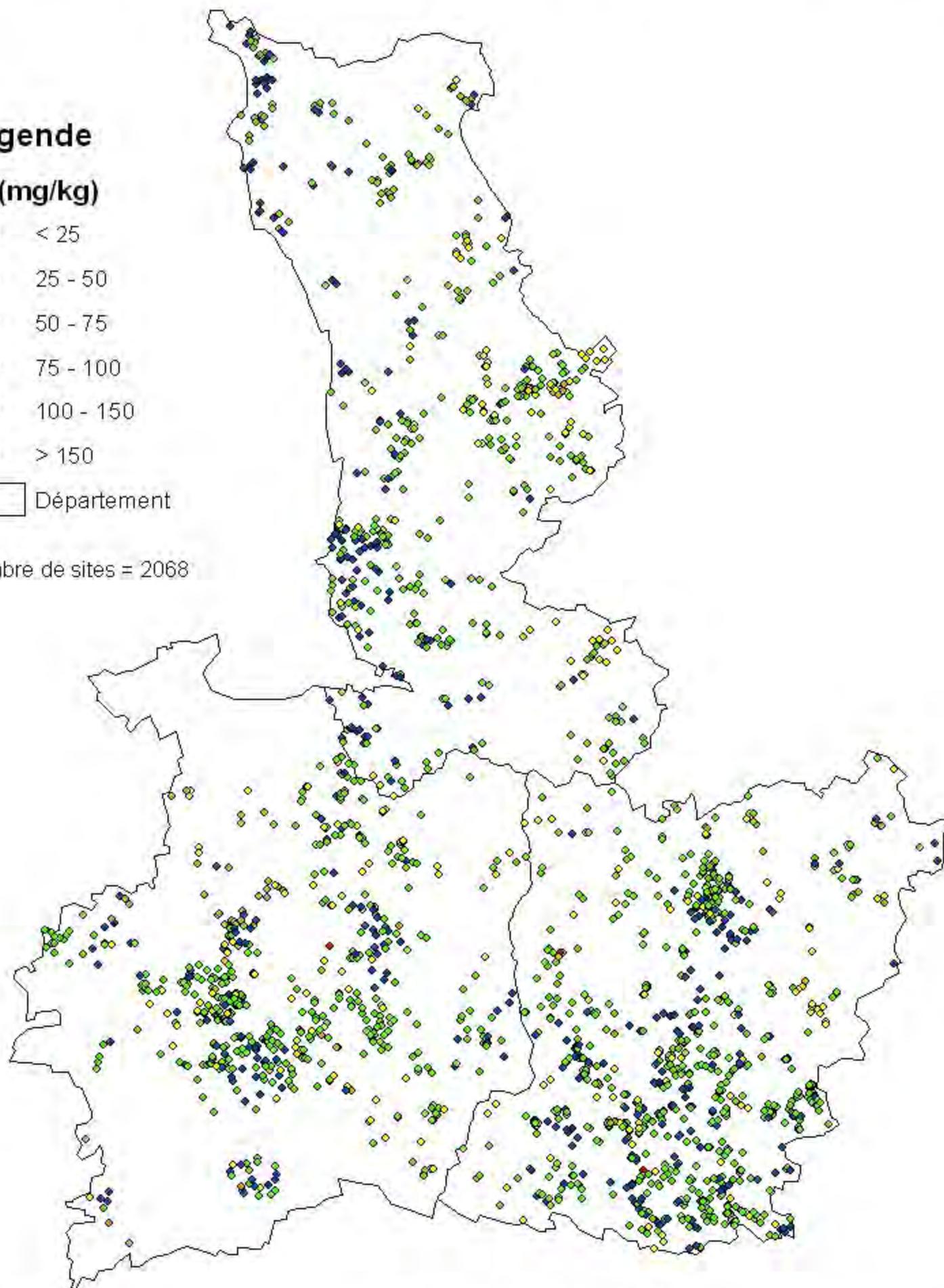
## Légende

### Cr (mg/kg)

- ◆ < 25
- ◇ 25 - 50
- ◇ 50 - 75
- ◇ 75 - 100
- ◆ 100 - 150
- ◆ > 150

□ Département

Nombre de sites = 2068



# Teneurs en cuivre dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

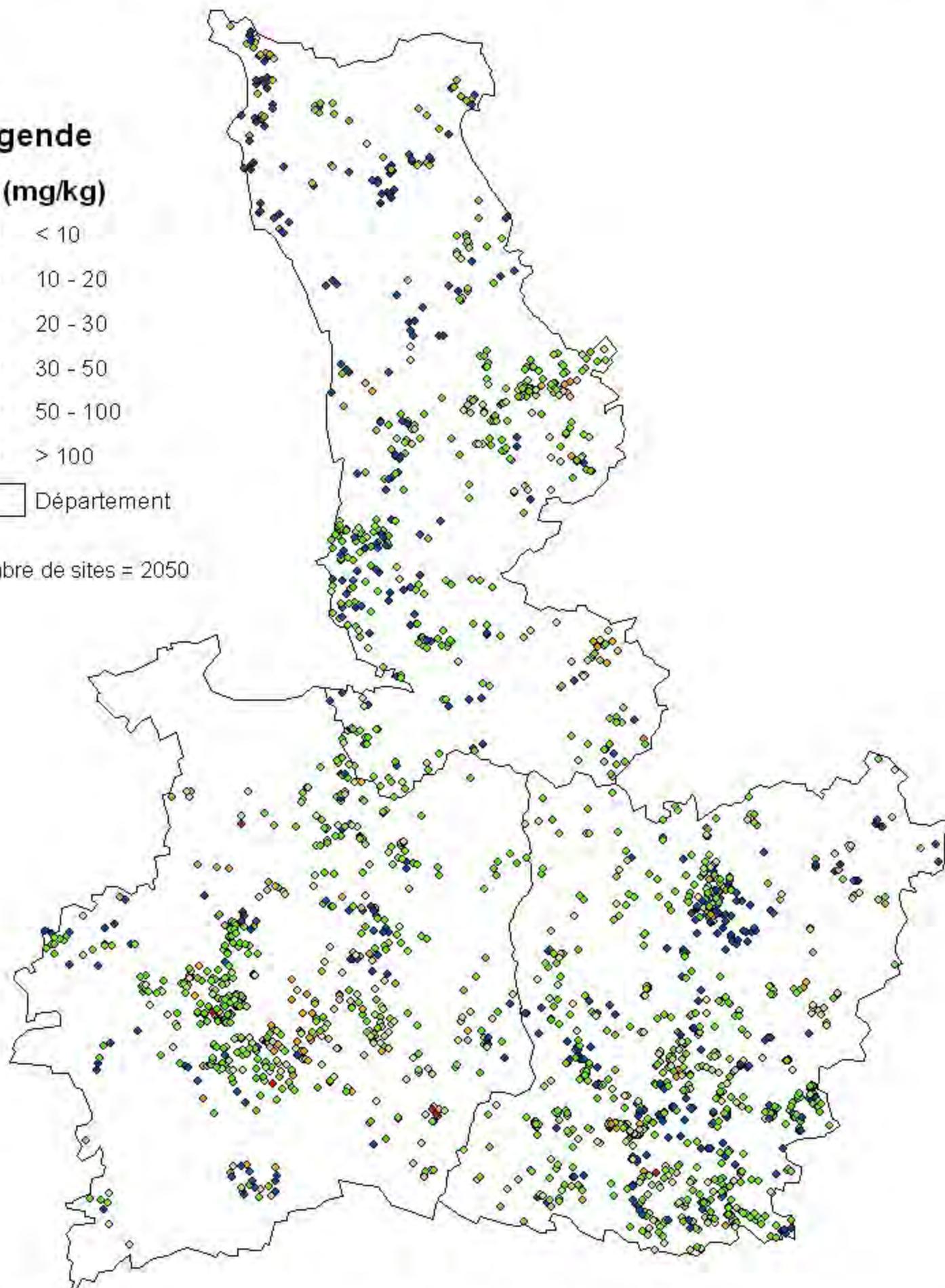
## Légende

### Cu (mg/kg)

- ◆ < 10
- ◇ 10 - 20
- ◇ 20 - 30
- ◇ 30 - 50
- ◆ 50 - 100
- ◆ > 100

□ Département

Nombre de sites = 2050



# Teneurs en nickel dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

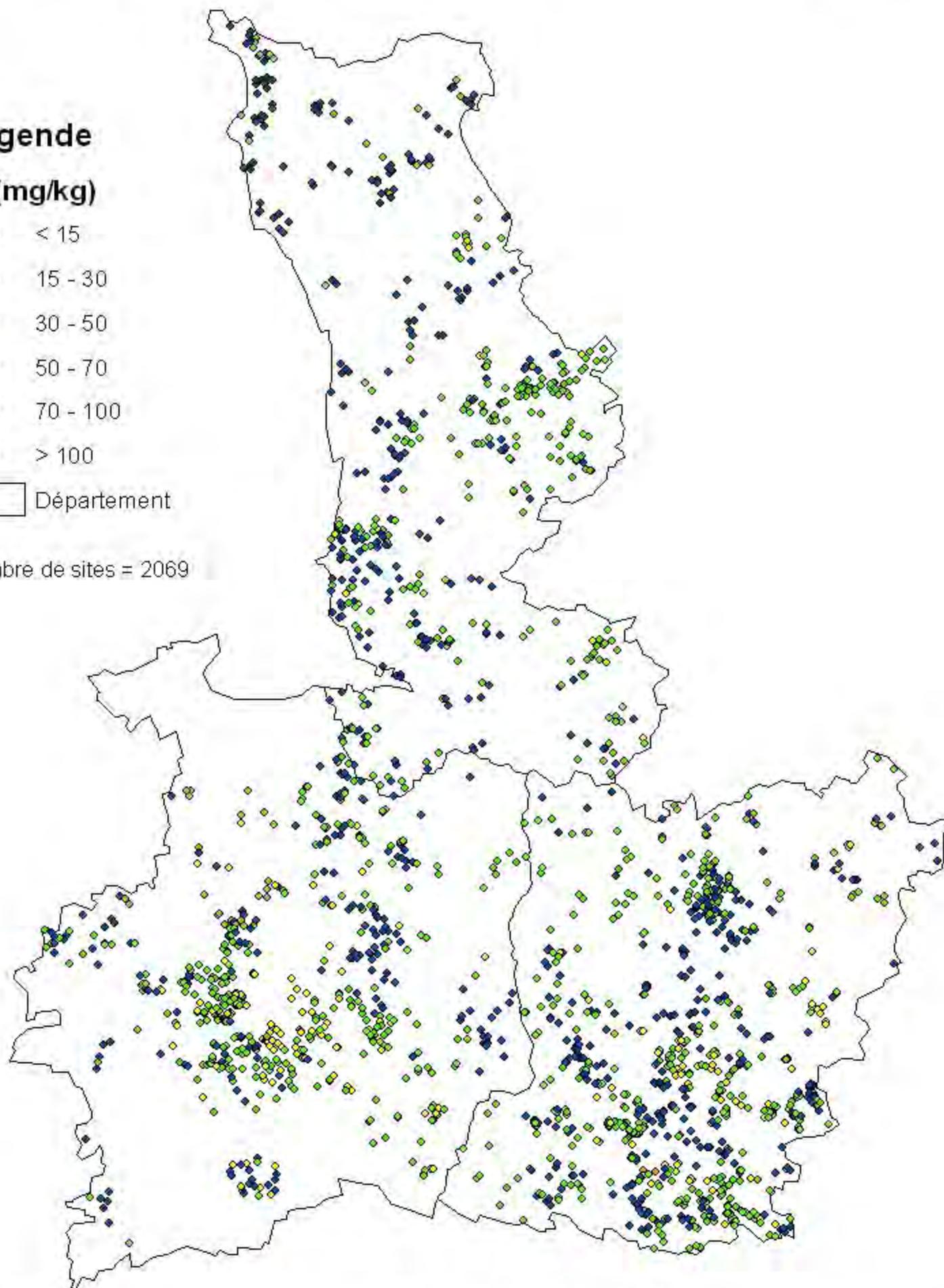
## Légende

### Ni (mg/kg)

- ◆ < 15
- ◇ 15 - 30
- ◇ 30 - 50
- ◇ 50 - 70
- ◆ 70 - 100
- ◆ > 100

□ Département

Nombre de sites = 2069



# Teneurs en plomb dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

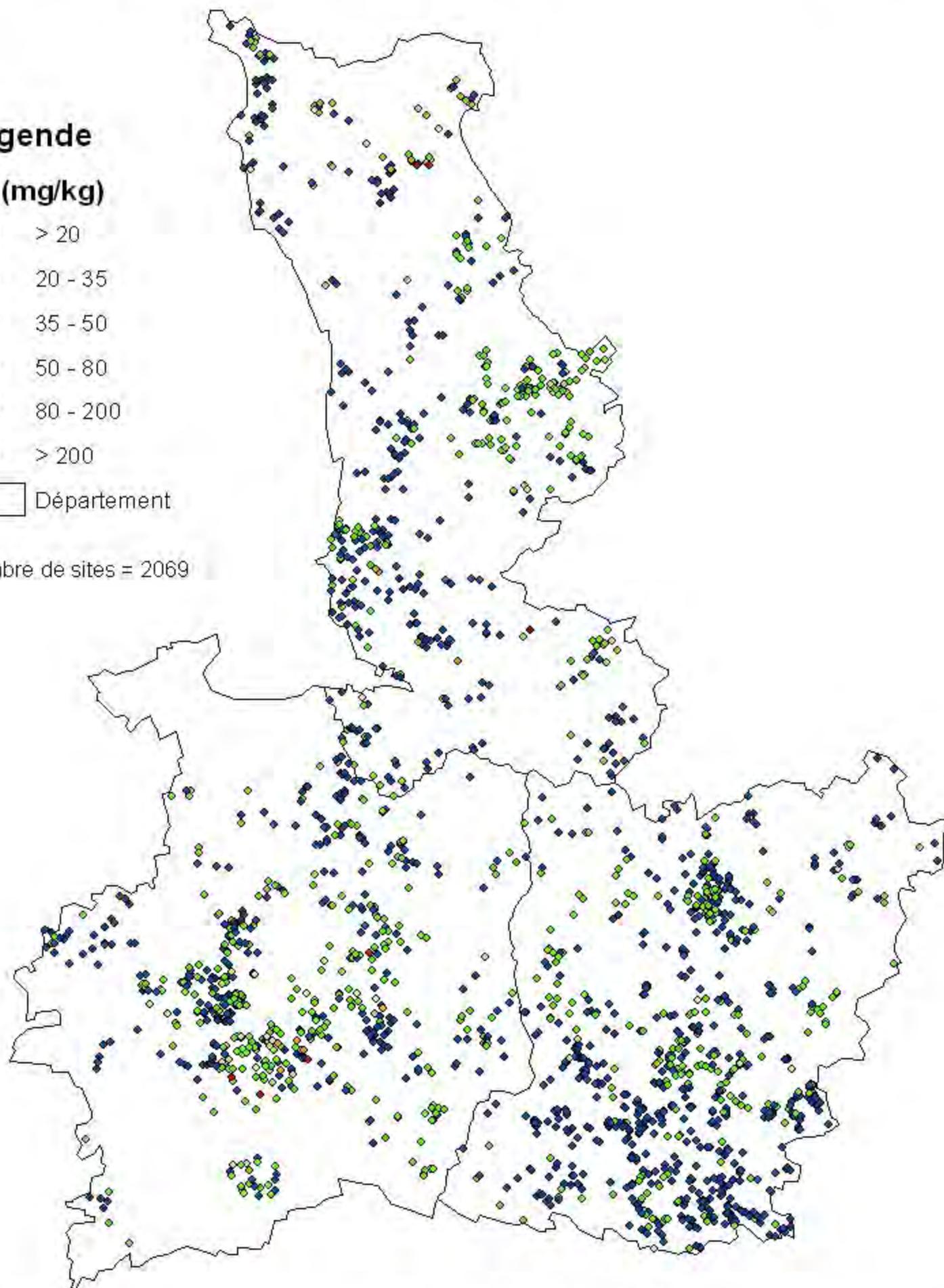
## Légende

### Pb (mg/kg)

- ◆ > 20
- ◇ 20 - 35
- ◇ 35 - 50
- ◇ 50 - 80
- ◆ 80 - 200
- ◆ > 200

□ Département

Nombre de sites = 2069



# Teneurs en zinc dans l'horizon de surface des sols des départements de l'Ille et Vilaine, de la Manche et de la Mayenne

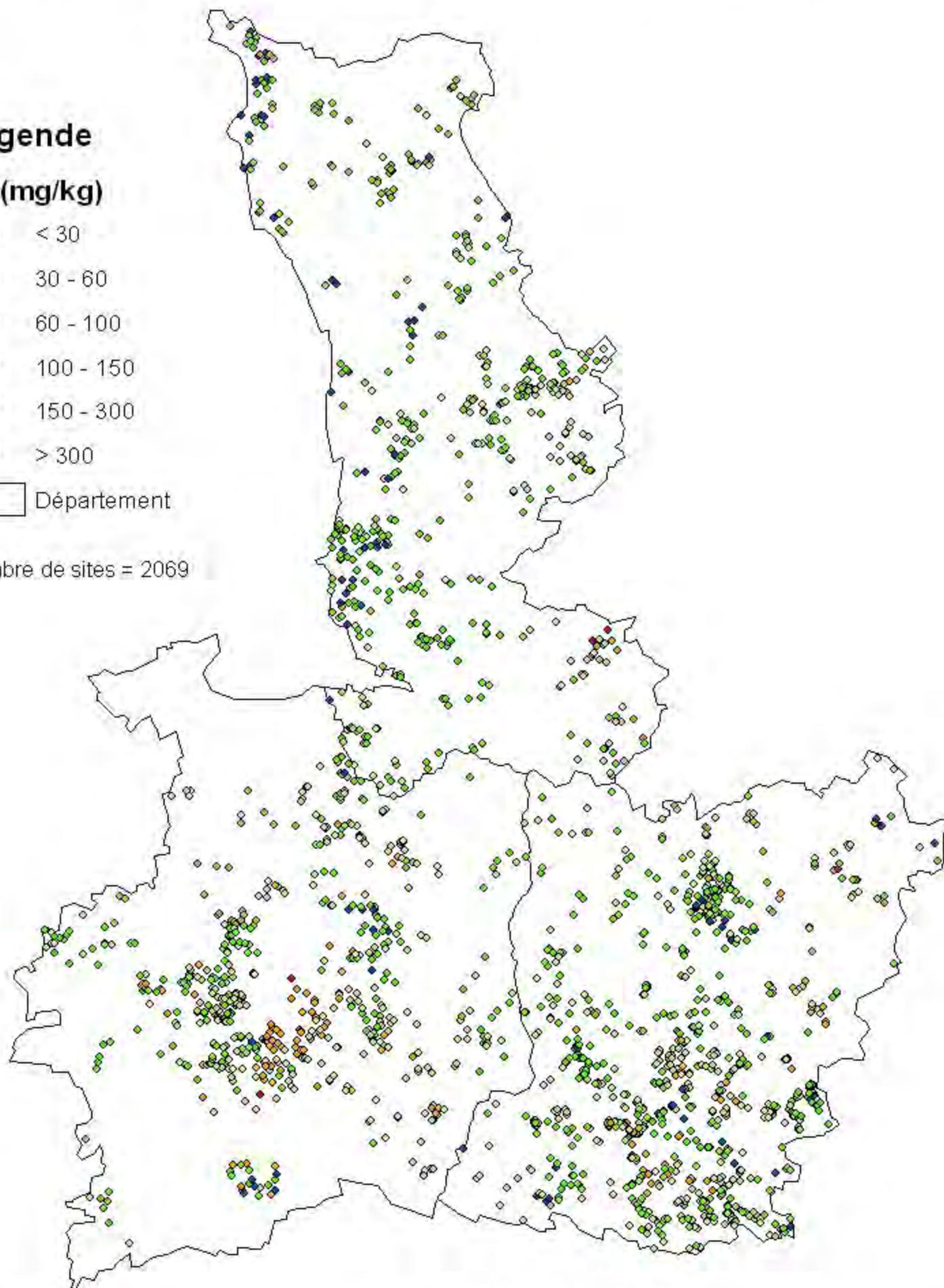
## Légende

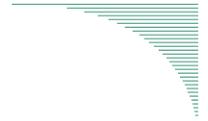
### Zn (mg/kg)

- ◆ < 30
- ◇ 30 - 60
- ◇ 60 - 100
- ◇ 100 - 150
- ◆ 150 - 300
- ◆ > 300

□ Département

Nombre de sites = 2069



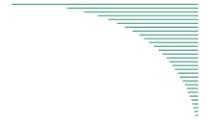


## ANNEXE II

# EVOLUTION DES NORMES DE REJETS D'ELECTROPOLY EN FONCTION DES ARRETES

<b>NORMES DE REJETS DÉFINIES AU TRAVERS DE L'ARRÊTÉ DE 1996</b>
---

Paramètres	Valeur maximale	
Débit journalier	410 m <sup>3</sup>	
Débit horaire	19 m <sup>3</sup>	
Débit instantané	5,3 l/s	
T°C	30 °C	
pH	6,5 à 9	
Paramètres	Concentration max (mg/l)	Flux quotidien max (kg/j)
Cr <sup>6+</sup>	0,01	0,026
Cr <sup>3+</sup>	-	-
Cr total	3	0,78
Ni	5	1,3
Cu	2	0,52
Zn	3	0,78
Fe	2,5	0,65
Mn	2,5	0,65
Co	3	0,78
Sn	2	0,52
Al	5	1,3
Total métaux	15	3,9
MES	20	6
F	15	3,9
Nitrites	1	0,41
NH <sub>4</sub>	15	6,15
P total	10	2,6
DCO	200	82
Hydrocarbures totaux	5	1,3



## ANNEXE III

# SYNTHÈSE DES DONNÉES RELATIVES À LA CAMPAGE DE PRÉLÈVEMENT

CAMPAGNE DE PRELEVEMENT DES SEDIMENTS			
		Responsable et suivi de la mission : Nicolas Proulhac	
nov. 10		Intervenant : Arnaud Marrec - ingénieur	
Situation : Barrages de la Sélune		Dossier n° E 100808	
Mandataire : DDTM de la Manche			
<b>SITE - Barrages de la Sélune</b>			
<b>Période d'investigation</b> : novembre 2010 <b>Matériel</b> : - Carottier à sédiments manuel composé d'un cylindre inox de 2,00 m de hauteur (Taux de compaction d'environ 30 à 50 %) - Carottier gravitaire - Benne Van Veen - Embarcation : Barque aluminium équipée 4,50 m et barque plastique 2,50 m		 <p><b>Matériel de prélèvement disponible (inox)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Drague à main</li> <li>Carottier manuel inox 2 m</li> <li>Carottier manuel altuglas 1.6 m</li> <li>Benne preneuse type Van Veen</li> </ul>	
Prélèvement des échantillons selon le plan initial établi auparavant (cf plan de situation)			
Echantillon	Photo	Observations / Structure	
<b>Réf échantillon</b> : Ep1a  <b>Méthode de prélèvement</b> : Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)		Pollution visible : - Débris végétaux : Peu Odeur : Aucune Couleur : Sable blanc/jaune Hauteur de la carotte : - Divers :	
<b>Réf échantillon</b> : Ep1b  <b>Méthode de prélèvement</b> : Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)		Pollution visible : - Débris végétaux : Peu Odeur : Aucune Couleur : Sable blanc/jaune Hauteur de la carotte : - Divers :	
<b>Réf échantillon</b> : Ep1c  <b>Méthode de prélèvement</b> : Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)		Pollution visible : - Débris végétaux : - Odeur : Aucune Couleur : Sable blanc/jaune Hauteur de la carotte : - Divers :	
<b>Réf échantillon</b> : Ep2a  <b>Méthode de prélèvement</b> : Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)		Pollution visible : - Débris végétaux : - Odeur : Aucune Couleur : Sable blanc/jaune Hauteur de la carotte : - Divers :	

<p>Réf échantillon : Ep2b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep2c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep3a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep3b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep3c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep4a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep4b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sable blanc/jaune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep4c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon : Ep5a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep5b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep5c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 55 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep6a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 40 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep6b</p> <p>Méthode de prélèvement:</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 45 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon:Ep6c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 60 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep7a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 65 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep7b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>

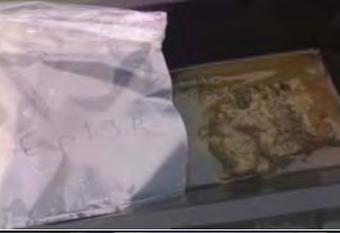
<p>Réf échantillon : Ep7c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 55 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon : Ep8a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 60 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep8b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 30 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep8c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep10a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep10b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep10c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep11a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep11b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep11c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep12a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep12b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>40 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	40 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	40 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep12c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep13a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep13b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep13c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>50 cm</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	50 cm	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	50 cm													
Divers :														

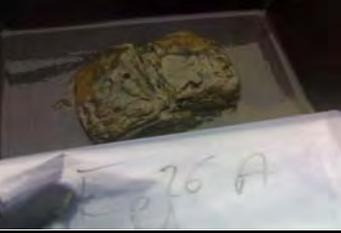
<p>Réf échantillon: Ep14a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep14b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep14c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep15a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep15b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep15c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep16a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep16b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep16c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Tarrière manuelle</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : 1 m</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Tarrière manuelle</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : 1 m</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17d</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 60 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17e</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun / gris</p> <p>Hauteur de la carotte : 60 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17f</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 60 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17g</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 40 cm</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep17h</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier manuel</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 45 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17i</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage manuel)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17j</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage manuel)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17k</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sables + vases Brunes</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep17l</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Sables : carottage impossible)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Sables + vases Brunes</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep18a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep18b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep18c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep19a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep19b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep19c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep20a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep20b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep20c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep21a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep21b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														

<p>Réf échantillon: Ep21c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep22a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep22b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep22c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Cailloux et terre brune</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Cailloux et terre brune	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Cailloux et terre brune													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep23a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep23b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep23c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep24a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														

<p>Réf échantillon: Ep24b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : 50 cm</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep24c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep25a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Cailloux et terre brune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep25b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Cailloux et terre brune</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep25c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep26a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep26b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep26c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep27a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep27b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep27c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep28a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep28b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep28c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep29a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep29b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep29c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep30a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep30b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep30c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep31a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep31b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep31c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep32a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														

<p>Réf échantillon: Ep32b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep32c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep33a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep33b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep33c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep34a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep34b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep34c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

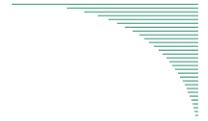
<p>Réf échantillon: Ep35a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep35b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep35c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep36a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep36b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep36c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible Appareil photo déchargé</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep37a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep37b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep37c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep38a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep38b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep38c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep39a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep39b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep39c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														
<p>Réf échantillon: Ep40a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Carottier à chute libre</p>		<table border="1"> <tr><td>Pollution visible :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Débris végétaux :</td><td>Peu</td></tr> <tr><td>Odeur :</td><td>Aucune</td></tr> <tr><td>Couleur :</td><td>Marron / Brun</td></tr> <tr><td>Hauteur de la carotte :</td><td>-</td></tr> <tr><td>Divers :</td><td></td></tr> </table>	Pollution visible :	-	Débris végétaux :	Peu	Odeur :	Aucune	Couleur :	Marron / Brun	Hauteur de la carotte :	-	Divers :	
Pollution visible :	-													
Débris végétaux :	Peu													
Odeur :	Aucune													
Couleur :	Marron / Brun													
Hauteur de la carotte :	-													
Divers :														

<p>Réf échantillon: Ep40b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep40c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (Hauteur d'eau trop importante pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Peu</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron / Brun</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep41a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>-</p>	<p>Prélèvement impossible</p> <p>Pas de sédiments (Substratum rocheux)</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : -</p> <p>Couleur : -</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep41b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>-</p>	<p>Prélèvement impossible</p> <p>Pas de sédiments (Substratum rocheux)</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : -</p> <p>Couleur : -</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep41c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>-</p>	<p>Prélèvement impossible</p> <p>Pas de sédiments (Substratum rocheux)</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : -</p> <p>Odeur : -</p> <p>Couleur : -</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep42a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep42b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep42c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

<p>Réf échantillon: Ep43a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep43b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep43c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep44a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep44b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep44c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep45a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep45b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>

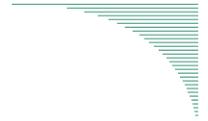
<p>Réf échantillon: Ep45c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Nombreux</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep46a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>	<p>Pas de photographie disponible</p>	<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep46b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep46c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep47a</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep47b</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>
<p>Réf échantillon: Ep47c</p> <p>Méthode de prélèvement :</p> <p>Benne Van Veen (débris végétaux trop nombreux pour carottage)</p>		<p>Pollution visible : -</p> <p>Débris végétaux : Oui</p> <p>Odeur : Aucune</p> <p>Couleur : Marron</p> <p>Hauteur de la carotte : -</p> <p>Divers :</p>



## ANNEXE IV

# RÉSULTATS DE LA CONTRE-EXPERTISE RÉALISÉE PAR LE LABORATOIRE DE L'IDAC

Paramètres	Ep17e Toit		Ep17h Toit	
	Eurofins	IDAC	Eurofins	IDAC
Matière sèche	52,7	52,1	49,1	49,8
Arsenic	< 1	5,53	< 1	5,82
Cadmium	9,68	6,98	3,06	3,37
Chrome	125	153	49,3	52
Cuivre	99,7	121	73,7	87
Mercuré	0,1	0,1	0,14	0,12
Nickel	62,8	75	68,3	74
Plomb	29,6	44	33,5	40
Zinc	363	332	234	246
Fer	10800	20273	11 700	19842
Manganèse	160	231	140	188
Phosphore	900	1270	924	1320



## ANNEXE V

# COMPORTEMENT ET CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES CONTAMINANTS MÉTALLIQUES

---

## ARSENIC

---

### Origines naturelles :

L'arsenic est présent particulièrement dans les roches, desquelles il est redistribué dans le compartiment aquatique par l'érosion des roches, les phénomènes de lessivage, les réactions d'oxydoréductions et les précipitations. D'autres sources naturelles telles que l'activité volcanique et les feux de forêts peuvent entraîner des émissions additionnelles. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments marins : <15mg/kg
- Eaux douces : <10 µg/L
- Eaux marines : <3µg/L

### Origines anthropiques :

L'arsenic et ses composés se trouvent dans de très nombreuses applications industrielles : fabrications d'alliages, fonderies de métaux non ferreux, traitement du bois, microélectronique, textile, mais encore dans des applications agricoles, par exemple dans les pesticides ainsi que dans la combustion d'énergies fossiles.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Solubilité variable : de très soluble à quasiment insoluble ;
- Dans les eaux naturelles : arsenic inorganique prédominant ;
- Dans les eaux bien aérées : Arsénates (As V) largement majoritaires ;
- En milieux réducteurs :  $H_3AsO_3$ , forme la plus stable ;
- Globalement, dérivés pentavalents plus solubles que dérivés trivalents.

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Mobilité assez limitée ;
- L'activité microbologique est responsable de son relargage (dissolution possible d'hydroxydes) ;
- Forme la plus mobile : As V ;
- Principalement sous forme oxydée ;
- Sol aéré : As III majoritaires ;
- Sol réducteur : Transformation de l'arsénate en arsénite voir en arsines.

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Très variable
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle ou négligeable sauf pour les formes organiques (moyenne)
<i>BIODEGRADABILITE</i>	Faible ou nulle
<i>BIOCONCENTRATION / BIOACCUMULATION</i>	Algue : faible Daphnie: faible Ver marin: faible Poissons : nulle ou négligeable à moyenne
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle ou négligeable

---

## CADMIUM

---

### Origines naturelles :

Le cadmium est un élément relativement rare et n'existe pas naturellement à l'état natif. Il est présent dans la croûte terrestre à des concentrations d'environ 1 à 2 ppm, où il est souvent associé au zinc et au plomb.

### Origines anthropiques :

Le Cadmium est un composé répandu dans de nombreuses applications industrielles : sous-produit du raffinage du plomb et du cuivre, combustion du charbon et des produits pétroliers.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Cadmium à l'état métallique très peu soluble ;
- Mobilité relative en milieu aquatique avec l'augmentation de la salinité formation de chlorocomplexes  $CdCl_2$  et  $CdCl^+$ .

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Forte capacité d'adsorption ;
- Accumulation dans les horizons de surface, riches en MO ;
- La salinité joue aussi un rôle dans la biodisponibilité du cadmium, provoquant un phénomène de désorption ;
- Présent aussi sous forme soluble dans l'eau interstitielle ;
- En milieu anoxique, le cadmium est immobilisé par les sulfures.

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Forte en eaux douces Faibles en eaux de mer
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle ou négligeable
<i>BIODEGRADABILITE</i>	Faible voir nulle
<i>BIOCONCENTRATION / BIOACCUMULATION</i>	Algues : forte Moules : forte Invertébrés : forte Crustacés : nulle ou négligeable Poissons : faible à moyen
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle ou négligeable

---

## Cuivre

---

### Origines naturelles :

Le cuivre existe à l'état natif dans l'écorce terrestre, mais se rencontre surtout sous forme de sulfures CuS et Cu<sub>2</sub>S à des concentrations estimées à environ 70 mg/kg. Les émissions dans l'environnement peuvent avoir une origine naturelle (érosion, volcanisme, végétation) mais les principaux apports sont anthropiques. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments : <50mg/kg
- Eaux douces : 1 à 10µg/L
- Eaux marines : <0,25 µg/L

### Origines anthropiques :

Les principales sources anthropiques sont : l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion d'énergies fossiles, la fabrication de fertilisants (phosphates).

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Les formes CuSO<sub>4</sub>, CuOH<sub>2</sub> et CuCl<sub>2</sub> sont solubles dans l'eau ;
- Comportement influencé par de nombreux paramètres : complexation avec des ligands organiques ou minéraux, adsorption sur des oxydes métalliques, des argiles ou des matières organiques particulières...

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Présent majoritairement sous la forme d'états d'oxydation I ou II, sous forme de sulfures, sulfates, carbonates, oxydes et sous forme native minérale ;
- Comme le cadmium, il subit en effet un phénomène de désorption avec l'augmentation de la salinité (formation de CuCl<sub>2</sub> dissous) ;
- Cuivre plus soluble et plus mobile pour des pH inférieurs à 5 ;
- Faible migration en profondeur, concentration majoritaire dans les horizons supérieurs des sols.

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Fortes en eaux douces à nulle ou négligeable en eaux de mer
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle ou négligeable
<i>BIODEGRADATION</i>	Faible voir nulle
<i>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</i>	Plancton : moyen Carpes : nulle ou négligeable Poissons : faible
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle ou négligeable

---

## Plomb

---

### Origines naturelles :

Cet élément est présent naturellement dans le sol et dans tous les compartiments de la biosphère. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments :  $1,8 \cdot 10^{-4}$  à  $4 \cdot 10^{-4}$  mg/kg
- Eaux douces de surface : 1 à 10 µg/L
- Eaux de mer : < 50 ng/L

### Origines anthropiques :

Les émissions majeures de Plomb sont d'origine anthropique : production et utilisation dans les batteries, alliages, pigments... Des industries de première et seconde fusion du plomb.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Composés halogénés et acétates de plomb plus solubles que composés inorganiques ;
- Peu solubles dans l'eau, les concentrations en phase dissoute sont donc en général très faibles ;

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Demeure insensible à la désorption lors de l'augmentation de la salinité ;
- Mobilité faible d'où accumulation dans les horizons de surface (forte affinité avec la matière organique) ;

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Forte en eaux douces et décroît avec la salinité
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle
<i>BIODEGRADATION</i>	Faible ou nulle
<i>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</i>	Phytoplanctons marins : moyen Plantes aquatiques : faible Invertébrés : moyen à fort Moules marines : faible Poissons : faible à moyen
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle

---

## CHROME

---

### Origines naturelles :

Le Chrome est naturellement présent dans la croûte terrestre, principalement sous forme de Chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). Les émissions peuvent avoir une origine naturelle (érosion). Seuls les composés Chrome III (trivalents) sont détectés dans l'environnement en quantités significatives. Bruits de fond biogéochimique :

- Sédiments : <100mg/kg
- Eaux douces : 1 à 10 $\mu\text{g/L}$

### Origines anthropiques :

Le chrome fait partie des métaux les plus utilisés (10 millions de tonnes/an) dans le monde (industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires). La majeure partie du chrome parvenant à la mer depuis le continent provient des fleuves, l'atmosphère constituant une source beaucoup moins importante. Le Chrome VI (hexavalent) est la plupart du temps introduite par les activités industrielles.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- La fraction dissoute du chrome (complexes de chrome III ou VI) est généralement très faible ;
- Le chrome VI est très rapidement réduit par les sulfures et le fer en conditions anaérobies ;
- Le Cr III est généralement sous forme particulaire, adsorbé sur l'argile, les matières organiques ou les oxydes de fer. La majorité du chrome libéré dans l'eau se retrouve donc dans les sédiments.

#### ⇒ Dans les sols :

- La majeure partie du chrome présent dans les sols ne se dissout pas facilement dans l'eau ;
- Facile transformation du chrome VI en chrome III dans les sédiments.

<b>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</b>	Cr III forte Cr VI moyenne		
<b>PERSISTANCE</b>	Infinie		
<b>VOLATILITE</b>	Nulle ou négligeable		
<b>BIODEGRADATION</b>	Faible voir nulle		
<b>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</b>	Algues planctoniques Huitres Moules Poissons	<b>Cr III</b> Forte Nulle Moyenne Faible	<b>Cr VI</b> Forte Faible Forte Nulle
<b>BIOMAGNIFICATION</b>	Nulle		

---

## ZINC

---

### Origines naturelles :

Le zinc est naturellement présent dans les roches magmatiques, les sédiments argileux et les schistes de la croûte terrestre, principalement sous forme de blende. Les principales sources d'émissions naturelles sont : le transport par le vent des particules du sol, les éruptions volcaniques, les feux de forêts, les émissions d'aérosols marins. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments : 70 à 140 mg/kg
- Eaux douces : 10µg/L
- Eaux de rivières : <1µg/L

### Origines anthropiques :

Les apports anthropiques du zinc résultent de trois sources principales : l'activité minière et industrielle (traitement des minerais, raffinage...), l'épandage agricole et d'autres sources telles que les activités urbaines et le trafic routier.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Spéciation très complexe dépendant de nombreux facteurs (pH, matière organique dissoute, potentiel d'oxydoréduction) ;
- Le chlorure de zinc et le sulfate de zinc sont très solubles dans l'eau, mais nécessitent un pH faible pour maintenir le zinc en solution.

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Forme présente majoritairement : zinc à l'état d'oxydation +2 ;
- Accumulation à la surface des sols, faible migration en profondeur ;
- pH élevé : meilleur adsorption et possible complexation avec le MO
- L'augmentation de la salinité entraîne une désorption du zinc ;
- Mobilité limitée par un faible taux de dissolution.

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Forte en eaux douces et nulle en eaux de mer
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle ou négligeable
<i>BIODEGRADATION</i>	Faible voir nulle
<i>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</i>	Poissons : moyen Ormeaux : faible
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle ou négligeable

---

## Nickel

---

### Origines naturelles :

Le nickel représente 0,8 à 0,9 % de la croûte terrestre. Il est présent dans divers minerais : la Chalcopryrite, la Pentlandite, la Garniérite et secondairement la Niccolite et la Millerite. Les émissions naturelles proviennent principalement de l'érosion et du volcanisme. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments : <20mg/kg
- Eaux douces : 10 µg/L
- Eaux de mer : 0,5 µg/L

### Origines anthropiques :

Les principales sources anthropiques sont la combustion de charbon ou de fuel, l'incinération des déchets, l'épandage des boues d'épuration, l'extraction et la production de nickel, la fabrication de l'acier, le nickelage et les fonderies de plomb.

### Comportement :

#### ⇒ Dans l'eau :

- Essentiellement adsorbés sur les matières en suspension et les sédiments ;
- La salinité augmente le nickel dissous, formation des chlorocomplexes stables.

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Adsorbée il devient très peu mobile ;
- Mobilité augmente à pH faible.

<i>ADSORPTION SUR LES MES / SEDIMENTS</i>	Forte en eaux douces (adsorption sur oxydes de fer, d'aluminium, de manganèse ou sur minéraux argileux)
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Nulle ou négligeable
<i>BIODEGRADATION</i>	Faible voir nulle
<i>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</i>	Algues eau douce : moyen Plantes eau douce : faible Daphnies : moyen Moules, huitres : faible Poisson : nulle ou négligeable
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Nulle ou négligeable

---

## MERCURE

---

### Origines naturelles :

Élément rare de la croûte terrestre, présent surtout sous forme de sulfure (cinabre), chlorure et à l'état natif (élémentaire). Distribution universelle dans la biosphère, d'origine naturelle (volcans, érosion, dégazage océanique) mais surtout du fait des activités humaines historiques. Circulation atmosphérique planétaire, due à la forte volatilité du mercure. Bruits de fond biogéochimiques :

- Sédiments (moyenne Europe) : < 0,4 mg/kg
- Eaux douces : 1 à 20 ng/L
- Eaux Méditerranéennes : 0,1 ng/L

### Origines anthropiques :

Les principales sources anthropiques de contamination pour l'environnement sont : la combustion du charbon et du fuel (plus de 50% du total des émissions), l'industrie minière et métallurgique (Hg, Pb et Zn) ou bien encore la fabrication du chlore et de la soude (mercure métal catalyseur).

### Comportement :

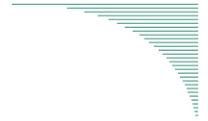
#### ⇒ Dans l'eau :

- L'adsorption sur les matières en suspension et les sédiments est très forte ;
- Le mercure élémentaire est quasiment insoluble dans l'eau.

#### ⇒ Dans les sédiments :

- Particularités, il subit, des réactions de méthylation / déméthylation par voie abiotique ou biotique ;
- Rapidement immobilisé (par les oxydes de fer, d'aluminium et le manganèse et surtout par la matière organique), il a tendance à rester dans les horizons de surface.

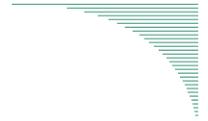
<i>ADSORPTION SUR LES MES / LES SEDIMENTS</i>	Très Forte en eau douce comme en eau de mer
<i>PERSISTANCE</i>	Infinie
<i>VOLATILITE</i>	Moyenne à forte
<i>BIODEGRADATION</i>	Susceptible d'évoluer (méthylation / déméthylation)
<i>BIOACCUMULATION / BIOCONCENTRATION</i>	Algues : forte Macro-invertébré : forte Poisson : forte
<i>BIOMAGNIFICATION</i>	Forte



## ANNEXE VI

# PARAMÈTRES ET SOURCES DES DONNÉES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION

PARAMETRES DE MODELISATION	Amont de la Sélune	Yvrande	Vezins	Roche qui Boit	Sources
<b>Modèle de partition sédiment/eau/biote (SEDISOIL)</b>					
pH	7,1	7,3	6,3	6,9	Analyse
Fraction moyenne de carbone organique total (%)	3,2	2,7	6,5	4,8	
Fraction moyenne < 63µm du sédiment (%)	65	90	93	88	
Masse volumique du sédiments (kg/l)	1,48	1,57	1,26	1,39	
Fraction volumique d'eau du sédiment (%)	59	46	79	70	
Concentration en MES dans l'eau (mg/l)	44,0	9,5			Suivi ARS
Fraction en lipide des poissons (-)	0,5				SEDISOIL, 2001
<b>Equations de perte par érosion hydrique</b>					
Surface de sol (m²)	683500	28480	849400	224900	Site
Facteur d'érosivité des pluies (an-1)	40	40	40	40	Neboit, 1991
Facteur d'érodabilité des sols (T/an)	0,42	0,42	0,42	0,42	US-EPA, 1985
Facteur d'état du sol (-)	0,1	0,1	0,1	0,1	INERIS, 2010
Facteur antiérosif du terrain (-)	1	1	1	1	INERIS, 2010
Inclinaison de la pente (%)	15	20	26	20	Site (bathy, MNT)
Hauteur moyenne de la pente (m)	8	7	26	10	
Longueur moyenne de la pente (m)	53	35	100	50	
Facteur d'inclinaison (-)	26,5	41,8	65,9	41,8	
Facteur de longueur de pente (-)	0,14	0,12	0,19	0,14	
<b>Equation de perte par lixiviation</b>					
Surface de sol (m²)	683500	28480	849400	224900	Site (MNT)
Hauteur moyenne de sol (m)	1	1	1	1	
Masse volumique du sol (kg/m³)	1480	1570	1260	1390	Analyse
Flux de lixiviation (m/s)	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	Cfg, 2003
<b>Coefficients de partage et bioconcentration</b>		<b>Kd<sub>sol</sub> (m³/kg)</b>	<b>Source</b>	<b>BCF<sub>poisson</sub> (-)</b>	<b>Source</b>
Arsenic		1,58	US-EPA, 2005	50	SEDISOIL, 2001
Cadmium		0,50		100	
Chrome		6,31		200	
Cuivre		0,32		1000	
Mercur		3,98		1000	
Nickel		0,79		200	
Plomb		5,01		5000	
Zinc		0,50		10000	
<b>PARAMETRES D'EXPOSITION</b>					
<b>Ingestion d'eau de surface</b>					
Quantité d'eau ingérée accidentellement par l'heure de baignade (ml/h)		50	25	INVS, 2000	
Temps passé à pratiquer une activité aquatique (min de baignade/j)		90	60	CIBLEX, 2003	
<b>Ingestion de poissons et mollusques</b>					
Quantité moyenne journalière ingérée de produits de la mer / rivière (g/j)		38	27	CIBLEX, 2003	
<b>Ingestion de poussières de sols</b>					
Quantité moyenne de sol ingérée par jour (g/j)		0,05	10 (Pica)	INVS, 2000	
Temps passé à pratiquer une activité de promenade (min/j)		46	85	CIBLEX, 2003	
<b>Inhalation de poussières de sols</b>					
Fraction de poussières retenues dans les poumons (-)		0,75		RIVM, 2004	
Masse des poussières dans 1 m³ d'air extérieur (µg/m³)		70			
Fraction de sol contaminé dans les MES d'air extérieur (-)		0,5			
Temps passé à pratiquer une activité de promenade (min/j)		46	85	CIBLEX, 2003	
<b>Autres paramètres</b>					
Age (ans)		[7 - 70]	[0 - 6]	CIBLEX, 2003	
Masse corporelle (kg)		70	30	CIBLEX, 2003	
Durée d'exposition (années)		30	6	US-EPA, 1997	



## ANNEXE VII

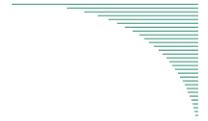
# RÉSULTATS DES CALCULS D'ÉROSION ET DE LIXIVIATION EN PHASE D'EFFACEMENT

PERTE PAR EROSION (HYDRIQUE)

Concentration dans l'eau		Vezins amont (9,897m3/s)				Yvandre (0,165m3/s)				Vezins (9,897m3/s)				La Roche (9,897m3/s)			
		Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90
Cadmium	mg/l	1,1E-06	5,5E-07	1,0E-06	1,7E-06	3,3E-05	7,2E-06	1,7E-05	6,1E-05	1,2E-05	8,4E-06	1,0E-05	1,9E-05	1,1E-06	9,2E-07	1,1E-06	1,4E-06
Chrome	mg/l	3,6E-05	1,8E-05	3,6E-05	4,8E-05	5,6E-04	1,3E-04	2,6E-04	1,2E-03	2,8E-04	2,4E-04	2,8E-04	3,1E-04	2,3E-05	1,9E-05	2,3E-05	2,6E-05
Cuivre	mg/l	2,3E-05	8,7E-06	2,4E-05	3,4E-05	3,6E-04	8,2E-05	3,1E-04	7,3E-04	2,1E-04	1,7E-04	2,1E-04	2,3E-04	1,5E-05	1,3E-05	1,4E-05	1,9E-05
Nickel	mg/l	3,9E-05	1,9E-05	3,7E-05	5,7E-05	3,3E-04	1,2E-04	2,8E-04	5,4E-04	3,0E-04	2,5E-04	3,1E-04	3,4E-04	2,7E-05	2,3E-05	2,5E-05	3,2E-05
Zinc	mg/l	1,6E-04	1,1E-04	1,6E-04	2,2E-04	1,5E-03	5,9E-04	1,2E-03	3,2E-03	1,2E-03	8,9E-04	1,2E-03	1,4E-03	9,6E-05	8,3E-05	9,7E-05	1,1E-04

PERTE PAR LIXIVIATION

Concentration dans l'eau		Vezins amont (9,897m3/s)				Yvandre (0,165m3/s)				Vezins (9,897m3/s)				La Roche (9,897m3/s)			
		Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90	Moyenne	P10	P50	P90
Cadmium	mg/l	1,1E-06	5,2E-07	9,6E-07	1,6E-06	2,5E-05	5,3E-06	1,2E-05	4,5E-05	3,1E-06	2,2E-06	2,7E-06	4,9E-06	6,7E-07	5,5E-07	6,4E-07	8,3E-07
Chrome	mg/l	2,8E-06	1,5E-06	2,8E-06	3,8E-06	3,4E-05	7,9E-06	1,6E-05	7,6E-05	6,4E-06	5,5E-06	6,4E-06	7,1E-06	1,2E-06	9,8E-07	1,2E-06	1,3E-06
Cuivre	mg/l	3,2E-05	1,2E-05	3,4E-05	4,9E-05	4,0E-04	9,2E-05	3,5E-04	8,2E-04	8,0E-05	6,6E-05	8,3E-05	8,8E-05	1,3E-05	1,1E-05	1,2E-05	1,7E-05
Nickel	mg/l	2,3E-05	1,2E-05	2,3E-05	3,5E-05	1,6E-04	5,6E-05	1,3E-04	2,6E-04	5,1E-05	4,3E-05	5,4E-05	5,8E-05	1,0E-05	8,9E-06	9,8E-06	1,2E-05
Zinc	mg/l	1,5E-04	1,0E-04	1,5E-04	2,1E-04	1,1E-03	4,4E-04	8,8E-04	2,4E-03	3,1E-04	2,3E-04	3,0E-04	3,5E-04	5,7E-05	4,9E-05	5,7E-05	6,4E-05



## ANNEXE VIII

# CIRCULAIRE MODALITÉS DE SÉLECTION DES SUBSTANCES CHIMIQUES ET DE CHOIX DES VTR

## **Circulaire DGS/SD. 7B n° 2006-234 du 30/05/06 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact**

**NOR : SANP0630270C**

Date d'application : immédiate.

Références :

Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie ;

Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature codifiée dans le code de l'environnement en [article L. 123-3](#) ;

Loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement : article 1er codifié dans le code de l'environnement en [article L. 511-1](#) ;

Décret n° 2003-767 du 1er août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 sur les études d'impact pris pour l'application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et le décret n° 85-453 du 23 avril 1985 pris pour l'application de la loi du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement ;

Décret n° 2000-258 du 20 mars 2000 modifiant le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Le ministre de la santé et des solidarités à Mesdames et Messieurs les préfets de région, Mesdames et Messieurs les préfets de département, Mesdames et Messieurs les directeurs régionaux et départementaux des affaires sanitaires et sociales (pour instruction).

Les questions concernant la pertinence des substances sélectionnées pour mener l'évaluation des risques sanitaires ainsi que le choix des valeurs toxicologiques de référence par le pétitionnaire sont posées de façon récurrente par les services déconcentrés des DDASS amenés à donner leur avis sur les effets sanitaires liés aux projets relevant d'études d'impact. Les services déconcentrés en charge de l'instruction de ces études d'impact (DRIRE, DIREN et DDE) interrogent également mes services sur ces points.

Dans un premier temps je vous rappelle qu'au sein de l'étude d'impact une meilleure appréciation des effets sur la santé est un des éléments permettant :

- de justifier la décision publique sur le projet ;
- de proposer des mesures complémentaires de réduction des émissions ou de justifier la solution retenue, parmi d'autres possibles ;
- de contribuer à l'amélioration de l'information du public sur les risques sanitaires encourus et donc de permettre un débat contradictoire.

Dans ce contexte, l'avis de la DDASS porte sur l'étude d'impact dans son ensemble. Il prend en compte la qualité du recensement des dangers (inventaire exhaustif et détaillé des émissions), la qualité de la sélection des agents, la qualité de l'évaluation de l'exposition des populations présentées par le pétitionnaire, les résultats de la caractérisation des risques sanitaires imputables à l'installation et déjà présents sur la zone d'impact du projet ainsi que la discussion critique des principales conclusions, les mesures effectives de réduction pour les polluants toxiques et de surveillance du site (émissions, milieux voire populations) proposées par le pétitionnaire ainsi que la présentation des risques sanitaires aux populations.

L'appréciation des effets sur la santé repose donc en partie sur la quantification des risques sanitaires, mais l'enjeu majeur est d'apprécier si la quantification du risque faite sur un nombre restreint de substances est un bon reflet de l'impact de la situation analysée. Par ailleurs, lorsque la quantification des risques ne peut être menée à son bout, l'absence de calcul ne doit pas empêcher les pouvoirs publics de prendre, le cas échéant, des mesures de gestion appropriées.

Parmi les 4 étapes classiquement décrites de la démarche d'évaluation des risques (identification des dangers, relations dose/réponse, exposition des populations et caractérisation des risques), c'est la combinaison des trois premières qui permet d'argumenter la sélection des substances à prendre en compte dans l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

Ainsi, je vous demande de vérifier que la sélection des substances repose sur les quatre étapes suivantes :

**1.** Dans un premier temps, sur la fourniture d'un inventaire qualitatif le plus complet possible des substances présentes sur le site (substances stockées, produites, émises). Cette étape est préalable à l'évaluation des risques sanitaires et repose notamment sur les autres parties de l'étude d'impact. La première vérification s'effectue en regardant si le pétitionnaire a bien pris en compte l'ensemble des catégories de produits stockés, utilisées sur le site et les connaissances scientifiques actuelles sur les substances générés par ses process. Dans la mesure où ces éléments n'apparaîtraient pas de façon explicite dans l'étude d'impact, je vous conseille de vous rapprocher des services en charge de l'instruction des études d'impact (DRIRE, DIREN et DDE) qui doivent examiner plus particulièrement ce point du fait de leur compétence sur les techniques et sur les installations soumises à études d'impact.

**2.** Dans un deuxième temps, c'est le potentiel d'exposition qui est apprécié par le pétitionnaire ; c'est-à-dire l'identification de transferts possibles dans les compartiments environnementaux et la possibilité pour ces compartiments de devenir des vecteurs d'exposition pour les populations, l'existence d'un effet néfaste sur la santé pour la voie d'exposition constatée et la présence ou non d'une population exposée par cette voie. A ce stade une deuxième sélection s'opère, éliminant les substances pour lesquelles aucune exposition n'est attendue. Il n'y a alors aucune raison de dérouler la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires pour celles-ci.

**3.** Dans un troisième temps, le pétitionnaire doit classer les substances restantes dans différentes catégories :

- celles pour lesquelles, pour un effet critique et une voie d'exposition donnée, les informations sur la relation dose/réponse et le facteur d'émission sont disponibles et donc pour lesquelles une quantification du risque est possible ;
- celles pour lesquelles seule une information toxicologique ou d'exposition est disponible : la quantification du risque n'est alors pas possible ; toutefois, lorsque le manque d'information est d'ordre toxicologique mais qu'un niveau d'exposition peut être mesuré, il peut être pertinent de comparer ladite exposition à d'autres valeurs d'exposition (par exemple, le n-butanol, irritatif naso-respiratoire et oculaire ne dispose pas de VTR pour la voie d'inhalation, la concentration d'exposition peut alors être comparée à celle définie comme valeur limite en milieu professionnel mais il n'y aura pas de quantification du risque sanitaire) ;

- celles pour lesquelles il y a un manque total d'information et pour lesquelles la quantification du risque est bien évidemment impossible.

**4.** Dans un quatrième temps une sélection complémentaire (non obligatoire) peut être menée par le pétitionnaire au sein de la première catégorie décrite au point 3 en fonction de critères de faisabilité tels que la capacité de détection d'une substance ou le délai d'obtention des résultats par exemple. Dans ce cas, je vous demande de vérifier qu'ont été privilégiées, dans la sélection, les substances pour lesquelles un niveau de risque élevé est attendu d'après la sévérité des effets (intensité, curabilité, réversibilité), les substances cancérigènes classées I par le CIRC "cancérigène certain pour l'homme", l'importance de la contamination attendue du milieu par rapport au bruit de fond, les niveaux d'exposition, la fréquence d'exposition, le nombre de personnes susceptibles d'être exposées, l'attente sociale si celle-ci est compatible avec les substances utilisées, stockées ou générées par le processus industriel.

Ces quatre temps ont le mérite d'explicitier les choix faits dans la conduite de l'évaluation des risques sanitaires. Ils mettent en évidence les différentes incertitudes liées aux défauts d'exhaustivité dans l'identification des substances, aux lacunes de connaissance, à la sélection de substances. Je vous demande de vous assurer que l'impact de ces choix sur les résultats finaux de l'évaluation des risques sanitaires est discuté.

#### **Le choix des valeurs toxicologiques de référence**

En préambule, il est important de préciser, suite au retour d'expériences actuel, que les conséquences de ce choix sur les résultats de l'évaluation quantitative des risques sanitaires sont en général moindres que celles liées à la phase de sélection des substances lorsqu'il y a sélection.

Dans le cadre des études d'impact, je souhaite que soit privilégiée la mise en oeuvre de méthodes faisant l'objet d'un consensus au développement de procédures spécifiques qui, relevant d'une expertise approfondie et d'un travail transdisciplinaire, ne peuvent être mises en place dans l'élaboration de ces dossiers. Dans certains dossiers, la construction de VTR a conduit à des estimations des risques encourus. Ainsi, les règles suivantes concernant l'utilisation des valeurs toxicologiques de référence doivent être respectées.

Trois cas de figure se présentent :

**1.** Aucune valeur toxicologique de référence n'est recensée pour une substance chimique dans l'une des 6 bases de données étrangères nationales ou internationales (US-EPA (United States - Environmental Protection Agency - <http://www.epa.gov/iris/>) ATSDR (United States - Environmental Protection Agency - <http://www.epa.gov/iris/>), l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)/IPCS (International Program on Chemical Safety - <http://www.inchem.org>), Health Canada ([http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/ps11-lsp1/index\\_e.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/ps11-lsp1/index_e.html)), RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institut national de la santé publique et de l'Environnement (Pays-bas) <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>) et OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment (antenne californienne de l'US-EPA) <http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB/index.asp>). En l'absence de VTR pour cette substance, une quantification des risques n'est pas envisageable même si les données d'exposition sont exploitables. Cette situation n'interdit pas le pétitionnaire, ni vous-même à la lecture du dossier, sur la base de données qualitatives (potentiel de danger...) de proposer des mesures techniques appropriées de réduction des émissions.

Dans le cadre des études d'impact, je vous demande de vérifier que le pétitionnaire s'est abstenu de toute utilisation d'autres valeurs telles que :

- une valeur toxicologique publiée dans la littérature, qu'elle soit issue de données expérimentales chez l'animal ou de données d'études chez l'homme. Contrairement à celles qui sont présentes dans les bases de données

cités ci-dessus, une telle valeur n'a pas suivi le même cheminement d'expertise et la confiance à lui accorder est difficile à apprécier, quelle que soit la notoriété des auteurs ; de plus, elle a souvent été établie pour un contexte très particulier et son domaine d'application ne peut être élargi.

- une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP). Construite pour une situation professionnelle, elle ne s'adapte pas à une situation de population non professionnelle car nombre de paramètres intervenant dans sa construction sont distincts, à commencer par la structure de la population (présence d'enfants et de populations fragiles) ;
- une valeur guide de qualité des milieux car aujourd'hui la plupart de ces valeurs guides reposent sur des critères sanitaires et sont donc construites à partir de VTR existantes. Il faut donc se référer à la VTR existante (cas de figure 2 ou 3).

**2.** Une seule valeur toxicologique de référence existe dans l'une des 6 bases de données US-EPA ATSDR, OMS/IPCS, RIVM, Health Canada, OEHHA. Une façon rapide de vérifier l'existence d'une VTR est de consulter le site ITER (<http://www.tera.org/iter/>) :

- si elle est retrouvée sur une base de données sous forme d'avant-projet (draft) ou de document provisoire, le pétitionnaire ne doit pas s'en servir ; je vous demande de vérifier ce point qui nous renvoie au cas de figure précédent ;
- décrite officiellement dans l'une des bases, toute VTR présentée dans un dossier doit être accompagnée au minimum du nom de la substance chimique, de son numéro CAS, de l'effet critique considéré, de sa voie d'action, de l'organisme qui l'a produit et de sa date de révision ;
- la valeur toxicologique de référence doit cependant être appropriée à la situation pour être utilisée, c'est-à-dire qu'elle doit correspondre à la durée et à la voie d'exposition auxquelles la population est confrontée ; ainsi par exemple je vous rappelle que les pétitionnaires :
- ne doivent pas utiliser une valeur toxicologique aiguë pour une exposition chronique et vice versa ;
- en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, ils ne doivent envisager aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ;
- ils ne peuvent procéder à une transposition de la VTR de la voie orale en une VTR par voie respiratoire (ou vice versa) que dans le cas où les substances engendrent un effet similaire quelle que soit la voie d'exposition. Lorsqu'ils sont disponibles, les facteurs d'absorption sont à prendre en considération dans le calcul ; à défaut, on considérera une absorption de 100 % du composé pour la voie d'exposition concernée.

**3.** Plusieurs valeurs toxicologiques de référence existent dans les bases de données (US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Health Canada, RIVM ou OEHHA) pour un même effet critique, une même voie et une même durée d'exposition. Ces VTR retrouvées pour des substances à effet à seuil, d'une part, et pour des substances à effet sans seuil, d'autre part, ont généralement le même ordre de grandeur. Par mesure de simplification, plutôt qu'un choix portant sur des éléments toxicologiques pointus, il est recommandé au pétitionnaire de sélectionner la VTR dans la première base dans laquelle elle est retrouvée en respectant la hiérarchisation suivante :

- pour les substances à effets à seuil successivement US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Health Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA ;
- pour les substances à effets sans seuil successivement US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA.

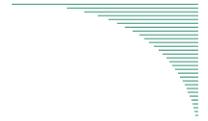
Cette simplification étant appliquée, je vous recommande de cibler votre action sur la vérification des trois points suivants :

- en ce qui concerne les substances toxiques non cancérigènes, les experts s'accordent sur l'existence d'une dose seuil nécessaire à la manifestation de l'effet sanitaire ; une valeur toxicologique de référence à seuil est donc à utiliser par le pétitionnaire ;
- s'agissant de substances cancérogènes mutagènes ou génotoxiques, les experts s'accordent sur leur mode d'action sans seuil ; une valeur toxicologique sans seuil est donc la seule utilisable par le pétitionnaire ;
- s'agissant des substances cancérigènes non génotoxiques, il est admis qu'il existe une dose seuil. Cependant le bien-fondé de cette conclusion est discuté par certains experts qui estiment que l'existence d'un seuil au niveau

cellulaire pose le problème de l'existence et de la détermination de ce seuil au niveau de l'organisme et de la population (cas de sous-populations extrêmement sensibles). Je considère donc qu'il est prudent, sur le plan scientifique, de s'en tenir à une approche pragmatique qui consiste à demander au pétitionnaire de retenir dans ce cas également une valeur toxicologique de référence sans seuil si elle existe.

Je vous demande de me faire part, sous le présent timbre, des difficultés que vous rencontrerez dans la mise en œuvre de la présente circulaire.

Le directeur général de la santé,  
Pr. D. Houssin



## ANNEXE IX

# DOSES JOURNALIÈRES D'EXPOSITION EN FONCTION DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS

PHASE 1 - DOSE JOURNALIERE D'EXPOSITION (mg/kg/j)

Scénarios	INGESTION			
	Eau de surface		Poisson	
	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes
Cadmium	1,1E-08	2,1E-08	2,9E-06	1,8E-06
Chrome III	3,2E-08	6,2E-08	1,6E-05	9,9E-06
Chrom VI	3,2E-08	6,2E-08	8,3E-07	5,0E-07
Cuivre	1,5E-07	2,9E-07	3,9E-04	2,3E-04
Nickel	4,2E-07	8,1E-07	2,2E-04	1,3E-04
Zing	2,6E-07	5,0E-07	6,7E-03	4,0E-03

PHASE 3 - DOSE JOURNALIERE D'EXPOSITION (mg/kg/j et mg/m<sup>3</sup>)

Scénarios	INGESTION						INHALATION	
	Eau de surface		Poisson		Sédiment		Poussière de sédiment	
	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes
Cadmium	2,0E-09	3,9E-09	5,2E-06	3,1E-06	1,4E-04	1,8E-07	1,1E-08	6,5E-09
Chrome III	2,1E-08	4,0E-08	1,1E-04	6,4E-05	2,4E-03	3,0E-06	1,9E-07	1,1E-07
Chrome VI	2,1E-08	4,0E-08	5,3E-07	3,2E-07	2,4E-03	3,0E-06	1,9E-07	1,1E-07
Cuivre	2,6E-08	5,1E-08	6,8E-04	4,1E-04	1,5E-03	1,9E-06	1,2E-07	7,0E-08
Nickel	1,7E-08	3,3E-08	8,8E-05	5,3E-05	1,4E-03	1,8E-06	1,1E-07	6,4E-08
Zing	8,8E-08	1,7E-07	2,3E-02	1,4E-02	6,4E-03	7,8E-06	5,0E-07	2,9E-07

PHASE 3 - DOSE JOURNALIERE D'EXPOSITION (mg/kg/j et mg/m<sup>3</sup>)

Scénarios	INGESTION DE SEDIMENT								INHALATION DE POUSSIÈRES DE SEDIMENT							
	Vezins amont		Yvrandre		Vezins		Roche qui boit		Vezins amont		Yvrandre		Vezins		Roche qui boit	
	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes	Enfant	Adultes
Cadmium	1,6E-05	1,9E-08	1,4E-04	1,8E-07	3,9E-05	4,8E-08	3,1E-05	3,8E-08	1,2E-09	7,1E-10	1,1E-08	6,5E-09	3,1E-09	1,8E-09	2,5E-09	1,4E-09
Chrome III	5,0E-04	6,1E-07	2,4E-03	3,0E-06	9,0E-04	1,1E-06	6,3E-04	7,7E-07	3,9E-08	2,3E-08	1,9E-07	1,1E-07	7,1E-08	4,1E-08	4,9E-08	2,8E-08
Chrome VI	5,0E-04	6,1E-07	2,4E-03	3,0E-06	9,0E-04	1,1E-06	6,3E-04	7,7E-07	3,9E-08	2,3E-08	1,9E-07	1,1E-07	7,1E-08	4,1E-08	4,9E-08	2,8E-08
Cuivre	3,1E-04	3,8E-07	1,5E-03	1,9E-06	6,7E-04	8,2E-07	4,1E-04	5,1E-07	2,5E-08	1,4E-08	1,2E-07	7,0E-08	5,3E-08	3,0E-08	3,2E-08	1,9E-08
Nickel	5,4E-04	6,6E-07	1,4E-03	1,8E-06	9,8E-04	1,2E-06	7,4E-04	9,0E-07	4,2E-08	2,4E-08	1,1E-07	6,4E-08	7,7E-08	4,4E-08	5,8E-08	3,3E-08
Zing	2,2E-03	2,7E-06	6,4E-03	7,8E-06	3,9E-03	4,8E-06	2,6E-03	3,2E-06	1,8E-07	1,0E-07	5,0E-07	2,9E-07	3,1E-07	1,8E-07	2,1E-07	1,2E-07