



**HAL**  
open science

# Impacts des opérations de dragage de sédiments continentaux sur la qualité physicochimique des milieux aquatiques

Rodrigue Mackosso, Francis Guillot, Benoît Hazebrouck, Anne Benard, Didier Granier, Hugues Biaudet

► **To cite this version:**

Rodrigue Mackosso, Francis Guillot, Benoît Hazebrouck, Anne Benard, Didier Granier, et al.. Impacts des opérations de dragage de sédiments continentaux sur la qualité physicochimique des milieux aquatiques. Onema - INERIS. 2011, 145p. hal-03950583

**HAL Id: hal-03950583**

**<https://hal.science/hal-03950583v1>**

Submitted on 21 Jan 2023

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

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

RAPPORT D'ÉTUDE

30/05/2011

DRC-11-112070-03698B

**Impacts des opérations de dragage de  
sédiments continentaux sur la qualité physico-  
chimique des milieux aquatiques**

**Participation à une campagne exploratoire de  
mesure de l'impact d'un dragage mécanique  
(substances d'intérêt émergent sur le canal de  
Lens, 2010)**





# **Impacts des opérations de dragage de sédiments continentaux sur la qualité physico-chimique des milieux aquatiques**

**Participation à une campagne exploratoire de mesure de l'impact d'un dragage mécanique (substances d'intérêt émergent sur le canal de Lens, 2010)**

**ONEMA  
Le Nadar Hall C  
5 square Félix Nadar  
94300 VINCENNES**

ONEMA, Interreg

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Rodrigue MACKOSSO, Francis GUILLOT, Benoît HAZEBROUCK, Anne BENARD, Didier GRANIER, Hugues BIAUDET

## PRÉAMBULE

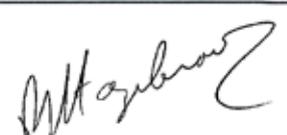
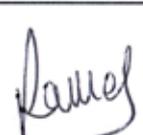
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Rodrigue MACKOSSO	Benoît HAZEBROUCK	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur de l'Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable de l'Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable du Pôle Risques et technologies durables
Visa	P.O. 		

## RESUME

Ce rapport présente la participation de l'INERIS à une campagne exploratoire de mesure d'impact d'un dragage mécanique, en l'occurrence sur le canal de Lens en 2010. En lien avec l'action n°23 de la convention ONEMA-INERIS 2010, cette étude est réalisée dans le cadre du projet Interreg GeDSeT (Gestion Durable des Sédiments Transfrontaliers) sous le pilotage de l'Ecole des Mines de Douai et en partenariat avec les Voies Navigables de France VNF, maître d'ouvrage. La campagne a porté sur trois volets :

- Qualité physico-chimique des milieux aquatiques, polluants classiques : métaux, HAP, PCB, volet réalisé par l'Ecole des Mines de Douai ;
- Qualité physico-chimique des milieux aquatiques, paramètres physico-chimiques (pH, Eh, MES,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,...) et quelques polluants prioritaires au sens de la Directive Cadre sur l'Eau ou contaminants d'intérêt émergent : polybromodiphényléthers (**PBDE**), Di-(2-éthylhexyl)phtalate (**DEHP**) et **Alkylphénols** dont le Bisphénol A, volet réalisé par l'INERIS ;
- Etat des écosystèmes et suivi écotoxicologique, volet réalisé par l'Institut Scientifique des Services Publics (ISSeP) de Wallonie.

Le volet de la campagne réalisé par l'INERIS fournit les indications suivantes quant à l'impact du dragage du Canal de Lens sur la qualité physico-chimique des eaux du canal :

- impact très probable pour les paramètres physico-chimiques mesurés : turbidité et MES, oxygène dissous et potentiel Redox, nitrate et ammonium, pH ;
- impact probable pour le DEHP (lié à la MES), observable sur 1,5 km environ, mais non significatif au regard des concentrations détectées lors de l'état initial dans le canal ou de données de la littérature. L'hypothèse d'un tel impact suppose toutefois une hypothèse (non vérifiée) d'hétérogénéité des teneurs en DEHP dans le sédiment curé ;
- impact peu probable pour les alkylphénols ;
- impact possible pour les PBDE, observable sur 1 km environ, moyennant toutefois des hypothèses (non vérifiées) d'hétérogénéité des teneurs dans le sédiment curé.

Sur la base de la stabilisation des paramètres et des indications disponibles sur les niveaux initiaux, les distances d'effet supposé du curage sont d'environ 2 à 2,5 km pour la plupart des paramètres physico-chimique (ammonium, oxygène dissous et potentiel Redox, pH), 1,5 km environ pour la turbidité, la MES et le DEHP, 1 km ou plus pour les PBDE, et 500 m pour l'ion nitrate. Cela correspond à une durée d'impact de l'ordre de 7 h à 1,5 h selon ces paramètres.

Cet impact se traduirait par :

- un déclassement local et temporaire de la qualité des eaux de bon à moyen vers médiocre à mauvais (selon les critères de classification définis par l'arrêté du 25 janvier 2010), pour les critères physico-chimiques de

classification mesurés (déclassement le plus marqué pour l'oxygène dissous et l'ammonium) ;

- pour la famille des PBDE, un franchissement de la NQE-MA (pour les congénères concernés), sur environ 400 m ;
- pour le DEHP, un dépassement des indicateurs de référence, toutefois non significatif au regard des concentrations (supérieures) détectées lors de l'état initial dans le canal ou des données bibliographiques recueillies ;
- pour les alkylphénols disposant de NQE, un dépassement des indicateurs de référence dans 2 et 9 points de mesure sur 10 pendant la phase de suivi au cours du curage (respectivement pour le 4-NPOH et le 4-ter-OP), dépassement toutefois non significatif au regard des concentrations (supérieures) détectées lors de l'état initial dans le canal ou des données bibliographiques recueillies.

Toutefois, certaines limites dans le protocole appliqué ou dans la correspondance entre résultats interdisent de conclure définitivement à un impact du curage (ou à une absence d'impact pour les alkylphénols) et *a fortiori* à une distance d'impact :

- la caractérisation initiale a été ponctuelle, et n'a pas porté sur les paramètres physico-chimiques hormis la MES.
- les apports amont et latéraux n'ont pas été caractérisés pendant le curage.
- la variabilité spatiale des concentrations en polluants dans les sédiments curés n'a pas été documentée.
- pour certains des polluants suivis par l'INERIS, les concentrations mesurées sur l'état initial se sont avérées plus élevées que pendant curage.
- les concentrations en polluants mesurées dans l'eau et dans les sédiments ne correspondent pas entre elles, compte-tenu de la MES générée par le dragage.

Cette campagne exploratoire a conduit à dresser un ensemble de recommandations méthodologiques pour le suivi de l'impact des dragages sur la qualité physico-chimique des eaux. Pour aboutir à des recommandations de gestion sur l'intérêt ou la nécessité d'un tel suivi, il faudrait croiser ces données avec des résultats d'autres campagnes et /ou portant sur d'autres paramètres, et approfondir l'évaluation en termes d'appréciation de l'importance de l'impact au regard des niveaux, des distances et des durées.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>2. PRESENTATION SUCCINCTE DE LA PROBLEMATIQUE .....</b>	<b>15</b>
<b>3. MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>17</b>
3.1 Principe - vue d'ensemble - métrologie .....	17
3.2 Dragage du Canal de Lens .....	19
<b>4. CHOIX DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET COMPORTEMENTS ATTENDUS LORS DU CURAGE .....</b>	<b>21</b>
4.1 Turbidité, MES.....	21
4.2 Potentiel redox, oxygène dissous, ammonium et nitrates, pH.....	21
<b>5. CHOIX DES SUBSTANCES D'INTERET EMERGENT ET COMPORTEMENT ATTENDU LORS DU CURAGE.....</b>	<b>25</b>
5.1 Généralités .....	25
5.2 Sélection des substances d'intérêt émergent pour l'étude .....	25
5.2.1 Méthode .....	25
5.2.2 Résultats .....	28
5.2.3 Comportement attendu des polluants d'intérêt émergent retenus, lors du curage.....	31
<b>6. RESULTATS.....</b>	<b>35</b>
6.1 Utilisation des NQE dans l'interprétation des résultats.....	35
6.2 Campagne T <sub>0</sub> avant dragage .....	36
6.2.1 Matières En Suspension (MES) .....	36
6.2.2 PBDEs.....	37
6.2.3 DEHP .....	37
6.2.4 Alkylphénols, leurs éthoxylates et bisphénol A.....	39
6.3 Campagne T <sub>1</sub> pendant dragage .....	42
6.3.1 Suivi de la colonne d'eau : variation des paramètres physico- chimiques à l'aval de l'atelier de curage.....	42
6.3.1.1 Variation de la turbidité et de la charge en MES .....	42
6.3.1.2 Variation du potentiel redox Eh et du pH.....	44
6.3.1.3 Variation de la concentration en oxygène dissous (DO).....	45
6.3.1.4 Variation des formes azotées en aval du chantier.....	46
6.3.2 PBDE, DEHP et AP dans les sédiments de curage et dans les échantillons d'eau.....	48
6.3.2.1 PBDEs.....	48
6.3.2.2 Dosage du DEHP .....	49
6.3.2.3 Dosage des Alkylphénols, de leurs éthoxylates et du bisphénol A.	50

6.3.3	Relation entre paramètres - cohérence des résultats.....	55
6.3.3.1	Concordance des teneurs entre les sédiments et la colonne d'eau	55
6.3.3.2	Coévolution de la charge en MES et des concentrations en DEHP	57
6.3.3.3	Coévolution de la charge en MES et des concentrations en Alkylphénols.....	57
6.3.3.4	Coévolution de la charge en MES et des concentrations en PBDEs	58
6.3.4	Cohérence des teneurs mesurées avec les données disponibles sur la qualité des sédiments et des eaux .....	59
<b>7.</b>	<b>DISCUSSION DE L'IMPACT DU CURAGE .....</b>	<b>63</b>
7.1	Paramètres physico-chimiques .....	63
7.2	PBDEs, DEHP et alkylphénols .....	65
<b>8.</b>	<b>RETOUR SUR LA DEMARCHE DEVELOPEE POUR LE SUIVI DU CURAGE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>69</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>LISTES DES ANNEXES .....</b>	<b>77</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Problématique du dragage des sédiments dans le canal de Lens .....	16
Figure 2: Schéma de la démarche développée pour le suivi du curage .....	18
Figure 3: Réseau des canaux de la région NPdC.....	19
Figure 4: Processus chimiques et mode d'apparition des métaux lourds, avant, pendant, et après les activités de dragage .....	23
Figure 5: Corrélations attendues entre la teneur en polluant et la MES ajoutées dans l'eau en fonction de la répartition adsorbé/dissous du polluant dans la colonne d'eau au niveau du dragage .....	33
Figure 6 : MES mesurée dans la colonne d'eau avant curage .....	36
Figure 7 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant curage.....	38
Figure 8 : Répartitions entre Alkylphénols et apparentés dans les échantillons d'eau du canal lors de la campagne T <sub>0</sub> .....	41
Figure 9 : Variation de la turbidité en aval de l'atelier de curage .....	43
Figure 10 : MES mesurée dans la colonne d'eau pendant curage .....	43
Figure 11 : Comparaison de la MES mesurée dans la colonne d'eau avant et pendant curage.....	44
Figure 12 : Variation du potentiel redox en aval du chantier de curage.....	44
Figure 13 : Variation du pH en aval du chantier de curage.....	45
Figure 14 : Variation de la concentration en Oxygène Dissous en aval du chantier de curage.....	45
Figure 15 : Variation de la concentration NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en aval du chantier de curage .....	46
Figure 16 : Variation de la concentration en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en aval du chantier .....	47
Figure 17 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau pendant curage .....	49
Figure 18 : Comparaison des concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant et pendant curage .....	50
Figure 19 : Répartition entre alkylphénols dans l'échantillon composite de sédiment.....	51
Figure 20 : Concentrations totales en 4 NPOH dans la colonne d'eau pendant curage, comparées à la NQE-CMA .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 21 : Comparaison des concentrations totales en 4 NPOH dans la colonne d'eau avant et pendant curage .....	52
Figure 22 : Répartitions entre Alkylphénols dans la colonne d'eau pendant curage..	54
Figure 23 : Corrélations entre la concentration en DEHP et la MES dans la colonne d'eau pendant curage.....	57
Figure 24 : Corrélations entre la concentration en NPOHs et la MES dans la colonne d'eau pendant curage .....	58
Figure 25 : Corrélations entre la concentration en 4-NP1EO et la MES dans la colonne d'eau pendant curage .....	58
Figure 26 : Concentrations en DEHP dans différents compartiments environnementaux.....	60
Figure 27 : Concentrations en BPA dans différents compartiments environnementaux.....	61

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Méthodes analytiques utilisées .....	17
Tableau 2 : Paramètres chimiques pertinents pour le suivi de l'impact d'un curage..	22
Tableau 3: Hiérarchisation des 12 substances non « classiques » mesurées dans les rejets de STEP de la campagne 3RSDE.....	29
Tableau 4 : Polybromodiphényléthers (PBDEs) suivis dans l'étude .....	30
Tableau 5 : Alkylphénols et apparentés suivis dans l'étude.....	30
Tableau 6: Concentrations ( $\mu\text{g/L}$ ) du DEHP dissous et particulaire dans les lacs urbains de la ville de Guangzhou, Chine .....	32
Tableau 7: Répartition modélisée entre phase adsorbée et phase dissoute du polluant dans la colonne d'eau pour quelques substances organiques.....	33
Tableau 8 : Concentrations totales en PBDE dans la colonne d'eau avant curage...	37
Tableau 9 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant curage...	37
Tableau 10 : Concentrations totales en Alkylphénols, éthoxylates et bisphénol A dans la colonne d'eau avant curage .....	39
Tableau 11 : Concentrations totales en PBDE dans la colonne d'eau pendant curage et dans l'échantillon composite de sédiments.....	48
Tableau 12 : Concentrations totales des Alkylphénols dans la colonne d'eau pendant curage et dans l'échantillon composite de sédiments.....	51
Tableau 13 : Rebouclage des teneurs entre les sédiments et la colonne d'eau au point 1.....	55
Tableau 14 : Points clés d'une démarche de suivi de l'impact d'un dragage mécanique.....	69

## GLOSSAIRE

AE	Agence de l'Eau
AP	Alkylphénols
BPA	Bisphénol A
Cd	Cadmium
COT	Carbone Organique Total
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
DBO5	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DEHP	Di(2-ethylhexyl)phtalate
DIRNPdC	DIRection Nord Pas de Calais VNF
DO	Oxygène Dissous
$f_{oc}$	Fraction en carbone organique
GeDSeT	Gestion Durable des Sédiments Transfrontaliers
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
Hg	Mercure
MES	Matières En Suspension
Ni	Nickel
NQE-CMA	Norme de Qualité Environnementale – Concentration Maximale Admissible
NQE-MA	Norme de Qualité Environnementale – Moyenne Annuelle
Pb	Plomb
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCB	PolyChloroBiphényles
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
VNF	Voie Navigable de France
Zn	Zinc



## 1. INTRODUCTION

L'accumulation de sédiments dans les ports, les chenaux d'accès, les canaux, les rivières et les fleuves entrave la circulation des bateaux. De plus, lorsqu'ils sont pollués, ces sédiments impactent la qualité chimique des milieux aquatiques. Des opérations de dragage sont réalisées, pour rétablir le bon usage des cours d'eau le plus souvent et parfois pour améliorer la qualité des milieux aquatiques.

Si la gestion des sédiments dragués focalise l'attention actuelle, l'impact des travaux de dragage eux-mêmes sur les milieux aquatiques semble moins finement pris en compte dans les pratiques actuelles : les contrôles et suivis des impacts potentiels des opérations de dragage sur les milieux sont rares, et limités généralement à la mesure de paramètres globaux (MES, DCO, DBO5, ...) sans prendre en considération les flux de polluants remobilisés. Pourtant, lors de ces travaux, les sédiments sont placés en contact direct avec l'eau, pouvant aller jusqu'à une mise en suspension complète dans le cas des dragages hydrauliques, et à un passage de l'état adsorbé sur le matériel particulaire à l'état dissous dans la phase aqueuse.

Le Grenelle de l'Environnement et la loi associée ont souligné la nécessité d'une amélioration de la gestion des sédiments. Il est en effet nécessaire de limiter l'impact des travaux de dragage et de la gestion à terre des sédiments extraits sur la qualité des milieux récepteurs. Le développement de modes de gestion fiabilisés permettra d'assurer une gestion optimale des sédiments pollués des cours d'eau à l'intérieur d'un processus de valorisation construit et durable.

Ce rapport présente la participation de l'INERIS à une campagne exploratoire de mesure d'impact d'un dragage mécanique, en l'occurrence sur le canal de Lens en 2010. En lien avec l'action n°23 de la convention ONEMA<sup>1</sup>-INERIS 2010, cette étude est réalisée dans le cadre du projet Interreg GeDSeT (Gestion Durable des Sédiments Transfrontaliers, cf. annexe 1) sous le pilotage de l'Ecole des Mines de Douai et en partenariat avec les Voies Navigables de France VNF, maître d'ouvrage. La campagne a porté sur trois volets :

- qualité physico-chimique des milieux aquatiques, polluants classiques : métaux, HAP, PCB, volet réalisé par l'Ecole des Mines de Douai ;
- qualité physico-chimique des milieux aquatiques, paramètres physico-chimiques (pH, Eh, MES, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,...) et quelques polluants prioritaires au sens de la Directive Cadre Eau ou d'intérêt émergent<sup>2</sup> : **PBDE**<sup>3</sup>, **DEHP**<sup>4</sup> et **Alkylphénols**<sup>5</sup>, volet réalisé par l'INERIS ;

---

<sup>1</sup> Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

<sup>2</sup> Dans la suite de ce rapport, les polluants prioritaires au sens de la Directive Cadre Eau et les polluants d'intérêt émergent seront rassemblés sous le terme générique de polluants ou substances « d'intérêt émergent ». Cette formulation, qui présente l'avantage de la concision, ne doit pas être comprise au sens strict, mais comme opposition aux polluants dits « classiques », ayant fait l'objet d'une étude dans le premier volet de cette campagne.

<sup>3</sup> Les polybromodiphényléthers sont une famille de 209 produits chimiques bromés différents, dont certains sont ou ont été utilisés pour ignifuger les plastiques et les textiles.

<sup>4</sup> Di-(2-éthylhexyle)phthalate : Substance utilisée comme plastifiant dans la fabrication du plastique PVC souple (ou « plastifié »). Le DEHP est un produit chimique organique incolore et inodore.

<sup>5</sup> Les Alkylphénols (AP) sont des substances chimiques très lipophiles et persistantes s'accumulant préférentiellement au niveau des sédiments et du sol. Le 4-nonylphénol et le 4-*tert*-octylphénol sont les principaux AP produits et commercialisés sous forme de dérivés.

- état des écosystèmes et suivi écotoxicologique, volet réalisé par l'Institut Scientifique des Services Publics (ISSeP) de Wallonie.

Le présent rapport rappelle succinctement la problématique de l'impact des opérations de dragage de sédiments continentaux sur la qualité physico-chimique des milieux aquatiques, avant de présenter les matériels et méthodes du volet INERIS de l'expérimentation, les résultats, puis leur interprétation.

L'étude entend apporter des connaissances pouvant contribuer à l'amélioration continue des pratiques en matière de dragages continentaux.

## 2. PRESENTATION SUCCINCTE DE LA PROBLEMATIQUE

Malgré les précautions prises, le curage provoque une remise en suspension des sédiments de fond qui deviennent alors une source potentielle de contaminants. Ces derniers se retrouvent dans la colonne d'eau, à l'état adsorbé sur la matière particulaire remise en suspension, et peuvent passer en phase dissoute par déstabilisation des phases porteuses, suite au changement des conditions physico-chimiques (potentiel redox, pH...). Une épaisseur relativement importante de sédiments peut être laissée en place ; des sédiments initialement profonds sont alors en contact avec la colonne d'eau dans des conditions physico-chimiques (et biologiques) nouvelles qui peuvent favoriser le passage en phase dissoute des polluants contenus dans ces sédiments laissés en place (Figure 1).

Dans cette étude, nous serons donc amenés à répondre aux questions suivantes :

- les sédiments de curage sont-ils une source des trois familles de polluants d'intérêt émergent suivis (voir ci-dessus) ?
- le curage et la mise en suspension de particules contaminent-t-ils la colonne d'eau en aval ? Et dans quelle proportion ?

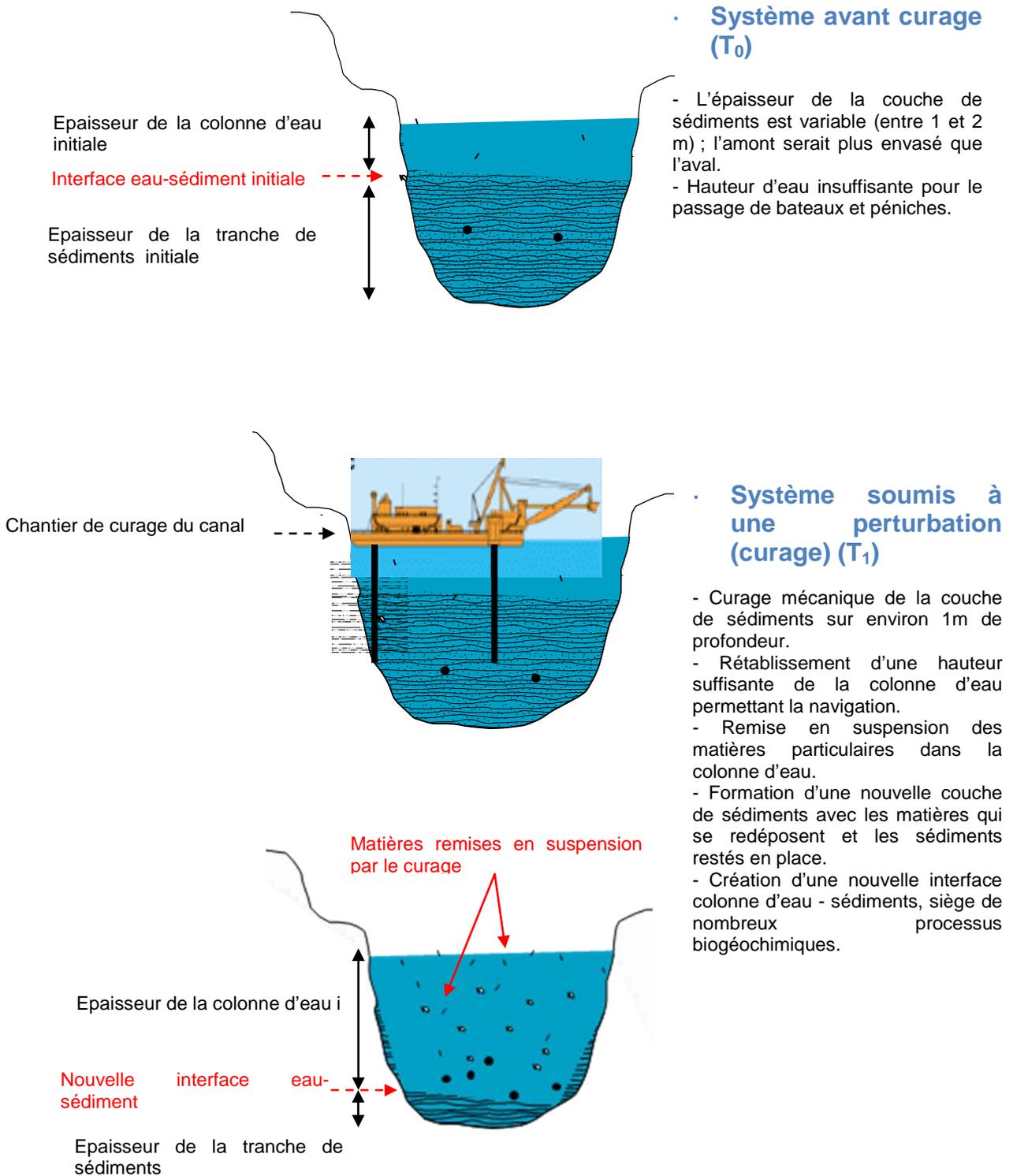


Figure 1: Problématique du dragage des sédiments dans le canal de Lens

### 3. MATERIELS ET METHODES

#### 3.1 Principe - vue d'ensemble - métrologie

L'objectif de l'étude est d'approcher l'impact du curage des sédiments du canal de Lens sur la qualité chimique de l'eau.

Le travail réalisé par l'INERIS vient compléter les études (analyses sur polluants métalliques, PCB, HAP, écotoxicologie) engagées par les autres partenaires du projet GeDSeT, à titre exploratoire, sur trois polluants ou familles de polluants dits d'intérêt émergent : Polybromodiphényléthers (PBDE), di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP) et Alkylphénols (AP).

L'INERIS a recherché ces substances dans des échantillons d'eau (mesures sur la fraction totale : dissoute + adsorbée) et dans les boues de curage ; différents paramètres physico-chimiques ont également été mesurés dans la colonne d'eau (*in situ*, ou en laboratoire pour les matières en suspension - MES).

Les zones et points d'échantillonnage sont ceux retenus par les partenaires GeDSeT pour le suivi de l'ensemble des autres paramètres. Les différents points d'échantillonnage sont présentés et localisés en annexe 4.

Ainsi, trois campagnes de terrain ont été prévues, dont deux seulement ont été réalisées (avant et pendant curage). Les protocoles de prélèvement et de mesure ont été spécifiques pour chaque campagne et sont détaillés en annexe 5. La Figure 2 ci-après présente les grandes lignes de chaque campagne et la méthodologie d'échantillonnage associée.

Au laboratoire, les analyses ont porté sur les concentrations totales<sup>6</sup> des substances chimiques dans les échantillons d'eau et de boue de curage. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire de chimie analytique de l'INERIS à Verneuil-en-Halatte. Les méthodes analytiques sont reportées en annexe 6 et dans le

Tableau 1 ci-après.

**Tableau 1 : Méthodes analytiques utilisées**

Matrice	Substances	Méthode analytique
Eau	MES	Selon la norme NF EN 872, sur filtres Whatman type GFC.
	PBDEs	Extraction liquide/liquide par du dichlorométhane, séchage $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , concentration et analyse CG/SM après purification.
	DEHP	
	Alkylphénols et apparentés	Extraction liquide/solide, élution à l'acétone, concentration, dérivation et analyse CG/SM (ISO 18857-2).
Sédiment	PBDEs	Mise en solution par de l'acétone après ajout des étalons internes. Extraction liquide/solide par de l'éther de pétrole. Filtration, lavage de la phase organique par de l'eau, séchage de celle-ci sur sulfate de sodium, concentration et purification, puis analyse CG/SM.
	DEHP	Extraction par du dichlorométhane et analyse CG/SM.
	Alkylphénols et apparentés	Norme de projet horizontal : élution à l'acétone, concentration, dérivation et analyse CG/SM.

L'impact du curage sur la qualité physico-chimique des eaux est analysé par comparaison des résultats des différentes campagnes (ici uniquement T<sub>0</sub> et T<sub>1</sub>) et par analyse des corrélations entre paramètres mesurés (concentrations, paramètres in situ, distance au dragage,...). En outre, à titre indicatif, les concentrations mesurées dans la colonne d'eau sont comparées aux Normes de Qualité Environnementales (NQE) issues de la Directive Cadre Eau (DCE) lorsqu'elles existent<sup>7</sup>.

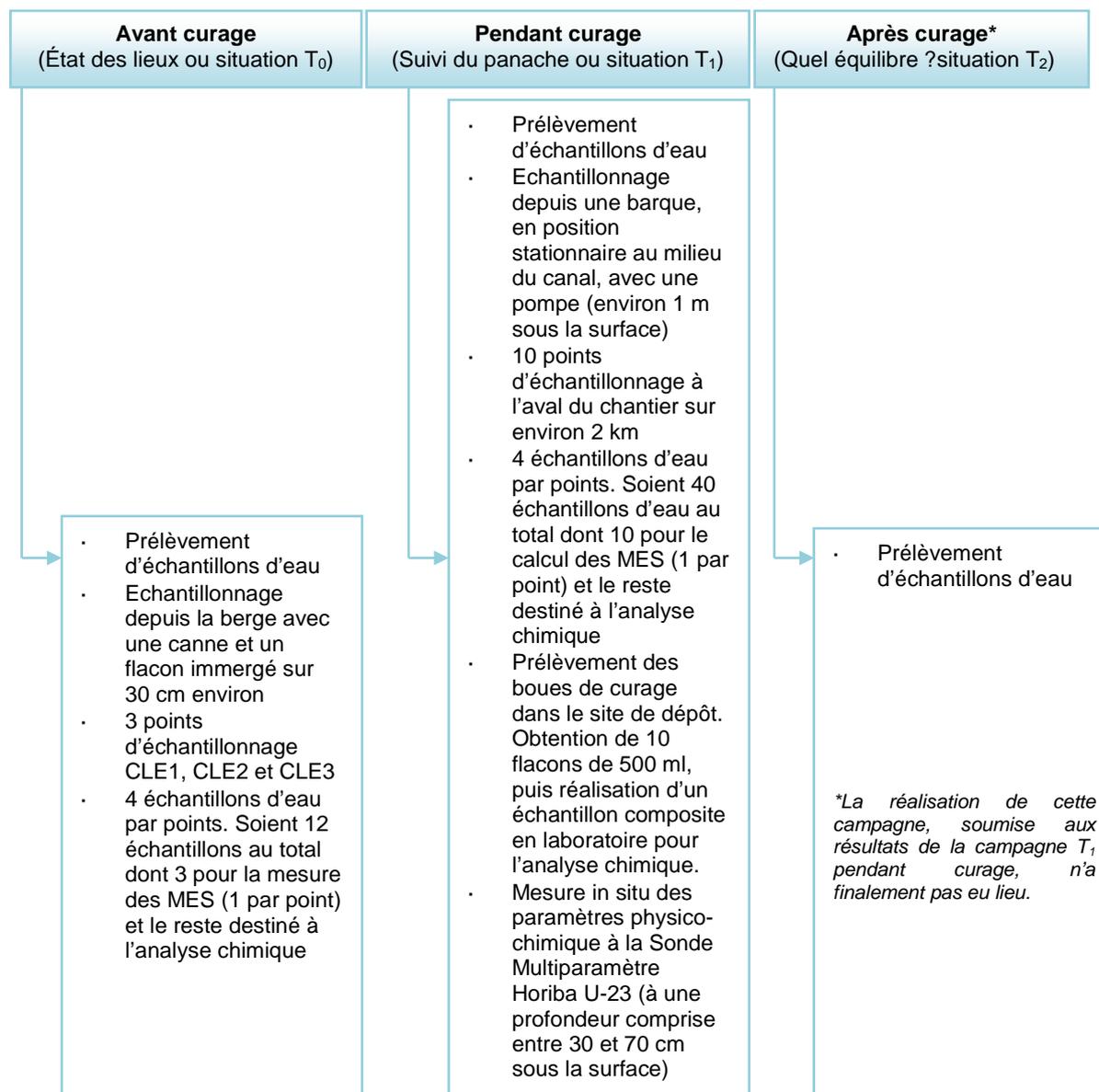
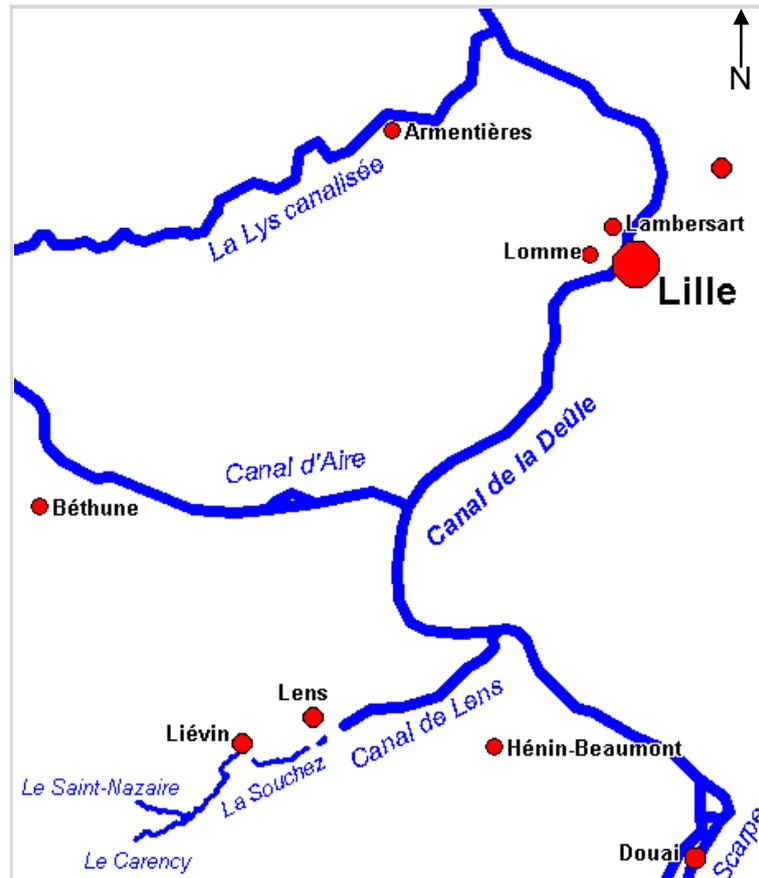


Figure 2: Schéma de la démarche développée pour le suivi du curage

<sup>7</sup> Valeurs reprises de l'Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement ; voir sur leur utilisation le paragraphe 6.1.

### 3.2 Dragage du Canal de Lens

La région Nord-Pas-de-Calais (NPdC) est particulièrement concernée par la problématique de la gestion des sédiments contaminés (CNRSSP, 2001). En effet, elle se caractérise par un réseau dense de rivières canalisées (Figure 3) qui sont soumises à une importante accumulation de sédiments contaminés d'origines diverses (naturelles et anthropiques). En particulier, les activités industrielles et minières, actives surtout par le passé, ont contribué à l'envasement des canaux.



Source : modifiée d'après Hemmer at fr.wikipedia

Figure 3: Réseau des canaux de la région NPdC

D'une longueur de 15 km, le canal de Lens ou de la Souchez (Figure 3) est une des voies navigables de la région NPdC. Il se jette dans la Deûle. Il a fait l'objet d'une opération de curage (dragageuse à bras mécanique) entre juin et octobre 2010 (site de Noyelles-sous-Lens). Le canal n'ayant pas été dragué depuis 10 ans, le volume de sédiments à extraire est estimé à 120 000 m<sup>3</sup> sur l'ensemble du linéaire.

Le curage s'intègre dans le projet de remise en navigation du canal, qui a pour but la revalorisation de l'espace par l'amélioration de l'aspect et des fonctions du cours d'eau et de ses abords.

Le canal de Lens reçoit différents apports d'eau, qui n'ont pas été caractérisés dans le cadre de notre étude exploratoire :

- Eaux de la Souchez, cours d'eau situé en amont du Canal. VNF estime que la Souchez apporte 7 000 à 8 000 m<sup>3</sup> de sédiments par an au Canal de Lens ;

- Eaux de pompage des anciennes galeries de mines, visant à éviter des affaissements d'après-mine. Ces eaux ne contiennent *a priori* pas les polluants d'intérêt émergent recherchés par l'INERIS ;

Une station d'épuration des eaux usées urbaines (STEU) existe à Loison-sous-Lens. Les eaux traitées sont rejetées dans le canal de Lens environ 800 m en amont de la position du curage au matin du suivi. La fiche de la STEU est présentée en annexe 3, avec un plan de situation. Ceci est d'un intérêt particulier pour l'étude puisque les polluants d'intérêt émergent recherchés sont typiquement issus de rejets de STEU.

Divers points de rejets dans le Canal de Lens ont été relevés dans la zone d'étude. Des arrivées d'eau discontinues mais vigoureuses (fort courant), perpendiculaires à la direction du canal, ont été observées lors de la campagne de suivi du curage. Ces arrivées d'eau et leurs origines respectives (sources indiquées ci-dessus, autres sources possibles) n'ont pas été répertoriées.

Leur impact sur les valeurs des paramètres mesurées dans la colonne d'eau lors du curage peut aller dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution suivant les caractéristiques de ces eaux (paramètres physico-chimiques) et de leur hydrologie (éventuelle remise en suspension locale de sédiments occasionnée par le courant transverse).

La hauteur exacte de la colonne d'eau dans le canal n'est pas connue. La vitesse d'écoulement de l'eau du canal a été mesurée lors du suivi, par l'Ecole des Mines de Douai. Elle se situe à une valeur moyenne d'environ 0,1 m/s.

Des informations supplémentaires relatives au canal de Lens et au projet de curage sont consignées en annexe 3.

#### **4. CHOIX DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET COMPORTEMENTS ATTENDUS LORS DU CURAGE**

Sont présentés ci-après :

- les raisons du choix des paramètres physico-chimiques retenus dans le plan expérimental,
- leur comportement attendu lors du curage,
- les observations attendues en cas d'impact du curage sur les valeurs de ces paramètres physico-chimiques dans les eaux du canal.

De plus complètes explications de l'évolution des paramètres physico-chimiques à l'occasion d'un dragage sont présentées dans le rapport bibliographique de l'INERIS (2010b) sur l'impact environnemental des opérations de dragage des sédiments continentaux sur la qualité physico-chimique des eaux douces superficielles.

##### **4.1 Turbidité, MES**

La turbidité et la charge en Matière En Suspension (MES) traduisent directement la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). L'impact du curage se traduirait par un panache de matière en suspension à l'aval du curage, soit par des valeurs accrues en aval immédiat du curage puis décroissantes.

La variabilité attendue de ces paramètres, et par conséquent la fréquence d'échantillonnage de sédiments et la mesure de la matière en suspension dans les rivières et les lacs lors des campagnes de mesures, dépendent non seulement du régime hydrogéologique du système mais aussi du taux de sédimentation des particules ; des facteurs saisonniers peuvent intervenir (Parker *et al.*, in SedNet 2009). Toutefois, le contexte du canal de Lens est celui d'un système relativement stable, et les prélèvements des eaux de surface à T<sub>0</sub> et T<sub>1</sub> se sont déroulés par temps calme et hors épisode pluvieux. En revanche, des apports de MES via les arrivées d'eau dans le canal ou la confluence avec la Deûle ne sont pas exclus.

##### **4.2 Potentiel redox, oxygène dissous, ammonium et nitrates, pH**

Les sédiments en fond de cours d'eau constituent un milieu anoxique, réducteur. Cette caractéristique est attribuée à l'activité microbologique (notamment dégradation-oxydation de la matière organique des sédiments) qui consomme l'oxygène présent (DeValls *et al.*, in SedNet 2009), et au relatif confinement par rapport à la colonne d'eau riche en oxygène dissous : la réalimentation en oxygène des sédiments ne se fait que par diffusion au sein des sédiments, phénomène lent et de ce fait limité à la surface des sédiments (l'oxygène est consommé dès l'interface eau-sédiments).

En conséquence, l'interface entre les sédiments et la colonne d'eau est notamment fortement marquée pour les paramètres chimiques listés au Tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Paramètres chimiques pertinents pour le suivi de l'impact d'un curage

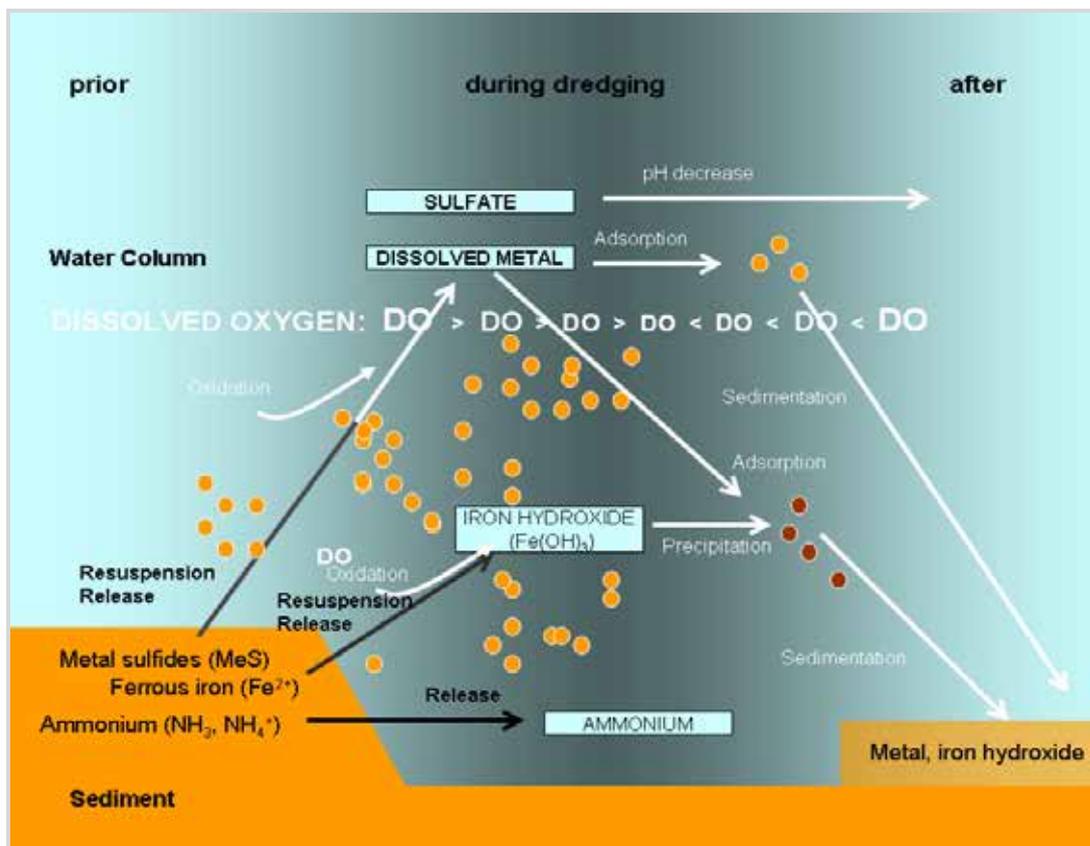
Paramètres	Valeurs dans les sédiments, par rapport à la colonne d'eau	Impacts attendu du dragage sur la colonne d'eau
Concentration en oxygène dissous	Très faible	Valeur moindre près du curage, puis croissance progressive et stabilisation vers l'aval
Potentiel redox	Très faible, négatif	
pH	Moindre <sup>8</sup>	
Concentration en ions nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (forme oxydée)	Moindre	
Concentrations en MnO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe(OH) <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (formes oxydées)	Moindre	
Concentration en ions ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (forme réduite)	Accrue	Valeur accrue près du curage, puis décroissance progressive et stabilisation vers l'aval
Concentration en Mn(II), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , HS <sup>-</sup> (formes réduites)	Accrue	

Pour Hans Goossens et John J.G. Zwolsman (1996, cf. Figure 4), les plus importantes transformations chimiques dans le panache de dragage sont probablement le relargage du fer ferreux (Fe<sup>2+</sup>) et les sulfures pauvres en oxygène des sédiments remis en suspension et leur oxydation ultérieure avec l'oxygène dissous (DO) dans la colonne d'eau aérée.

Au cours de la remise en suspension des sédiments anoxiques dans la colonne d'eau oxygénée, Fe<sup>2+</sup> et les sulfures réagissent avec l'oxygène dissous. Les sulfures<sup>9</sup> sont oxydés par l'oxygène dissous pour former les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), espèce acide. Ainsi, la réaction de sulfures avec l'oxygène contribue également à diminuer le pH dans la colonne d'eau. Fe<sup>2+</sup> est oxydé par l'oxygène dissous sous forme ferrique (Fe<sup>3+</sup>) en hydroxyde de fer [Fe(OH)<sub>3</sub>], qui est extrêmement insoluble dans la gamme de pH normal des eaux oxygénées et précipite rapidement.

<sup>8</sup> Acidogénèse de l'activité microbiologique anaérobie ; la diminution de pH est normalement limitée, l'activité microbiologique étant limitée voire stoppée par une trop forte acidité. Un pH de 6,5 est notamment observé par Villaret *et al.* (2001), dans des sédiments de la Scarpe.

<sup>9</sup> Dans les sédiments, « la forme précipitée des ions métalliques est le résultat de la précipitation à partir de l'eau à travers la formation d'un sel insoluble avec un contre-ion (pour la plupart des sulfures). La forme sulfure est chimiquement stable tant que les conditions anoxiques sont préservées » (INERIS, 2010b d'après Goossens et Zwolsman, 1996). La perte d'oxygène dissous consommé dans l'oxydation de la matière organique conduit également à la réduction des constituants de l'eau interstitielle pour former notamment de l'ammoniac et des sulfures (Sednet, 2009). La présence de sulfures dans des sédiments a notamment été notée par Isaure, 2001 (dépôt de sédiments curés) et CNRSSP, 2001 (sédiments de la Scarpe).



Source: Thomas Jabusch, Aroon Melwani, Kat Ridolfi and Mike Connor, 2008

**Figure 4: Processus chimiques et mode d'apparition des métaux lourds, avant, pendant, et après les activités de dragage**

Sur une opération de suivi d'un curage sur le Canal de la Scarpe en 2000, menée par le CNRSSP (Aline Grosjean sous la direction de Claire Alary, en partenariat avec Jean-Paul AMBOSI du CEREGE), les observations suivantes ont été rapportées (INERIS, 2010b d'après CNRSSP, 2001) : « Aux fortes valeurs de turbidité correspond une baisse du potentiel redox et du pH par rapport à l'état de la colonne d'eau avant curage, sur le même tronçon du cours. La baisse de pH est limitée (0,2 à 0,3 unité de pH) mais systématiquement mesurée pour la dizaine de profils acquis pendant le curage.

Pour une activité d'extraction continue, les plus fortes modifications de l'état physico-chimique de la colonne d'eau sont mesurées 200 à 300 m en aval de l'atelier de curage ; au-delà, elles diminuent de façon importante mais persistent jusqu'à une distance de l'ordre du kilomètre, voire supérieure à 2 km.

Ces paramètres (turbidité, potentiel redox et pH) varient également rapidement dans le temps. Leur perturbation ne perdure pas puisqu'ils retrouvent la valeur mesurée avant curage dans l'heure qui suit l'arrêt de l'extraction des sédiments (sur une distance de l'ordre du kilomètre).

En revanche, il n'a pas été mesuré de modifications de la concentration en oxygène dissous, même dans le proche aval de l'atelier de curage. La colonne d'eau reste donc saturée en oxygène, même si la remise en suspension est importante ».

Parmi les paramètres chimiques listés au Tableau 2, les plus accessibles à la mesure, notamment *in situ*, ont été retenus : potentiel redox, oxygène dissous, pH, concentrations en ions ammonium et nitrates.



## **5. CHOIX DES SUBSTANCES D'INTERET EMERGENT ET COMPORTEMENT ATTENDU LORS DU CURAGE**

### **5.1 Généralités**

La surveillance des milieux aquatiques porte actuellement en priorité sur les substances chimiques classiques réglementées, mais les substances dites « d'intérêt émergent » suscitent un intérêt croissant du fait de leurs effets potentiels sur les écosystèmes et la santé humaine, notamment en cas de captage des eaux potables ou de consommation de produits de la pêche contaminés. Les substances d'intérêt sont nombreuses : pharmaceutiques, nouveaux pesticides, autres perturbateurs endocriniens, produits de d'hygiène corporelle, tensio-actifs, nanoparticules, etc., pour lequel les connaissances actuelles sont insuffisantes pour évaluer le risque envers les écosystèmes aquatiques et l'homme lié à leur présence dans l'environnement. Elles sont identifiées par la communauté scientifique à partir de l'examen de données (éco)toxicologiques et d'occurrence dans l'environnement.

En France les substances d'intérêt émergent<sup>10</sup> ont été peu analysées jusqu'à ces dernières années dans les eaux (naturelles ou résiduaires). Les techniques analytiques ne sont souvent pas encore disponibles en routine. Des campagnes de mesure sont actuellement en cours sur l'ensemble du territoire français sous l'égide du Ministère de l'écologie et du développement durable (i.e. inventaire exceptionnel dans le cadre du programme national de prévention et de réduction de la pollution des eaux - état des lieux des milieux aquatiques ; campagnes substances dangereuses dans le cadre de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les installations classées).

### **5.2 Sélection des substances d'intérêt émergent pour l'étude**

#### **5.2.1 Méthode**

Trois types de critères ont été appliqués par l'INERIS pour la sélection des substances d'intérêt émergent :

- 1) potentiel de risque/nuisance estimé (hiérarchisation systématique) ;
- 2) attention portée par la communauté technico-scientifique ;
- 3) capacités et coûts d'analyse.

---

<sup>10</sup> Les substances prioritaires de l'annexe X de la Directive Cadre Eau, dont certaines sont incluses ici dans l'ensemble des substances désignées sous le terme « substances d'intérêt émergent », ont fait davantage l'objet de mesures dans les dernières années.

## HIERARCHISATION SYSTEMATIQUE DU POTENTIEL DE RISQUE :

La sélection des substances pour l'impact sur les eaux superficielles est fondée sur une hiérarchisation simplifiée du potentiel de risque/nuisance envers les écosystèmes aquatiques, des substances susceptibles de se trouver dans les sédiments.

Deux critères ont été retenus pour la hiérarchisation :

- le potentiel de présence dans les sédiments ;
- la nocivité pour le milieu « eaux superficielles » des sédiments remis en suspension dans l'eau, exprimée par la Norme de Qualité Environnementale NQE [ $\mu\text{g/l}$ ] eaux douces superficielles<sup>11</sup>.

En l'absence de mesure préalable dans les sédiments en place, le potentiel de présence dans les sédiments a été hiérarchisé à partir du produit de deux paramètres :

- les flux en polluants rejetés dans les eaux superficielles, F [g/j] ;
- l'affinité pour la matière solide, proportionnelle au Koc, coefficient de partition entre la matière organique et l'eau<sup>12</sup> [ $\text{mg/kg}_{\text{co}}$ ]/[ $\text{mg/l}_{\text{eau}}$ ] ;
- en outre, on a vérifié *in fine* que les substances sélectionnées sont persistantes dans les sédiments, et sont retrouvées dans les quelques données disponibles sur les sédiments (voir annexe 2).

Ainsi, l'indice de potentiel de danger Id [ $10^3/\text{j/kg/l}^2$ ] utilisé comme critère de hiérarchisation est :

$$\text{Id} = \text{F} * \text{Koc} / \text{NQE}$$

---

<sup>11</sup> Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R212-10, R212-11 et R212-18 du code de l'environnement.

<sup>12</sup> Le Koc représente précisément l'affinité pour le carbone organique. On retient ici l'hypothèse usuelle d'une adsorption des polluants sur la matière organique des matrices solides, en l'occurrence ici la MES. Cette hypothèse apparaît particulièrement pertinente pour les MES rejetées par les STEU et pour les sédiments, riches en matière organique.

Au titre de cette hiérarchisation simplifiée, les flux en polluants rejetés dans les eaux superficielles ont été approchés de façon générique (mais ici aussi adaptée au Canal de Lens) en considérant les Stations d'Épuration des Eaux Urbaines (STEU) comme principales sources de rejet des substances d'intérêt émergent hors pesticides dans les eaux superficielles. En effet, ces substances d'intérêt émergent sont issues de produits de consommation (produits cosmétiques, phtalates, produits pharmaceutiques) plutôt qu'industriels. En outre, cette clé de sélection générique est favorisée par :

- la répartition sur l'ensemble du territoire des STEU et leur relative homogénéité en termes de profils de substances entrant et sortant<sup>13</sup> ;
- la disponibilité de données sur les flux en sortie de STEU, à travers :
  - l'étude INERIS, 2009b sur les substances dangereuses pour le milieu aquatique rejetées dans le milieu naturel par les stations d'épuration : cette étude a recueilli les analyses de 106 substances organiques dangereuses dans les rejets en sortie de 113 stations d'épuration (STEP ; urbaines ou parfois mixtes urbaines-industrielles) de la campagne de mesures systématiques sur 51 stations d'épuration de l'action « Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans l'Eau » (3RSDE) :
    - Substances dangereuses prioritaires (selon DCE) ;
    - Substances prioritaires (selon DCE) ;
    - Substances liste II (selon directive européenne 76/464/CEE) et autres substances.
  - l'étude ANR AMPERES pilotée par le CEMAGREF : de nombreuses analyses de substances organiques prioritaires et d'intérêt émergent (notamment des substances pharmaceutiques) ont été effectuées dans des boues et des rejets aqueux de station d'épuration urbaine. La source utilisée a été la présentation de l'étude Ampère mise à disposition sur le site Internet du projet (Budzinski *et al.*, 2009 ; <https://projetamperes.cemagref.fr>). Cette présentation ne fournit pas les valeurs des flux, mais des appréciations du problème qu'ils posent, sur la base des flux mesurés en sortie de STEP, des débits d'étiages des cours d'eau récepteurs, et des NQE.

Cette hiérarchisation s'appuie sur une modélisation semi-quantitative des valeurs de Koc : au lieu d'une recherche de valeurs bibliographiques complètes, ces valeurs ont été estimées par modélisation de type QSAR (*Quantitative Structure-Activity Relationship*) au moyen du logiciel *EPI*<sup>14</sup> Suite fourni par l'Agence de l'Environnement des Etats Unis (US EPA).

Cette hiérarchisation systématique n'est qu'indicative, en premier lieu parce que :

- d'autres sources peuvent impacter la qualité des sédiments ;
- les valeurs du Koc ont été obtenues par modélisation (toutefois de façon homogène) ;

---

<sup>13</sup> Même si des différences sont observées entre STEP.

<sup>14</sup> *Estimation Programs Interface Suite*<sup>TM</sup>, module de calcul KOCWIN<sup>TM</sup>, méthode de "connectivité moléculaire". <http://www.epa.gov/opptintr/exposure/pubs/episuite.htm>.

- de nombreuses substances n'ont pas été mesurées dans ces campagnes, ou ne disposent pas de NQE « eaux douces superficielles », notamment les substances pharmaceutiques ;
- d'autres sources de rejet que les STEU peuvent être à l'origine de la présence de substances d'intérêt émergent dans les eaux, qui ne sont pas prises en compte ici faute de données d'entrée sur les flux.

L'ajout de substances en fonction de l'attention portée par la communauté technico-scientifique (cf. ci-après), et la prise en compte de familles entières de substances, permettra de compenser quelque peu ces biais.

#### ATTENTION PORTEE PAR LA COMMUNAUTE TECHNICO-SCIENTIFIQUE :

Cette attention est signalée à dire d'expert, en s'appuyant en outre sur quelques données bibliographiques.

#### CAPACITES ET COUTS D'ANALYSE :

Ont également été pris en compte, en tant que facteurs limitants de l'étude, les capacités et coûts d'analyse des substances envisagées, les substances d'intérêt émergent ne disposant pas toujours de protocoles d'analyse stabilisés.

## **5.2.2 Résultats**

#### HIERARCHISATION SYSTEMATIQUE DU POTENTIEL DE RISQUE :

Les données utilisées pour la hiérarchisation du potentiel de danger sur la base des flux mesurés en sortie de STEP dans le cadre de l'étude 3RSDE (INERIS, 2009b), et les résultats détaillés associés, sont présentés en annexe 2. Les principaux éléments sont les suivants :

- sur les 106 substances recherchées, 75 sont quantifiées au moins une fois ;
- parmi ces 75 substances, 55 disposent de NQE eaux douces superficielles ou de Koc applicables<sup>15</sup>, et peuvent donc être hiérarchisées ;
- parmi ces 55 substances, 43 ont été considérées par l'INERIS comme des substances « classiques » (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP, solvants chlorés et benzéniques, pesticides), et 12 comme des substances non « classiques » ;
- l'ordre de hiérarchisation de ces 12 substances non « classiques » est indiqué dans le Tableau 3 ci-après. Les 7 premières substances « classiques » sont 6 HAP et le lindane.

---

<sup>15</sup> On ne dispose pas de Koc pour les métaux. Le paramètre d'affinité pour la matrice solide, le coefficient de partage sol/liquide  $K_p$  (cf. annexe 8), est extrêmement variable.

Tableau 3: Hiérarchisation des 12 substances non « classiques » mesurées dans les rejets de STEP de la campagne 3RSDE

Substance	Famille	Indice de potentiel de danger
		$10^3/j/kg/l^2$
Di (2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	Phtalates	2,45E+09
Tributylétain cation	Organoétains	5,56E+07
4-(para)-nonylphénol	Alkylphénols	4,73E+07
Pentabromodiphényléther	Diphényléthers bromés	2,09E+07
Octylphénols (para-tert-octylphénol)	Alkylphénols	6,07E+06
2 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	5,70E+05
Dibutylétain cation	Organoétains	5,00E+04
Tributylphosphate	Phosphates (solvant, plastifiant)	3,11E+04
3 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	9,97E+03
Biphényle	Autres (conservateur alimentaire)	5,39E+03
4 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	4,20E+03
3,4 dichloroaniline	Aniline (intermédiaire)	4,18E+03

Sur la base des flux mesurés en sortie de STEP, des débits d'étiages des cours d'eau récepteurs, et des NQE, l'étude AMPERES a signalé :

- 3 substances (ou groupes de substances) posant problème de par les résultats obtenus : le PentaBDE, le DEHP et l'endosulfan ;
- 3 substances (ou groupes de substances) pouvant poser problème : trichlorométhane, tributylétain et 4-nonylphénol.

Cette hiérarchisation est proche de celle obtenue à partir de l'étude 3RSDE, hormis pour l'absence des HAP (non détectés en sortie de STEP)<sup>16</sup>.

Parmi ces 6 substances (ou groupes), celles présentant la plus forte affinité pour la matière organique (Koc le plus élevé) sont (dans l'ordre) le DEHP, le PentaBDE, et le 4-nonylphénol.

Pour les substances sélectionnées *in fine*, on retrouve la tendance au stockage dans les sédiments, exprimée de manière qualitative, dans les fiches de l'annexe 2.

#### ATTENTION PORTEE PAR LA COMMUNAUTE TECHNICO-SCIENTIFIQUE :

L'attention de la communauté technico-scientifique comme des médias, se porte beaucoup sur les perturbateurs endocriniens, au premier rang desquels le DEHP, les alkylphénols et, le bisphénol A, les retardateurs de flamme bromés (PBDE).

A titre d'exemple, on peut citer la liste des substances que la Commission Européenne envisageait de réglementer dans les boues de STEP destinées à l'épandage (Milieu Ltd *et al.*, 2008 ; le symbole \* indique les substances non « classiques ») : AOX (composés organiques halogénés), Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), Polychlorobiphényles (PCBs), DEHP\*, Linear

<sup>16</sup> L'endosulphan apparaît peu après les HAP dans la hiérarchisation sur base de l'étude 3RSDE.

Alkylbenzene sulphonates\* (LAS), nonylphénol/Nonylphénol éthoxylates\* (NP/NPE), polybromodiphényléthers\* (PBDEs) et le PCDD/F.

Cette attention incite à retenir les alkylphénols et les retardateurs de flamme bromés (PBDE) avant les organoétains.

#### CAPACITES ET COUTS D'ANALYSE:

Les capacités et coûts d'analyse ont conduit au pré-choix des PBDE et alkylphénols et du DEHP. Les groupements analytiques du laboratoire de l'INERIS ont conduit au suivi dans cette étude des représentants suivants des Polybromodiphényléthers (Tableau 4) et des Alkylphénols et apparentés (dont bisphénol A ; Tableau 5) :

**Tableau 4 : Polybromodiphényléthers (PBDEs) suivis dans l'étude**

<b>Nom</b>	<b>Congénère</b>	<b>Abréviation</b>
TriBDE	2,4,4'-Tribromodiphenyl ether	BDE-28
TetraBDE	2,2',4,4'-tétrabromodiphényléther	BDE-47
PentaBDE	2,2',4,4',5-pentabromodiphényléther	BDE-99
	2,2',4,4',6-pentabromodiphényléther	BDE-100
HexaBDE	2,2',4,4',5,6'-hexabromodiphényléther	BDE-154
	2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphényléther	BDE-153
HeptaBDE	2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphényléther	BDE-183
DécaBDE	Décabromodiphényléther	BDE-209

**Tableau 5 : Alkylphénols et apparentés suivis dans l'étude**

<b>Désignation</b>	<b>Abréviation</b>
4 tertio octylphénol	4-ter OP
4 nonylphénol(s) (coupe) <sup>17</sup>	4-NPOHs ou 4-NPOH
4 nonylphénol linéaire	4-n-NPOH
4 tertio octylphénol monoéthoxylé	4-ter-OP1EO
4 nonylphénol monoéthoxylé (coupe)	4-NP1EO
bisphénol A	BPA
4 tertio octylphénol diéthoxylé	4-ter-OP2EO
4 nonylphénol diéthoxylé (coupe)	4-NP2EO

#### CONTROLE DE LA PERSISTANCE DANS LES SEDIMENTS :

D'après la littérature (Petrovic et al., *in* SeDnet 2009), les PBDEs, DEHP et Alkylphénols (non éthoxylés), sont considérés comme persistants et s'accumulant de préférence dans les sédiments (cf. aussi annexe 2) <sup>18</sup>.

La littérature sur ces substances a montré que l'une des principales sources d'alkylphénols est la biodégradation des alkylphénols éthoxylés (APEO) (INERIS,

<sup>17</sup> Mélange de nonylphénols à chaîne ramifiée substitués en position 4 sur le noyau.

<sup>18</sup> Demi-vie dans les sédiments d'eau douce de plusieurs mois pour le DEHP, de l'ordre de 100 ans pour le DEHP ; PBDEs signalés comme très persistants dans l'environnement.

2005). En effet, les nonylphénols éthoxylés (NPEO) subissent un processus de biodégradation complexe. En condition anaérobies, ce processus biologique conduit à la formation de nonylphénol (NP) et d'éthoxylates de degré inférieur (monoéthoxylat NP1EO ou diéthoxylat NP2EO).

En condition aérobie, les NPEO sont biotransformés en acide nonylphenoxy acétique (NP1EC) ou acide nonylphénoxy-éthoxyacétique (NP2EC) et en nonylphénol (NP). Par rapport à leurs composés parents, les alkylphénols (produits de dégradation) sont plus persistants, plus toxiques, plus lipophiles et moins hydrosolubles<sup>19</sup>.

Ces différents processus de biotransformation conduisent a priori à une concentration en 4 NPOH dans les sédiments (essentiellement anoxiques).

### 5.2.3 Comportement attendu des polluants d'intérêt émergent retenus, lors du curage

Lors du curage, les phénomènes suivants sont attendus :

1. une augmentation des teneurs au niveau du curage, par remise en suspension des sédiments chargés, que les polluants restent en phase adsorbée dans les sédiments en suspension (participant à la MES) ou passent en phase dissoute ;
2. au-delà, vers l'aval :
  - une redéposition de la fraction adsorbée, conduisant à une diminution de la teneur en polluants adsorbés sur la MES dans la colonne d'eau, corrélée à la diminution de la MES ;
  - un maintien vers l'aval de la fraction dissoute, avec toutefois la possibilité d'une captation par des entrées de MES non chargées (en ces polluants) dans le canal et déposition avec ces MES : la décroissance de la fraction dissoute n'est alors pas corrélée à la décroissance de la MES.

D'autres phénomènes, comme une adsorption renforcée ou diminuée des polluants sur les sédiments en suspension en fonction de l'évolution des paramètres physico-chimiques (pH, oxygène dissous, Eh,...), et une déposition renforcée ou diminuée en conséquence, peuvent être envisagés, mais ne sont pas identifiés pour les polluants organiques (au contraire de ce qui est connu des substances inorganiques).

Sur la base des phénomènes identifiés, les relations suivantes sont attendues :

- à proximité immédiate du dragage, avant redéposition importante des sédiments mis en suspension, l'augmentation des teneurs en polluants dans l'eau du canal devrait correspondre à la quantité de polluants présents dans les sédiments mis en suspension, i.e. sur le différentiel de MES apporté par le dragage :

Équation 1       $\Delta C_{sw} = C_{sed} \times \Delta MES \times 10^{-6}$ ,      avec :

---

<sup>19</sup> Bennie D. T. Review of the environmental occurrence of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates. Water. Qual. Res. J. Canada (1999) 34.

$C_{sw}$ : concentration totale en polluant dans l'eau superficielle	[mg/l]
$C_{sed}$ : concentration en polluant dans les sédiments dragués	[mg/kg $MS_{sed}$ ]
MES : teneur en matière en suspension	[mg $MS_{MES}$ /l]
$10^{-6}$ : conversion de kg de MES (ou sédiment) en mg de MES	[kg $MS_{sed}$ /mg $MS_{MES}$ ]

Cette relation sera testée sur le point 1 dans le suivi du dragage (§ 6.3.3.1 p 55). Une certaine prudence est requise dans l'estimation des teneurs avant curage, compte tenu des variations saisonnières possibles. Ainsi, F. Zeng *et al.*, 2009 ont établi la concentration de 16 phtalates dans l'eau de lacs urbains en Chine, respectivement au printemps, en été et en hiver, en 2006. Le Tableau 6 ci-dessous montre que la distribution du DEHP (dissous et particulaire) y est fortement influencée par des effets saisonniers. Le contexte de ces mesures diffère sensiblement de celui du canal de Lens, et n'est pas pleinement renseigné (notamment en termes d'effluents aboutissant dans ces lacs), mais le principe reste valable.

**Tableau 6: Concentrations ( $\mu\text{g/L}$ ) du DEHP dissous et particulaire dans les lacs urbains de la ville de Guangzhou, Chine**

Printemps						Eté						Hiver					
Phase dissoute			Particules en suspension			Phase dissoute			Particules en suspension			Phase dissoute			Particules en suspension		
G	M	F.D	G	M	F.D	G	M	F.D	G	M	F.D	G	M	F.D	G	M	F.D
0,123–0,432	0,218	100	11,0–40,4	22,8	100	0,286–0,687	0,427	100	25,0–58,9	42,1	100	0,105–0,339	0,183	100	11,7–36,8	20,9	100

Modifié d'après F. Zeng et al., 2009

G : Gamme ; M : Médiane ; F.D : Fréquence de Détection

Les concentrations signalées ont été corrigées en soustrayant les valeurs moyennes de blanc

La décroissance des teneurs en un polluant dans l'eau vers l'aval du dragage, hors apports latéraux de MES nouvelle (plus chargée ou moins chargée en ces polluants), devrait être plus ou moins corrélée à la décroissance de la MES vers l'aval, selon la part de ce polluant adsorbée sur les MES, et la part dissoute (Figure 5).

Il en résulte également que, hors apports latéraux, en allant vers l'aval, la répartition des substances dans la colonne d'eau devrait s'enrichir en substances à fraction dissoute élevée et s'appauvrir en substances à fraction adsorbée élevée.

Ces dernières considérations sur l'évolution des concentrations en substances chimiques dans les eaux vers l'aval du curage valent pour une émission homogène dans le temps lors du curage, *i.e.* pour un sédiment homogène en termes de concentrations de ces substances le long de la zone de curage. Des concentrations hétérogènes dans le sédiment induiraient des émissions irrégulières, et donc des profils d'évolution vers l'aval irréguliers.

La répartition entre phase adsorbée et phase dissoute du polluant dans la colonne d'eau peut se modéliser à partir de l'affinité du polluant pour la matrice solide (MES) par opposition à l'eau, exprimée par le coefficient de partage sol/liquide  $K_p$ , lui-même produit du  $K_{oc}$  par la fraction en carbone organique  $f_{oc}$  [ $\text{mg}_{CO} / \text{mg}_{MS}$ ]. Cette modélisation est présentée en annexe 8. Des résultats de cette modélisation sont présentés dans le Tableau 7 ci-après pour quelques représentants des polluants

d'intérêt émergent sélectionnés et non sélectionnés et différentes valeurs de MES et de  $f_{oc}$ .

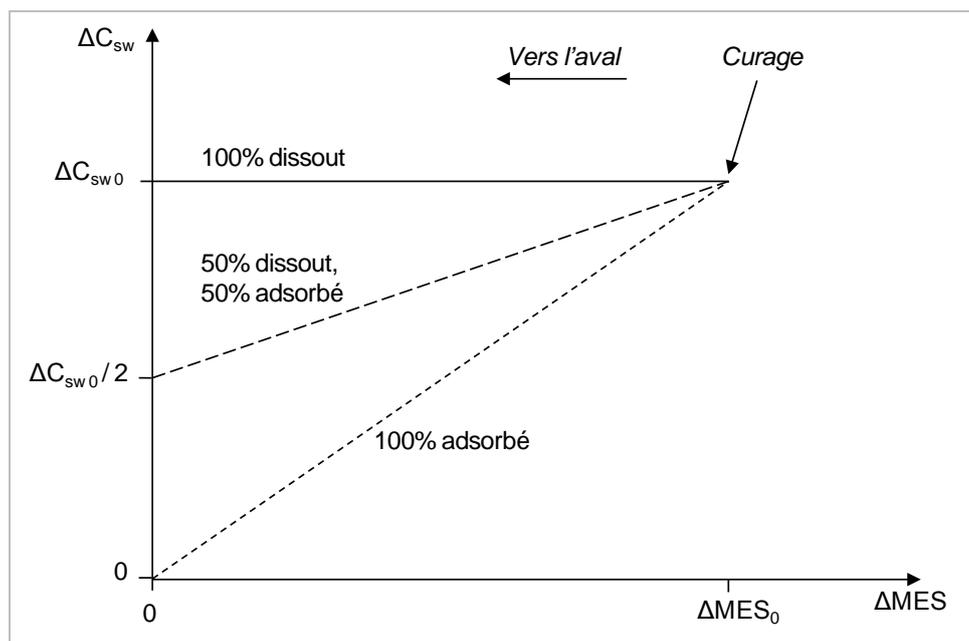


Figure 5: Corrélation attendue entre la teneur en polluant et la MES ajoutées dans l'eau en fonction de la répartition adsorbé/dissous du polluant dans la colonne d'eau au niveau du dragage

Tableau 7: Répartition modélisée entre phase adsorbée et phase dissoute du polluant dans la colonne d'eau pour quelques substances organiques

Substance	Koc Episuite	MES foc de MES				MES foc de MES				MES foc de MES			
		MES	foc de MES	Part du polluant dissout	Part du polluant adsorbé	MES	foc de MES	Part du polluant dissout	Part du polluant adsorbé	MES	foc de MES	Part du polluant dissout	Part du polluant adsorbé
	l/kg	mg <sub>MES</sub> /l	mg <sub>cc</sub> / mg <sub>MES</sub>	%	%	mg <sub>MES</sub> /l	mg <sub>cc</sub> / mg <sub>MES</sub>	%	%	mg <sub>MES</sub> /l	mg <sub>cc</sub> / mg <sub>MES</sub>	%	%
Di (2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	165400	20	0,06	83	17	230	0,06	30	70	230	0,14	16	84
4-(para)-nonylphénol (4-NPOH)	38260	20	0,06	96	4	230	0,06	65	35	230	0,14	45	55
Para-tert-octylphénol (4-tert OP)	9979	20	0,06	99	1	230	0,06	88	12	230	0,14	76	24
4 nonylphénol monoéthoxylé (4-NP1EO)	3049	20	0,06	100	0,4	230	0,06	96	4	230	0,14	91	9
Bisphénol A (BPA)	37670	20	0,06	96	4	230	0,06	66	34	230	0,14	45	55
2,2',4,4'-Tétrabromodiphényléther (BDE-47)	13230	20	0,06	98	2	230	0,06	85	15	230	0,14	70	30
Pentabromodiphényléther (BDE-99-100)	21660	20	0,06	97	3	230	0,06	77	23	230	0,14	59	41
Décabromodiphényléther (BDE-209)	276200	20	0,06	75	25	230	0,06	21	79	230	0,14	10	90
Tributylétain cation	8091	20	0,06	99	1	230	0,06	90	10	230	0,14	79	21
Dibutylétain cation	796	20	0,06	100	0,1	230	0,06	99	1	230	0,14	98	2
2 chloroaniline	115	20	0,06	100	0,01	230	0,06	100	0,2	230	0,14	100	0,4
Toluène	233,9	20	0,06	100	0,03	230	0,06	100	0,3	230	0,14	99	0,7
1,2,3 trichlorobenzène	1383	20	0,06	100	0,2	230	0,06	98	2	230	0,14	96	4
Pentachlorophénol	4959	20	0,06	99	1	230	0,06	94	6	230	0,14	86	14
Trichloroéthylène	60,7	20	0,06	100	0,01	230	0,06	100	0,1	230	0,14	100	0,2
Benzo (a) Pyrène	587400	20	0,06	59	41	230	0,06	11	89	230	0,14	5	95
Naphtalène	1837	20	0,06	100	0,2	230	0,06	98	2	230	0,14	94	6
Diuron	109,1	20	0,06	100	0,01	230	0,06	100	0,2	230	0,14	100	0,4
alpha Endosulfan	6761	20	0,06	99	1	230	0,06	91	9	230	0,14	82	18
gamma isomère - Lindane	2807	20	0,06	100	0,3	230	0,06	96	3,7	230	0,14	92	8,3

- MES de 20 mg/l : valeur correspondant au différentiel de MES observé entre les phases pendant et avant curage, en aval lointain du dragage (CLE3).
- MES de 230 mg/l : valeur correspondant au différentiel de MES observé entre les phases pendant curage, en aval proche du dragage (point 1) et avant curage dans le canal (données disponibles : CLE1-CLE2-CLE3).
- $f_{oc}$  de 6 % : médiane sur sédiments en Wallonie (INERIS, 2010) : contexte le plus proche du Nord-Pas-de-Calais (pas de données Nord-Pas-de-Calais)
- $f_{oc}$  de 14 % : moyenne de deux mesures sur sédiments du canal de Nimy-Blaton-Péronnes en Wallonie (INERIS, 2010) : contexte proche du Canal de Lens (pas de données Canal de Lens)

Selon une étude de Isobe *et al.*, 2001 dans des eaux de la métropole de Tokyo, 20 % des nonylphénols sont retrouvés au sein du milieu aquatique, dans la phase particulaire et 80 % dans l'eau elle-même. Ce résultat est compatible avec celui de la modélisation effectuée, selon la MES dans ces eaux et la fraction de carbone organique ( $f_{oc}$ ) dans cette MES.

Cette deuxième relation sera testée dans le suivi du dragage (§ 6.3.3.2 et suivants).

## 6. RESULTATS

Ci-après sont présentées les données acquises pendant les campagnes T<sub>0</sub> (initiale) et T<sub>1</sub> (pendant curage). Les résultats obtenus permettront d'envisager la réalisation de la campagne T<sub>2</sub> (après curage).

Les résultats des mesures physico-chimiques *in situ* et des analyses en laboratoire (MES, polluants suivis) sont détaillés respectivement en annexe 5 et en annexe 6.

### 6.1 Utilisation des NQE dans l'interprétation des résultats

A titre indicatif, les valeurs des NQE, lorsqu'elles sont disponibles, sont indiquées dans les tableaux où figurent les résultats analytiques obtenus à l'issue des campagnes T<sub>0</sub> et T<sub>1</sub>.

Pour une interprétation plus juste, ces NQE, qui se réfèrent à des concentrations dissoutes en polluant, ont été « converties » en NQE se référant à la concentration totale en polluant dans l'eau (y compris sur la phase particulaire), selon la formule suivante :

$$NQE_{\text{tot}} = NQE_{\text{diss}} * (1 + K_p * C_{\text{MES}} * 10^{-6})^{20}, \text{ où}$$

NQE<sub>tot</sub> : norme de qualité environnementale exprimée pour la concentration totale dans l'eau,

NQE<sub>diss</sub> : norme de qualité environnementale relative à la fraction dissoute du contaminant,

K<sub>p</sub> : coefficient de partage eau/sédiment (L/kg),

C<sub>MES</sub> : concentration en MES (mg/L).

La prise en compte de la quantité de MES présente dans les échantillons d'eau et de la part adsorbée des polluants peut en effet avoir une incidence importante pour les substances hydrophobes, en particulier dans un contexte de dragage où les concentrations en MES sont particulièrement élevées (l'incidence de cette « conversion » est donc plus grande pendant la phase de curage T<sub>1</sub> que pendant la phase avant curage, en T<sub>0</sub>).

Il est à noter cependant que, compte-tenu des incertitudes ou approximations (notamment sur les valeurs de paramètres tels que le K<sub>p</sub>, pour lequel la valeur utilisée pour les PBDE est une valeur « agrégée » pour plusieurs composés), ces valeurs ont principalement un rôle indicatif.

Enfin, compte-tenu des contextes dans lesquels ont été réalisées les deux campagnes, on signalera qu'il est plus pertinent :

- de comparer les concentrations mesurées pendant la campagne T<sub>0</sub> aux valeurs de NQE-MA ;
- de comparer les concentrations mesurées pendant la campagne T<sub>1</sub> aux valeurs de NQE-CMA.

Les deux normes sont cependant mentionnées, à titre indicatif, dans chacun des tableaux de résultats présentés dans cette partie.

---

<sup>20</sup> Formule issue du guide technique « Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards », disponible à l'adresse : <https://circabc.europa.eu/sd/d/0cc3581b-5f65-4b6f-91c6-433a1e947838/TGD-EQS%20CIS-WFD%2027%20EC%202011.pdf>

## 6.2 Campagne T<sub>0</sub> avant dragage

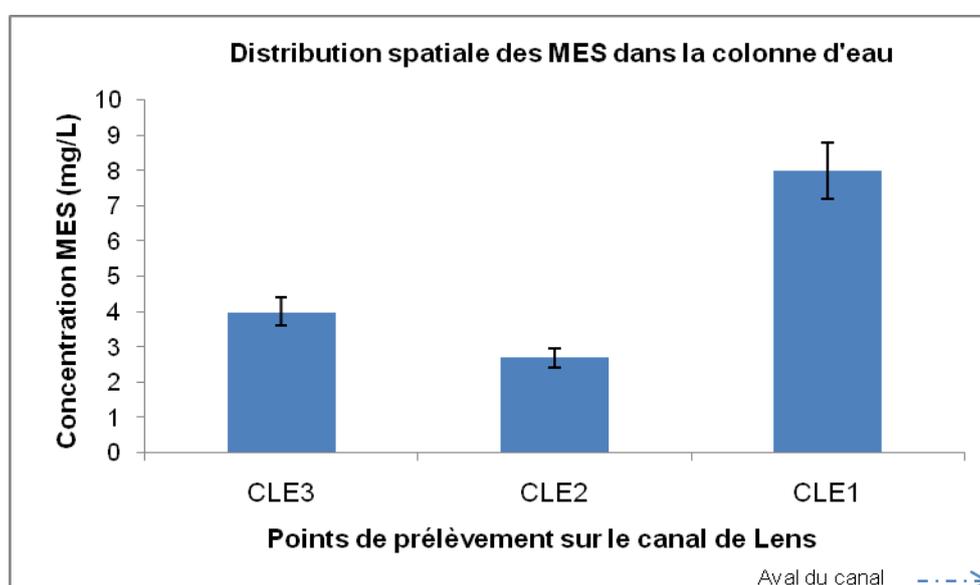
Les prélèvements des eaux ont été effectués le 23 avril 2010 sur les points dénommés CLE3, CLE2 et CLE1 (de l'amont vers l'aval, voir annexe 4). Ces points ont été choisis par l'équipe de l'École des Mines de Douai (pilote du projet GeDSeT) en s'appuyant sur la banque des données VNF (DIRNPdC<sup>21</sup>).

Au cours de la conservation au laboratoire des échantillons d'eau, les trois échantillons CLE3 et deux échantillons CLE1 sur trois ont été accidentellement détruits. Les analyses chimiques sur l'échantillon CLE1 restant ont été réalisées sur un volume de 440 mL au lieu d'un litre, d'où une limite de quantification multipliée par deux.

Les prélèvements ont été refaits 4 jours après (27 avril 2010), aux trois points CLE3, CLE2 et CLE1. Des références de laboratoire différentes les distinguent des échantillons CLE1 et CLE2 restant du 23 avril. Les doublons d'échantillons ont ainsi permis de suivre la variabilité temporelle sur quatre jours des concentrations pour deux points (CLE1 et CLE2).

### 6.2.1 Matières En Suspension (MES)

La Figure 6 présente la quantité de Matière En Suspension (MES) mesurée dans les échantillons d'eau prélevés à chaque point du canal avant curage le 27 avril 2010. La MES mesurée décroît légèrement entre CLE3 (point amont) et CLE2 (point intermédiaire). Le point le plus en aval, CLE1, se distingue par un niveau en MES particulièrement élevé (8 mg/L) par comparaison aux autres points. Cette quantité de matière en suspension représente le double de celle mesurée plus en amont au point CLE3 (4 mg/L).



*Incertitude sur la mesure = 10% (information orale du laboratoire)  
L'échelle des distances entre les points (en abscisse) n'est pas respectée ici*

**Figure 6 : MES mesurée dans la colonne d'eau avant curage**

<sup>21</sup> DIRrection Nord Pas de Calais VNF.

## 6.2.2 PBDEs

Le Tableau 8 présente les concentrations en PBDEs mesurées dans les eaux brutes (sans filtration) lors de la campagne T<sub>0</sub> ; les résultats sont tous inférieurs à la limite de quantification (LQ).

Pour la famille des PBDE, le seuil de qualité ou Norme de Qualité Environnementale (NQE) n'est établi que pour la somme des congénères 28, 47, 99, 100, 153 et 154, sous forme de moyenne annuelle.

En tout état de cause, les moyens analytiques mis en œuvre n'ont pas permis de descendre la limite de quantification en deçà des seuils de NQE. En l'absence de quantification, les échantillons ne peuvent donc pas être évalués par rapport à ces seuils.

**Tableau 8 : Concentrations totales en PBDE dans la colonne d'eau avant curage**

		Prélèvement du 23 avril 2010		Prélèvement du 27 avril 2010			NQE- Eau douce de surface		
		CLE2	CLE1 (aval)	CLE3 (amont)	CLE2	CLE1 (aval)	CMA	MA <sub>diss</sub>	MA <sub>tot</sub>
BDE28	ng/L	<2	<4	<2	<2	<2	S.O*	0,5 (somme BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154)	CLE1 : 0,61 CLE2 : 0,53 CLE3 : 0,56
BDE47		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE100		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE99		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE154		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE153		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE183		<2	<4	<2	<2	<2			
BDE209		<2	<4	<2	<2	<2			

*Incertitude sur la mesure ≈ 30%*

\* S.O: « Sans Objet ». Lorsque les NQE-CMA sont indiquées comme étant « sans objet », les valeurs retenues pour les NQE-MA sont considérées comme assurant une protection contre les pics de pollution à court terme dans les rejets continus, dans la mesure où elles sont nettement inférieures à celles définies sur la base de la toxicité aiguë (Arrêté du 25/01/2010)

## 6.2.3 DEHP

Le Tableau 9 présente les teneurs en DEHP mesurées dans les échantillons d'eau sur les points de prélèvement avant curage. La Figure 7 représente la distribution graphique de ces teneurs.

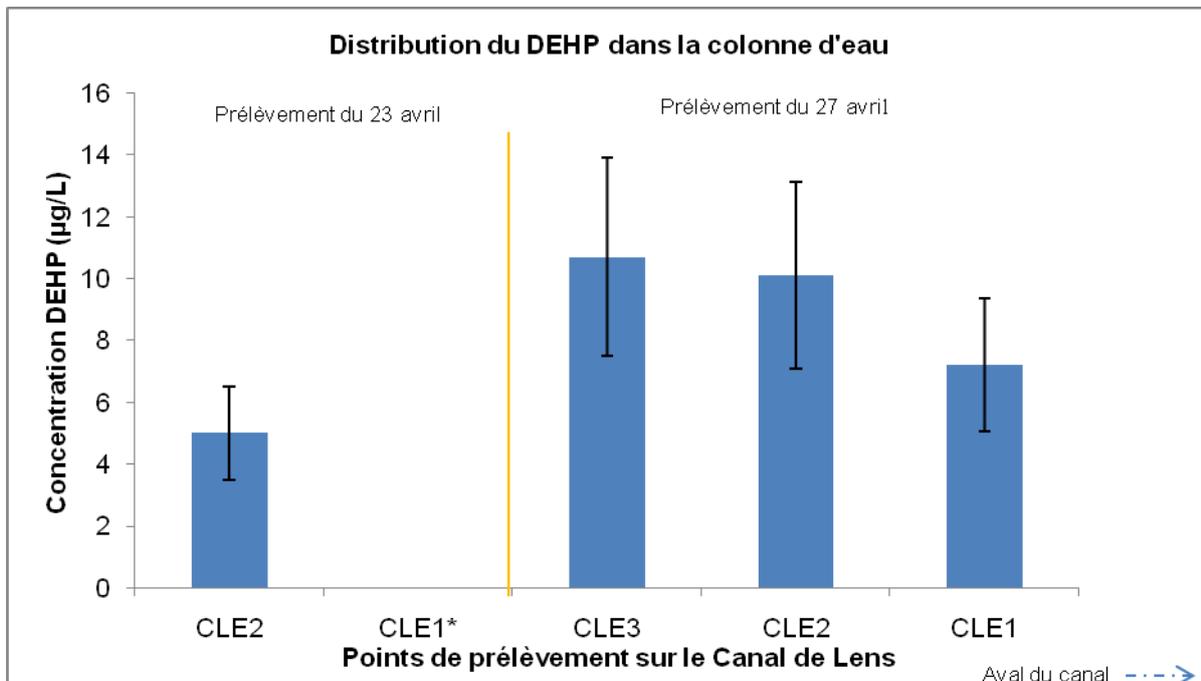
Les concentrations mesurées sont proches au regard de la variabilité sur chaque point, avec une tendance à la décroissance de l'amont vers l'aval du canal. En effet, le point CLE3, le plus en amont présente une concentration de 10,7 µg/L, le point CLE2 une valeur de 10,1 µg/L alors que le point CLE1 affiche une concentration de 7,2 µg/L.

**Tableau 9 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant curage**

Dates	Prélèvement du 23 avril 2010		Prélèvement du 27 avril 2010			NQE- Eau douce de surface		
	CLE2	CLE1 (aval)	CLE3 (amont)	CLE2	CLE1 (aval)	CMA	MA <sub>diss</sub>	MA <sub>tot</sub>
DEHP (µg/L)	5	<4	10,7	10,1	7,2	S.O	1,3	CLE1 : 1,39 CLE2 : 1,33 CLE3 : 1,34

*Incertitude sur la mesure ≈ 30%*

S.O : cf. Légende du Tableau 8.



(CLE1\* < LQ = 4 µg/L)

Incertitude sur la mesure ≈ 30%

L'échelle des distances entre les points (en abscisse) n'est pas respectée ici

**Figure 7 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant curage**

Les résultats mettent en évidence une variation temporelle conséquente des teneurs en DEHP entre le premier prélèvement (23 avril) et le deuxième (27 avril). La concentration en DEHP passe d'une valeur inférieure à la limite de quantification (de 4 µg/L) à une valeur de 7,2 µg/L au point CLE1 (Tableau 9), et double sur le point CLE2 (5 à 10,1 µg/L) (Figure 7).

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau, seule une NQE-MA est établie pour le DEHP. La limite de quantification des analyses étant supérieure à la NQE-MA<sub>tot</sub> correspondante, l'échantillon CLE1 du 23 avril 2010 ne peut pas être situé par rapport à ce seuil. En revanche, on observe un net dépassement de la NQE-MA dans les autres échantillons (d'un facteur 4 ou plus), et ce à deux reprises en CLE2.

## 6.2.4 Alkylphénols, leurs éthoxylates et bisphénol A

Le Tableau 10 présente résultats des mesures en Alkylphénols, leurs éthoxylates et en bisphénol A (BPA) dans les échantillons d'eau. Sur 8 paramètres suivis, seuls les isomères 4 n NPOH1 et 4-ter-OP1EO sont en dessous de la limite de quantification sur tous les points.

Tableau 10 : Concentrations totales en Alkylphénols, éthoxylates et bisphénol A dans la colonne d'eau avant curage

en µg/L	CAS	Prélèvement du 23 avril 2010		Prélèvement du 27 avril 2010			NQE-Eau douce de surface			
		CLE2 <sup>22</sup>	CLE1 (aval)	CLE3 (amont)	CLE2	CLE1 (aval)	CMA <sub>diss</sub>	CMA <sub>tot</sub>	MA <sub>diss</sub>	MA <sub>tot</sub>
4-ter-OP	140-66-9	1,3	5,7	20	<0,1	6,4	S.O	S.O.	0,12	CLE1 : 0,138 CLE2 : 0,126 CLE3 : 0,129
4 NPOHs	84852-15-3	98	9,5	23	118	78	2	CLE1 : 2 CLE2 : 2 CLE3 : 2	0,3	CLE1 : 0,3 CLE2 : 0,3 CLE3 : 0,3
4-n-NPOH1	104-40-5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
4-ter-OP1EO	2315-67-5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
4-NP1EO	26027-38-3	9,7	5,3	19	<0,1	21				
BPA	80-05-7	85	1,8	2,4	2,2	1,4				
4-ter-OP2EO	2315-61-9	484	11,7	8	3,2	6,9				
4-NP2EO	15609-10-8	90	80	153	114	86				

Incertitude sur la mesure ≈ 30%

S.O : cf. Légende du Tableau 8.

Le Tableau 10 met également en évidence des variations spatio-temporelles des concentrations. En effet, des variations de plus d'un ordre de grandeur sont observées d'un point à un autre à une date donnée, et d'un jour à l'autre (4 jours plus tard) en un même point. Ces variations ne sont pas univoques, ni corrélées à la position sur le canal, et les variations entre points (CLE1 et CLE2) ne sont pas stables d'une date à l'autre. Ainsi :

- le rapport des concentrations mesurées sur CLE2 (point intermédiaire) et CLE1 (point aval) s'échelonne entre ¼ (4-ter OP) et 50 (BPA), en passant par 1, 2, 10, 40 pour les échantillons du 23 avril ;
- le même type de disparité s'observe entre les échantillons CLE1, CLE2 et CLE3 du 27 avril ;
- ces rapports sont totalement différents, et parfois inversés lors de la campagne du 27 avril (par ex. 40 à 0,5 pour le 4-tert-OPE2O) ;
- sur les prélèvements du 27 avril, les concentrations mesurées en CLE2 (point intermédiaire) ne se situent entre les concentrations mesurées en CLE1 et CLE3 que sur 2 (BPA et 4-n P2EO) des 6 paramètres détectés ; elles présentent des minima marqués (facteur 1/60 pour 4-ter OP, facteur ½ pour 4-ter-OP2EO). L'échantillon CLE2 du 23 avril se distingue de tous les autres par des concentrations en BPA et 4-ter-OP2EO plus de 30 fois supérieures alors

<sup>22</sup> Avec un « très mauvais rendement de récupération des étalons internes ».

que toutes les autres concentrations dans l'échantillon CLE2 de la même date se situent dans les gammes de valeurs rencontrées sur les autres échantillons.

La répartition entre alkylphénols des concentrations totales observées dans chaque échantillon d'eau<sup>23</sup> est présentée à la Figure 8.

Les alkylphénols les plus représentés en proportion sont :

- le 4-NP2EO : 43 à 70%, hormis dans l'échantillon CLE2 du 23 avril (12%) ;
- le 4-NPOH : 8 à 50% ;
- le 4-ter-OP2EO et le BPA uniquement en CLE2 le 23 avril (respectivement 63% et 11%).

A l'opposé, les composés les moins retrouvés sont (hors CLE2) 4-NP1EO, BPA, 4-ter-OP2EO, 4-ter OP et 4 n NPOH1. Ils atteignent rarement 10% de la concentration en alkylphénols dans un échantillon d'eau à chaque point (Figure 8).

Les deux substances de cette famille pour lesquelles des NQE ont été définies sont :

- le 4-nonylphénol (4-NPOH), qui représente la grande majorité des nonylphénols (80%) dans les mélanges techniques commerciaux<sup>24</sup>, et pour lequel seul une NQE-MA est établie,
- le 4-tert-octylphénol (4-ter-OP), qui dispose d'une NQE-CMA et d'une NQE-MA ; on notera pour ce composé que les valeurs calculées sur la fraction totale ne diffèrent pas des valeurs de référence établie pour la fraction dissoute : ceci est lié à la très faible affinité de cette substance pour la matière en suspension ( $K_p$  très faible).

On constate que pour ces deux substances, les concentrations mesurées dépassent largement la NQE-MA lorsqu'elle existe, et également la NQE-CMA (sauf au point CLE2 lors du second prélèvement pour le 4-ter-OP).

On observe également une forte variation temporelle et spatiale des teneurs se traduisant par :

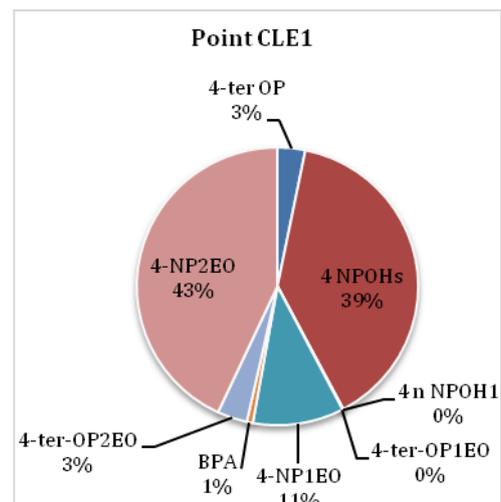
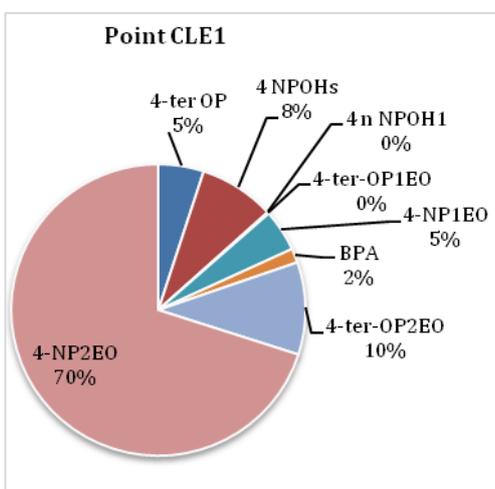
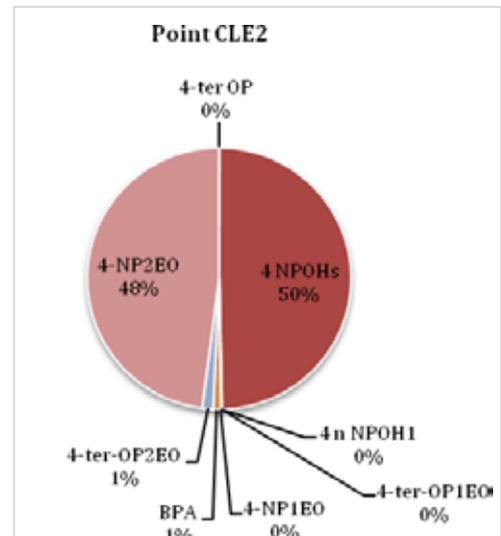
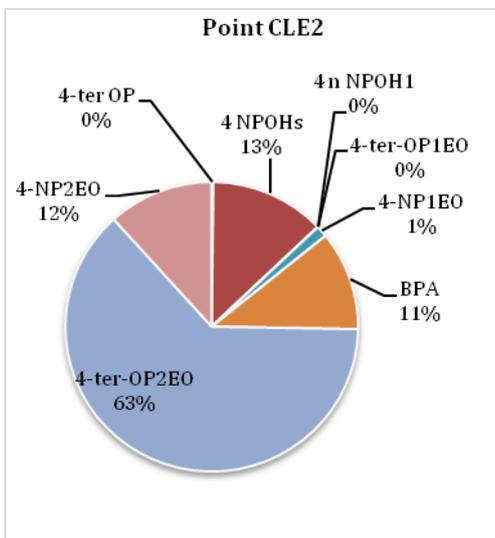
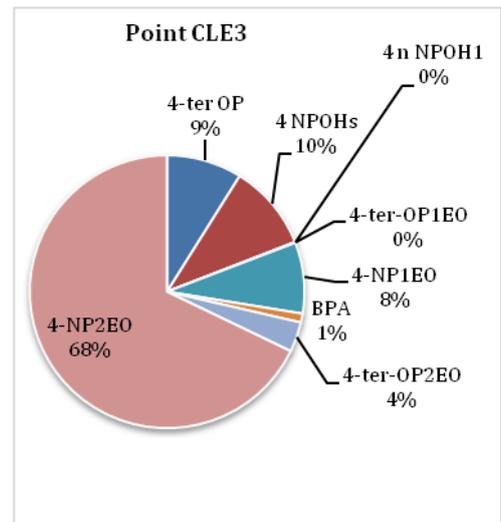
- des pics au point CLE2 (98 et 118  $\mu\text{g/L}$ ) ;
- un facteur d'augmentation proche de 10 entre les deux dates de prélèvement au point CLE1 (9,5  $\mu\text{g/L}$  à 78  $\mu\text{g/L}$ ).

---

<sup>23</sup> Afin de prendre en compte les échantillons d'eau avec une mesure inférieure à la limite de quantification, nous avons décidé d'estimer la valeur de la mesure par la limite de quantification lors de la représentation graphique des concentrations. Certaines concentrations (en pourcentage de l'échantillon total) sont ainsi tirées vers le haut.

<sup>24</sup> cf. INERIS 2004 : Etude de l'analyse des alkylphénols. Rapport final, INERIS DRC-04-59501-CHEN-RNg-05.0113

Amont



Aval

Figure 8 : Répartitions entre Alkylphénols et apparentés dans les échantillons d'eau du canal lors de la campagne T<sub>0</sub>

### 6.3 Campagne T<sub>1</sub> pendant dragage

Les investigations ont été menées pendant cette campagne de façon à mesurer l'amplitude ainsi que l'étendue spatiale et journalière des perturbations du système potentiellement induites par le curage.

Le suivi du panache généré en aval du chantier de curage s'est effectué sur une distance d'environ 2 km. L'idée de départ était de recouper les points témoins de la caractérisation du système avant curage CLE3, CLE2 et CLE1 (voir annexe 4), mais les contraintes de terrain (principalement la panne de moteur de l'embarcation) ne nous ont pas permis de dépasser le point CLE3.

En outre, les paramètres physico-chimiques mesurés en temps réel se sont stabilisés avant ce point, ce qui rendait moins nécessaire d'aller au-delà. Le point CLE3 est donc le plus en aval de cette campagne (voir annexe 4), et le seul point commun aux deux campagnes.

#### 6.3.1 Suivi de la colonne d'eau : variation des paramètres physico-chimiques à l'aval de l'atelier de curage

Les profils des paramètres physico-chimiques in situ<sup>25</sup> sont obtenus à l'aide de la sonde multiparamètre Horiba U-23 (annexe 5). La matière en suspension MES a été mesurée en laboratoire suivant la méthode normalisée. Les résultats bruts sont présentés dans les annexes 5 et 6.

Les tracés des profils sont présentés et commentés ci-dessous.

##### 6.3.1.1 Variation de la turbidité et de la charge en MES

La Figure 9 présente les valeurs de turbidité en NTU<sup>26</sup> mesurées en aval du curage. On y observe une diminution progressive des valeurs en aval du chantier. On passe d'un maximum proche de 3000 NTU à environ 100 mètres du chantier à des valeurs qui tendent à se stabiliser à partir de 1 200 m. Au delà de cette distance, le profil est marqué par un rebond entre 1 700 m et 2 660 m, avec un maximum relatif de 1 375 NTU mesuré à 2,24 km du chantier.

Parallèlement, la charge en MES mesurée pendant curage décroît de façon continue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du chantier de curage vers l'aval (Figure 10). La valeur maximale de la concentration en MES est de 237 mg/L à environ 100 m du curage (point 1), puis cette valeur diminue progressivement jusqu'à se stabiliser à une valeur moyenne de 25 mg/L à partir de 1 380 m.

Cette distribution spatiale de la charge en MES pendant curage correspond bien à ce qui a été observé pour l'évolution des valeurs de turbidité en aval du chantier de

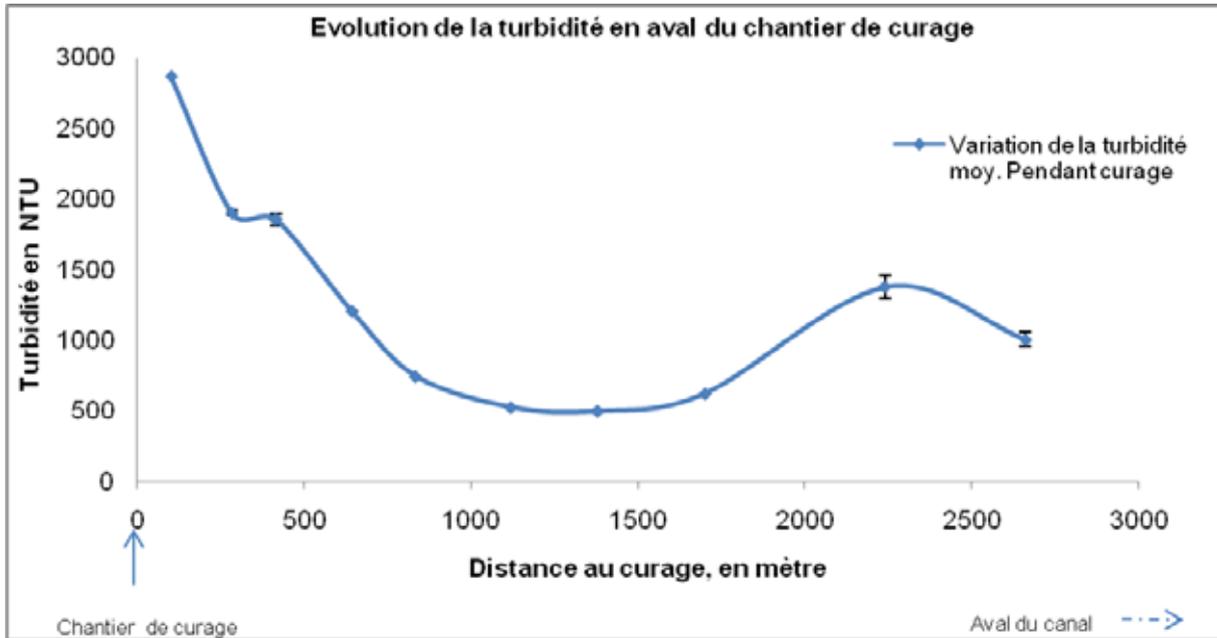
---

<sup>25</sup> Les mesures ne sont pas réalisées en continu mais point par point de façon systématique. Le chantier de curage étant mobile, notre progression et le choix des points étaient fonction des variations (saut des valeurs) de la turbidité vers l'aval. A chaque point, deux mesures ont été réalisées. Les profils sont tracés à partir de la moyenne de ces mesures. Ces mesures n'ont pas été réalisées lors de la campagne T<sub>0</sub>, car considérées au départ comme des paramètres d'accompagnement spécifiquement lors du curage.

<sup>26</sup> Unité de Turbidité Néphélométrique.

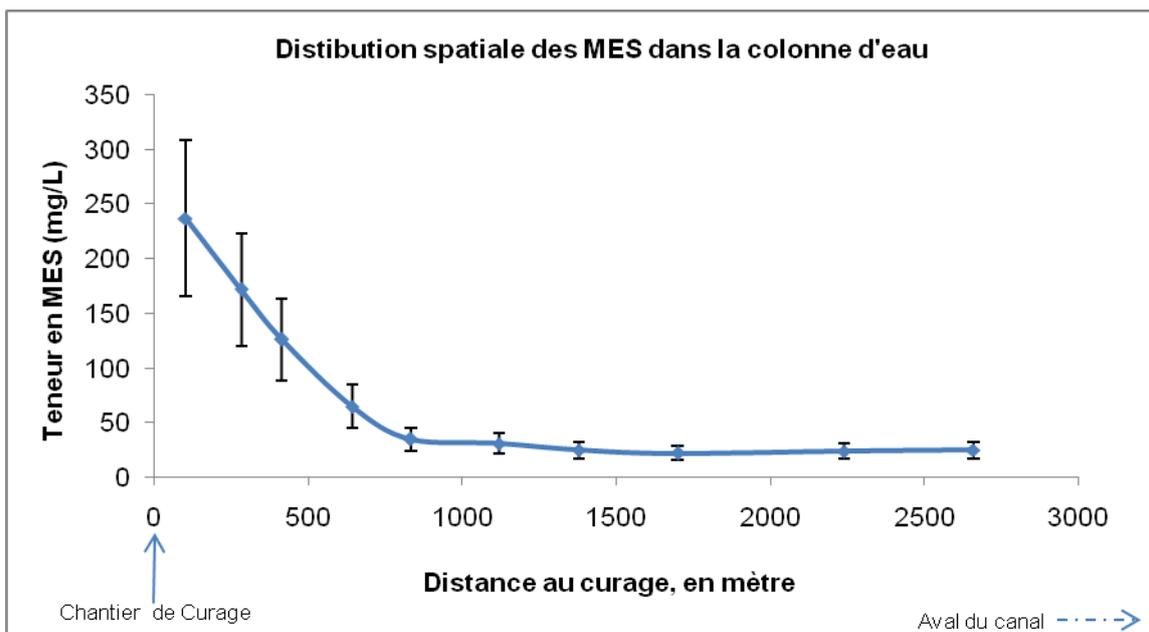
curage (voir ci-dessous Figure 9), si ce n'est que le rebond observé entre 1 700 m et 2 660 m n'est pas marqué pour la MES.

La distribution spatiale de la MES avant et pendant curage est donnée par la Figure 11. Sur tous les points d'échantillonnage pendant curage, la charge en MES mesurée est significativement supérieure aux valeurs observées dans les échantillons avant curage. Le point commun CLE3 montre bien que la concentration pendant curage est 5 fois supérieure à celle mesurée dans l'échantillon d'eau avant la perturbation.



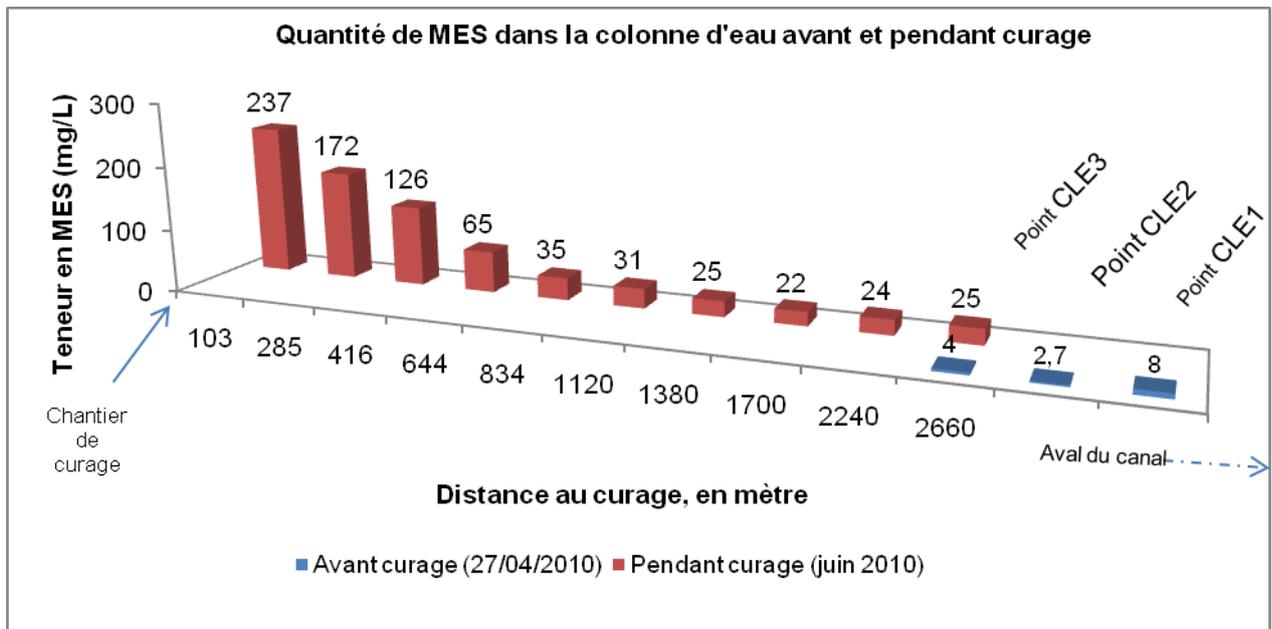
Barres d'erreur verticales avec écart-type. Les valeurs présentées en ordonnée sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point.

Figure 9 : Variation de la turbidité en aval de l'atelier de curage



Incertitude sur la mesure = 10% (laboratoire). Barres d'erreur verticales avec écart-type. Les valeurs présentées en ordonnée sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point.

Figure 10 : MES mesurée dans la colonne d'eau pendant curage



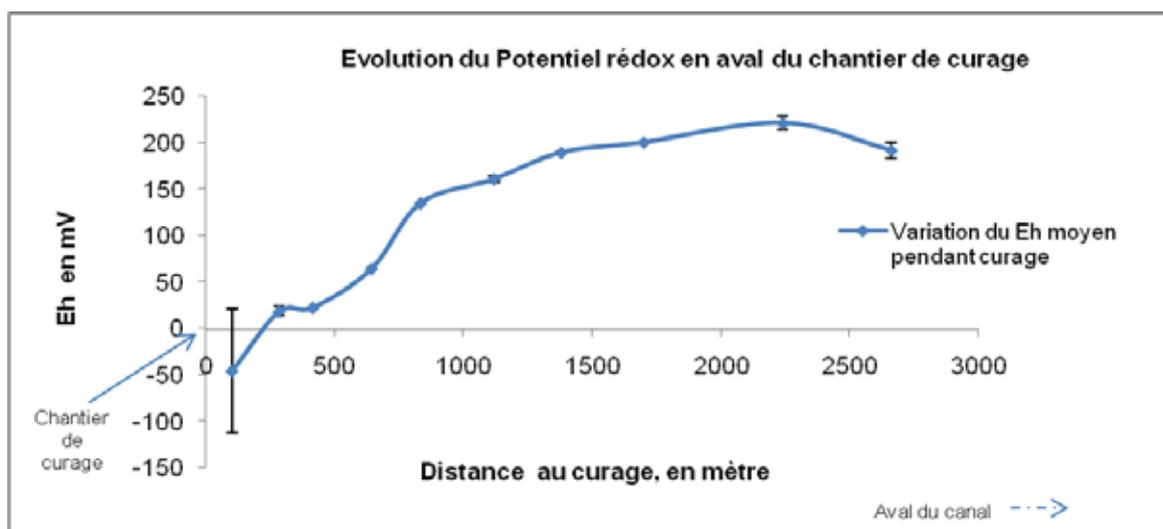
L'échelle des distances entre les points (en abscisse) n'est pas respectée ici

Figure 11 : Comparaison de la MES mesurée dans la colonne d'eau avant et pendant curage

### 6.3.1.2 Variation du potentiel redox Eh et du pH

On observe une augmentation nette du potentiel redox vers l'aval du chantier sur les 2,7 km du suivi réalisé (Figure 12). A proximité du chantier (environ 100 m), on mesure un potentiel négatif de -45,5 mV (potentiel réducteur). Au delà de cette distance, les potentiels mesurés sont positifs (potentiels oxydants) et croissent, hormis une légère diminution (de 225 mV à 195 mV) sur les derniers points.

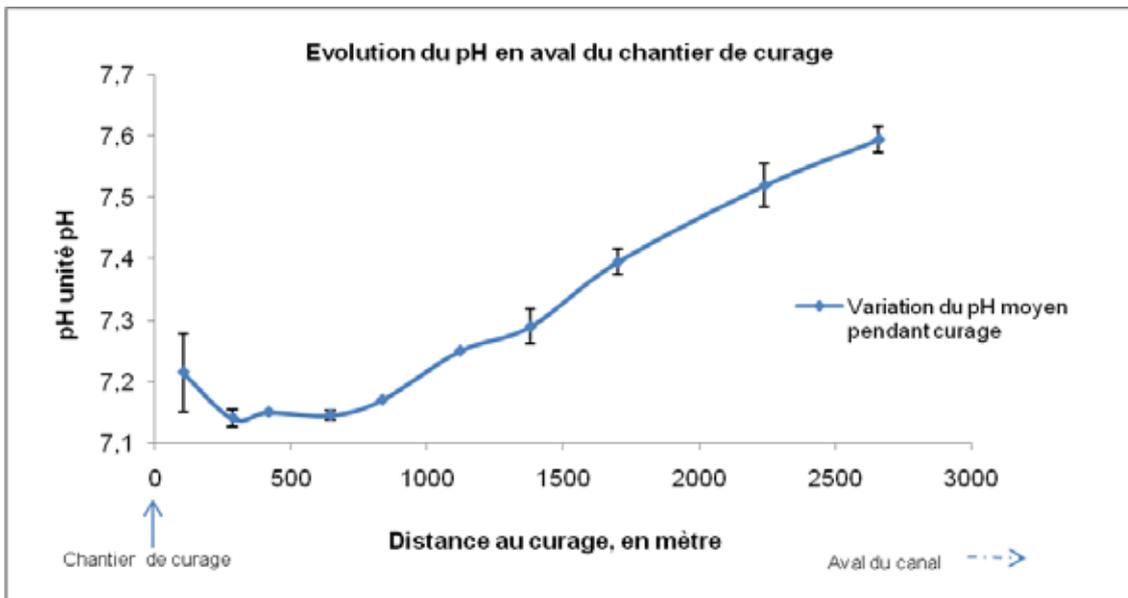
Le profil de pH obtenu (Figure 13) montre une relative stabilité à l'aval du chantier sur environ 800 m autour de 7,2 puis une augmentation sur le reste du parcours jusqu'à une valeur maximale de 7,6 à 2,7 km du chantier.



Barres d'erreur verticales avec écart-type

Les valeurs présentées sur la figure (en ordonnée) sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point

Figure 12 : Variation du potentiel redox en aval du chantier de curage



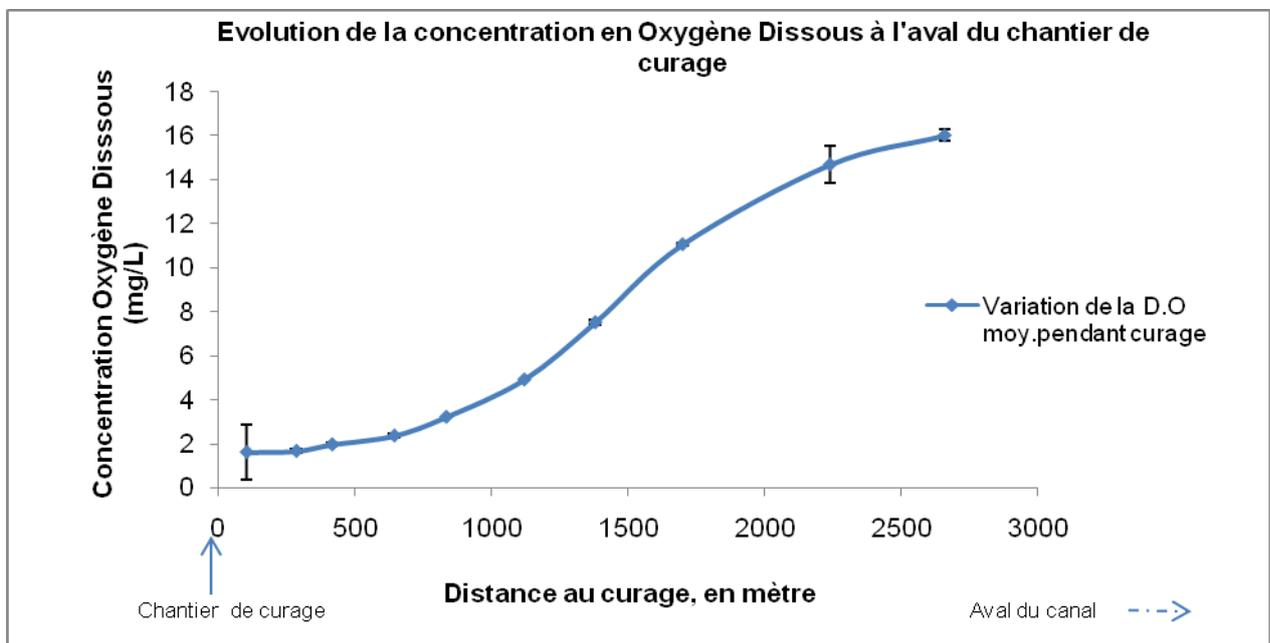
Barres d'erreur verticales avec écart-type

Les valeurs présentées sur la figure (en ordonnée) sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point

Figure 13 : Variation du pH en aval du chantier de curage

### 6.3.1.3 Variation de la concentration en oxygène dissous (DO)

La Figure 14 met en évidence une augmentation régulière des concentrations en oxygène dissous à l'aval de l'atelier de curage, de 1,6 mg/L au point 1 à proximité du curage à 16 mg/L au dernier point (2,7 km).



Barres d'erreur verticales avec écart-type

Les valeurs présentées sur la figure (en ordonnée) sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point

Figure 14 : Variation de la concentration en Oxygène Dissous en aval du chantier de curage

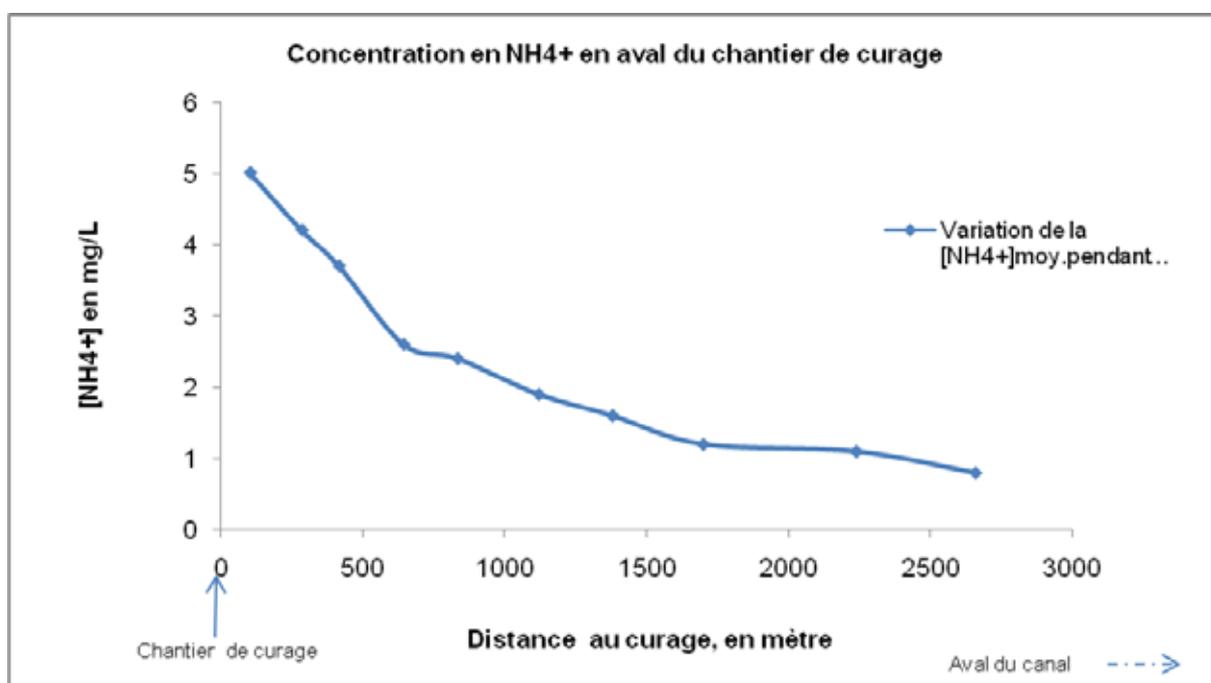
### 6.3.1.4 Variation des formes azotées en aval du chantier

Les espèces azotées considérées sont celles du couple redox ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )/nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ),  $\text{NH}_4^+$  étant la forme réduite et  $\text{NO}_3^-$  la forme oxydée.

La Figure 15 et la Figure 16 correspondent respectivement aux profils de concentrations en  $\text{NH}_4^+$  (obtenues après filtration des échantillons d'eau de surface sur chaque point) et  $\text{NO}_3^-$  mesuré *in situ* en aval du chantier.

La concentration en  $\text{NH}_4^+$  décroît progressivement en aval du chantier de curage. La concentration maximale est mesurée à proximité du chantier (5 mg/L à environ 100 m du chantier) alors que la concentration minimale est mesurée en aval au dernier point (0,8 mg/L à environ 2,7 km du chantier).

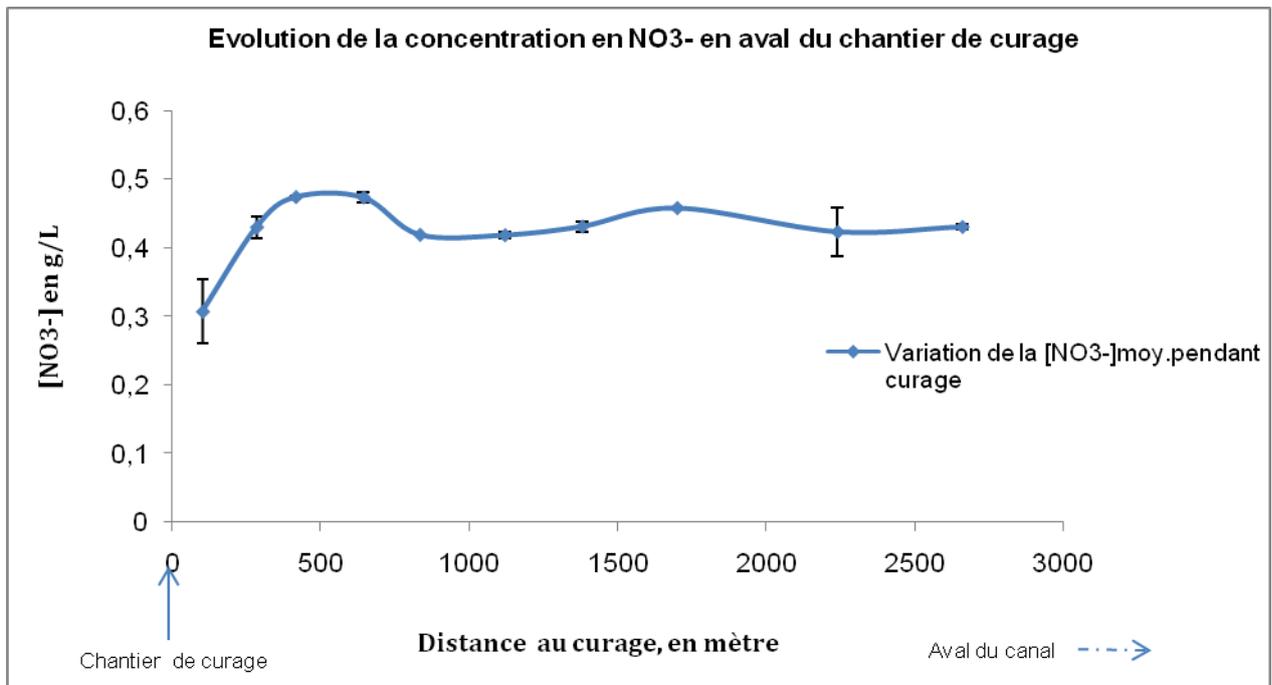
Dans le même temps, la concentration en  $\text{NO}_3^-$  (Figure 16) augmente sur les 400 premiers mètres avant de se stabiliser, de 0,3 g/L à 100 m environ du chantier à un peu moins de 0,5 g/L à 416 m.



Incertitude sur la mesure non communiquée  
Concentrations obtenues après filtration<sup>27</sup> de chaque échantillon

Figure 15 : Variation de la concentration  $\text{NH}_4^+$  en aval du chantier de curage

<sup>27</sup> Une erreur de paramétrage de la sonde multiparamètre a engendré une mesure *in situ* fautive de ce paramètre. Il s'agit d'un élément très soluble, peu adsorbé sur la MES, dont la concentration mesurée reste quasiment la même après filtration.



Barres d'erreur verticales avec écart-type  
 Les valeurs présentées sur la figure (en ordonnée) sont obtenues en faisant la moyenne de deux mesures par point

**Figure 16 : Variation de la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en aval du chantier**

### 6.3.2 PBDE, DEHP et AP dans les sédiments de curage et dans les échantillons d'eau

Les concentrations en PBDE, DEHP et AP mesurées dans le sédiment composite et dans les échantillons bruts des eaux prélevées sur les dix points du suivi sont reportées et représentées ci-après. Les bordereaux d'analyse sont reproduits en annexe 6.

#### 6.3.2.1 PBDEs

L'analyse du sédiment composite de curage ne montre aucune trace de cette famille de composé. Les concentrations mesurées sont en dessous de la limite de quantification des appareils de mesure (Tableau 11).

Seule la moitié des PBDEs analysés est détectée dans les eaux pendant curage, et uniquement sur les 6 points les plus proches du curage (BDE47, BDE154, BDE153 et BDE209 nettement prédominant). Les concentrations détectées les plus importantes sont mesurées sur les deux premiers points. Elles décroissent ensuite avec la distance au curage.

En l'absence de valeurs pour les NQE-CMA, les teneurs mesurées sont comparées aux NQE-MA<sub>diss</sub> pour chacun des points de mesure : on constate un dépassement des seuils de référence pour les 3 premiers points de mesure, soit sur une distance d'environ 400 m.

**Tableau 11 : Concentrations totales en PBDE dans la colonne d'eau pendant curage et dans l'échantillon composite de sédiments**

Unités	ng/L										µg/kg sur sec			
	29 juillet 2010										NQE- Eau douce de surface			30 juillet 2010
Réf.	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	CMA	MA <sub>diss</sub>	MA <sub>tot</sub>	Sédiment composite de dragage
BDE28	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	S.O	0,5 (BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154)	Pt 1 : 3,8 Pt 2 : 2,9 Pt 3 : 2,3 Pt 4 : 1,4 Pt 5 : 0,99 Pt 6 : 0,93 Pt 7 : 0,85 Pt 8 : 0,81 Pt 9 : 0,83 Pt 10 : 0,85	<3
BDE47	4,6	5,6	2,3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2				<3
BDE100	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2				<3
BDE99	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2				<3
BDE154	3,2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2				<3
BDE153	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2				<3
Somme des congénères 28, 47, 99, 100, 153 et 154	≥9,8	≥5,6	≥2,3	≥0	≥0	≥0	≥0	≥0	≥0	≥0				
BDE183	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2			<3	
BDE209	151	301	72	26	<20	24	<20	<20	<20	<20			<30	

Incertitude sur la mesure ≈ 30%

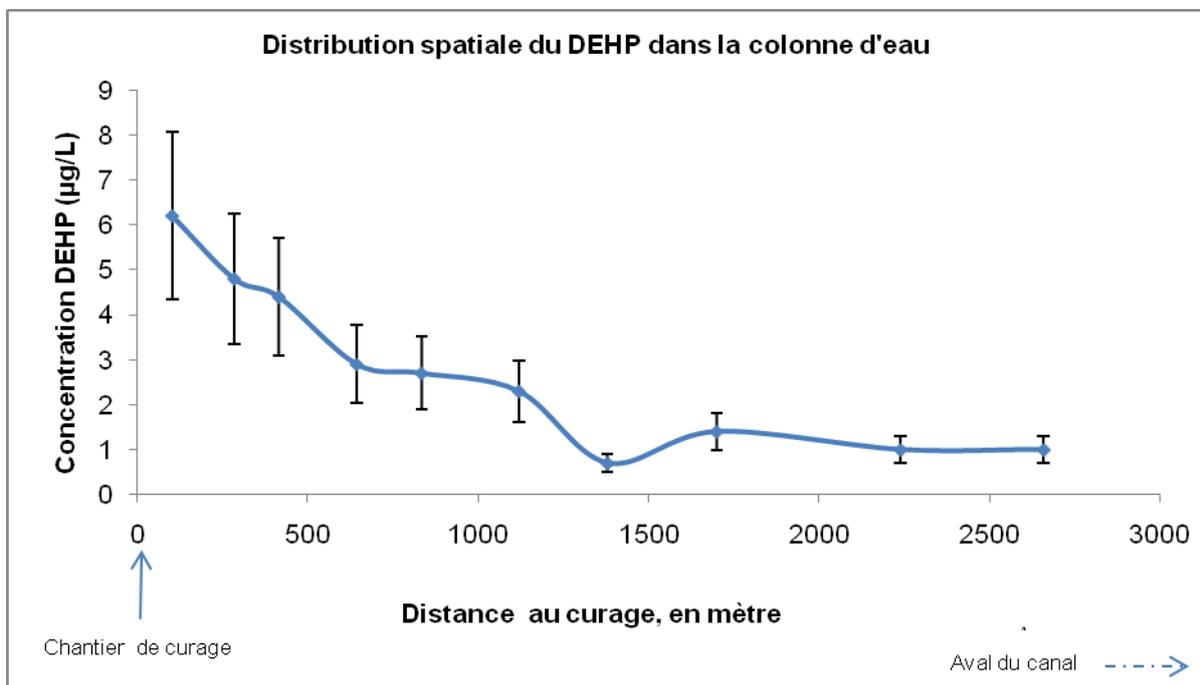
Ainsi, la comparaison des données acquises avant curage (Tableau 8) aux données pendant curage (Tableau 11) montre un passage de la non détection sur les points

de caractérisation initiale CLE1, CLE2 et CLE3 à une détection 1 000 m environ en amont de ces trois points, et plus marquée à proximité du curage.

### 6.3.2.2 Dosage du DEHP

L'analyse effectuée sur le sédiment composite de curage révèle une concentration en DEHP de 0,9 mg/kg (cf. annexe 6).

La Figure 17 ci-dessous montre la variation des concentrations en DEHP dans les échantillons d'eau prélevés sur les 10 points du canal dans le contexte de curage. On observe une décroissance quasi-continue des teneurs en DEHP en aval du chantier de curage depuis 6,2 µg/L à environ 100 m du chantier (point 1) jusqu'à 0,7 µg/L (1,38 km du chantier - point 7) puis une stabilisation sur le reste du cours à environ 1 µg/L.



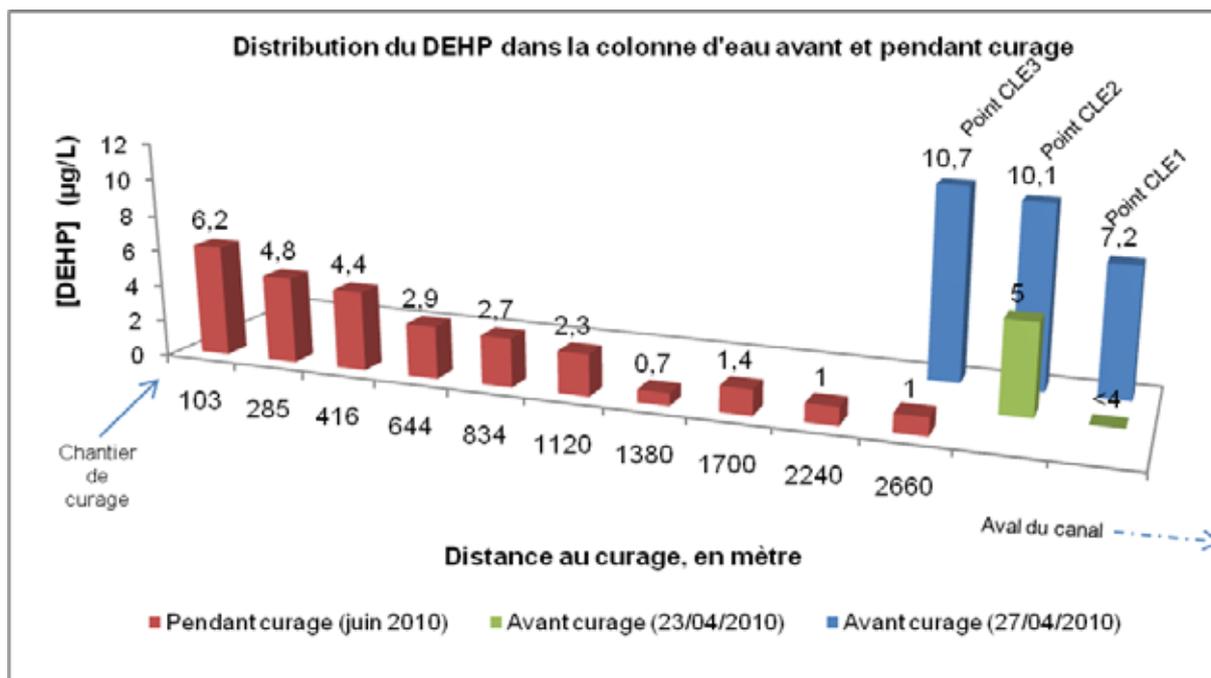
Incertitude sur la mesure  $\approx$  30% (laboratoire)

Figure 17 : Concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau pendant curage

La comparaison de la situation avant curage (données du 23 et 27 avril 2010) et pendant curage (données du 30 juin 2010) pour DEHP est donnée par la Figure 18.

Une comparaison par point stricte ne peut s'effectuer que sur un seul point (CLE3 = Point 10)<sup>28</sup>. Toutefois, on observe que les teneurs en DEHP dans les échantillons d'eau prélevés avant curage le 27/04/2010 sont toutes supérieures à celles mesurées dans les échantillons d'eau prélevés pendant curage 3 mois plus tard (et la plupart à celles mesurées en CLE2 le 23/04/2010). La comparaison au point commun CLE3 aux deux campagnes révèle une concentration avant curage 10 fois supérieure.

<sup>28</sup> Le contexte d'échantillonnage pendant curage (campagne T<sub>1</sub>) n'a pas permis de recouper tous les points de caractérisation avant curage. La panne de moteur principalement n'a permis d'atteindre que le point CLE3 de la campagne T<sub>0</sub>; ce dernier correspond donc au Point 10 de la campagne T<sub>1</sub>.



L'échelle des distances entre les points (en abscisse) n'est pas respectée ici

Figure 18 : Comparaison des concentrations totales en DEHP dans la colonne d'eau avant et pendant curage

### 6.3.2.3 Dosage des Alkylphénols, de leurs éthoxylates et du bisphénol A

Le Tableau 12 montre que tous les éléments du groupe des AP sont détectés dans le sédiment composite et dans les eaux brutes, à l'exception du 4-NP2EO.

La concentration en alkylphénols mesurée dans le sédiment est représentée à 97% par le 4 NPOH et à 3% par le BPA (Figure 19).

Sur les 8 paramètres suivis pour cette famille, seuls deux paramètres sont quantifiés sur la totalité des échantillons d'eau (Tableau 12). Il s'agit du 4 NPOHs et du 4-NP1EO. Le reste des paramètres présente des concentrations parfois en dessous de la limite quantifiable sur certains points.

Dans l'eau, les concentrations les plus importantes sont mesurées pour les 4-NPOHs et le 4-NP1EO, selon les échantillons (Tableau 12). Les maxima absolus sont atteints très nettement pour les NPOHs, avec des teneurs supérieures à 10 µg/L (jusqu'à 77 µg/L au point 5) contre des teneurs toutes inférieures à 7 µg/L pour le 4-NPE1O. Le BPA n'est détecté qu'en deux points, juste à la limite de quantification de 0,1 µg/L.

Concernant les deux substances pour lesquelles des normes de qualité environnementales, on constate que :

- pour le 4-NPOHs, les concentrations mesurées dépassent la NQE-CMA dans 9 des 10 points de mesure, jusqu'à un facteur 38 au point 5 à 834 m du chantier (77,3 µg/L) ; la NQE-MA, plus faible que la NQE-CMA est *a fortiori* dépassée pour cette substance ;
- en l'absence de NQE-CMA pour le 4-ter-OP, les concentrations mesurées sont comparées aux NQE-MA : celles-ci sont également dépassées aux points 4 et 8, d'environ un ordre de grandeur.

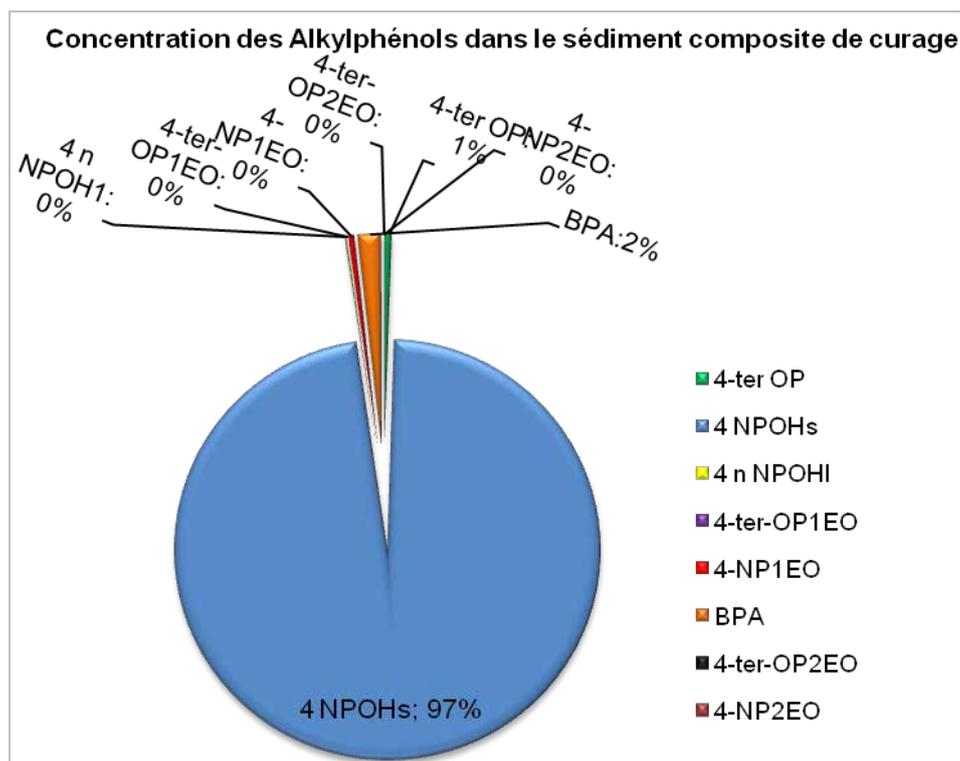


Figure 19 : Répartition entre alkylphénols dans l'échantillon composite de sédiment

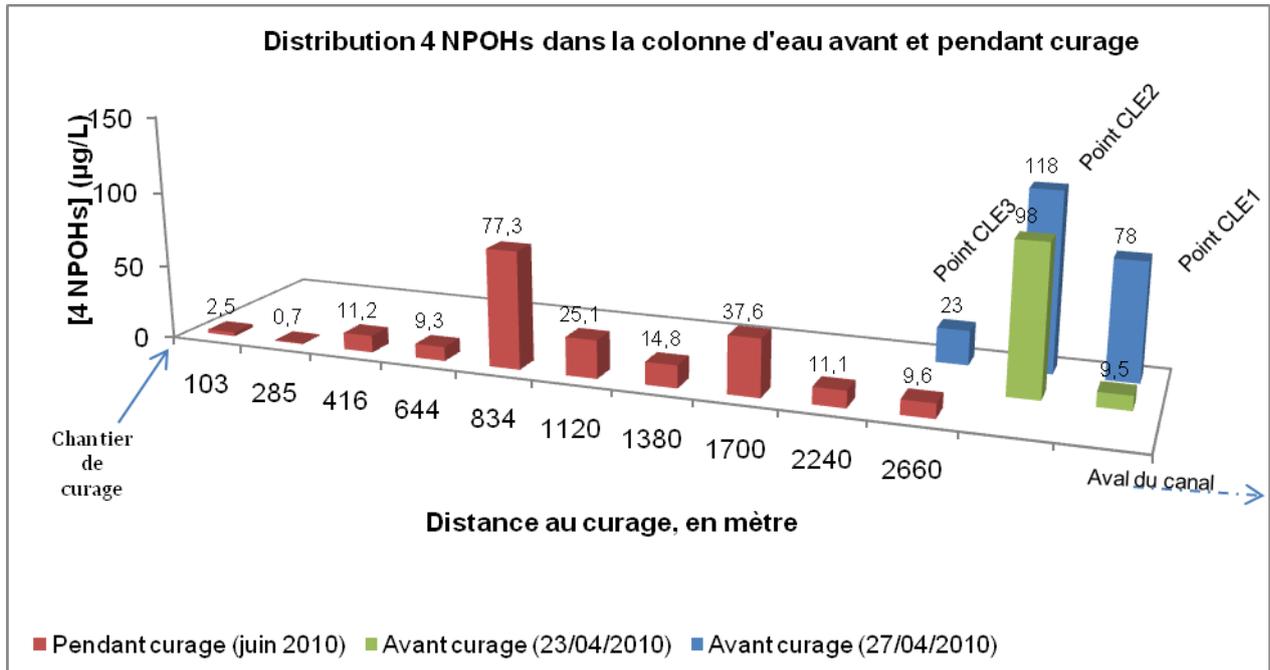
Tableau 12 : Concentrations totales des Alkylphénols dans la colonne d'eau pendant curage et dans l'échantillon composite de sédiments

Unités	µg/L										mg/kg				
Date d'échantillonnage : 29 juin 2010											NQE-Eau douce de surface				30 juin 2010
Réf.	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Pt 10	CMA <sub>diss</sub>	CMA <sub>tot</sub>	MA <sub>diss</sub>	MA <sub>tot</sub>	Séd. comp.* de dragage
4-ter OP	0,1	<0,1	<0,1	1,3	0,1	<0,1	0,1	1,2	<0,1	<0,1	S.O	S.O.	0,1	Entre 0,14 (pt 8) et 0,5 (pt 1)	3,9
4 NPOHs	2,5	0,7	11,2	9,3	77,3	25,1	14,8	37,6	11,1	9,6	2	Entre 2 et 2,1	0,3	Entre 0,3 et 0,32	765
4 n NPOHI	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2					0,97
4-ter-OP1EO	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					0,12
4-NP1EO	2,9	1,6	4,5	1,7	2,5	5,1	1,1	4,3	6,4	4,7					3,46
BPA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					13,5
4-ter-OP2EO	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1					0,1
4-NP2EO	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7					<0,2

Incertitude sur la mesure ≈ 30%

\*Les résultats de l'échantillon solide sont ramenés sur sec

La répartition spatiale des teneurs mesurées lors du curage ne présente pas de progression régulière, et en particulier pas de décroissance de l'amont (à proximité du chantier de curage) vers l'aval (Figure 21 pour les 4-NPOHs). Il en est de même pour les concentrations mesurées avant curage sur les points CLE3, CLE2 et CLE1.



L'échelle des distances entre les points (en abscisse) n'est pas respectée ici

Figure 20 : Comparaison des concentrations totales en 4 NPOH dans la colonne d'eau avant et pendant curage

La teneur totale mesurée en AP est nettement plus faible pendant curage qu'avant curage.

Sur l'unique point commun aux deux campagnes (CLE3), l'échantillon avant curage est plus concentré que celui prélevé 3 mois plus tard pendant curage (Figure 21). La concentration maximale observée avant curage (118 µg/L au point CLE2) est largement supérieure aux concentrations observées sur les 10 points de suivi pendant curage.

Les répartitions<sup>29</sup> entre AP dans l'eau diffèrent entre :

- avant curage (Figure 8) : paramètres dominants 4-NPEO ou 4-ter-OP2EO d'une part, 4-NPOHs d'autre part ; et
- pendant curage (Figure 22) : paramètres dominants 4 NPOHs surtout et 4-NP1EO, 4 NP2EO non détecté et 4-ter-OP2EO parfois détecté juste au seuil de quantification.

Selon les points d'échantillonnage pendant curage, la proportion en 4 NPOHs varie entre 19% et 95% alors que celle de 4-NP1EO varie entre 4 % et 44 %.

<sup>29</sup> Afin de prendre en compte les échantillons d'eau avec une mesure inférieure à la limite de quantification, nous avons décidé d'estimer la valeur de la mesure par la limite de quantification lors de la représentation graphique des concentrations. Certaines concentrations (en pourcentage de l'échantillon total) sont ainsi tirées vers le haut.

Les répartitions entre AP dans l'eau lors du curage (Figure 22) diffèrent également de celles observées sur l'échantillon composite de sédiments (Figure 19), avec une proportion en BPA plus faible, et une proportion en 4-NP1EO nettement plus élevée (et en 4-NPOH nettement plus faible) précisément à proximité du curage.

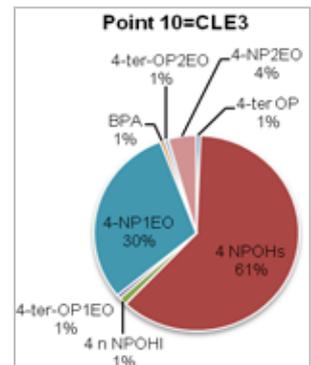
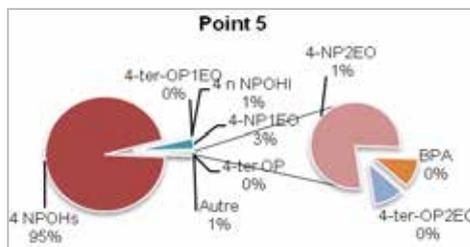
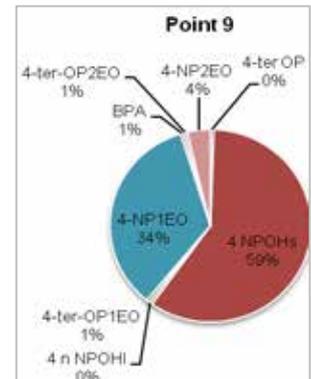
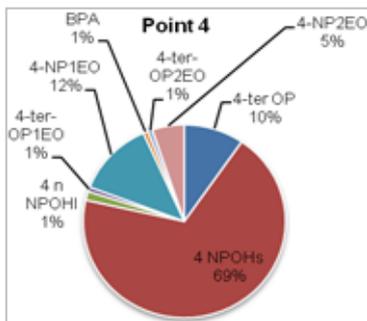
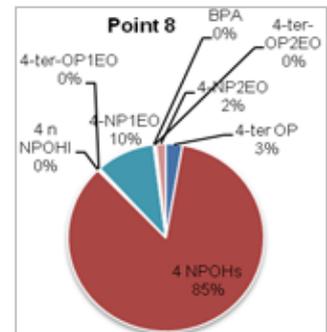
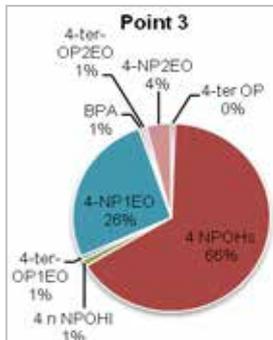
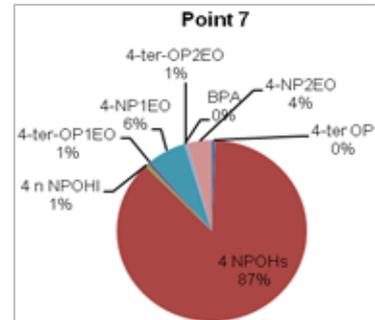
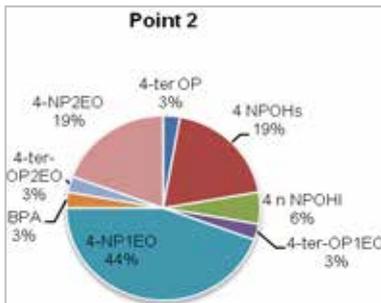
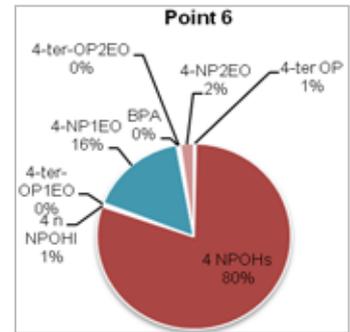
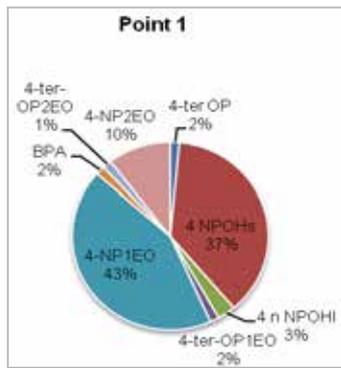


Figure 21 : Répartitions entre Alkylphénols dans la colonne d'eau pendant curage

### 6.3.3 Relation entre paramètres - cohérence des résultats

Suivant la discussion du § 5.2.3 p 31 sur le comportement attendu des polluants d'intérêt émergent retenus lors du curage, deux types de relations entre paramètres sont recherchés ici :

- correspondance des teneurs en contaminants entre les sédiments et la colonne d'eau ;
- coévolutions des teneurs entre la MES et les substances analysées<sup>30</sup>.

#### 6.3.3.1 Concordance des teneurs entre les sédiments et la colonne d'eau

Suivant la discussion du § 5.2.3 p 31 sur le comportement attendu des polluants d'intérêt émergent retenus lors du curage, est présentée dans le Tableau 13 ci-après une comparaison entre teneurs mesurées respectivement dans l'eau au point 1 (proche du curage) et teneurs attendues dans l'eau, calculées à partir des teneurs dans l'échantillon composite de sédiments curés, et évaluées selon l'équation suivante :

$$\Delta C_{sw} = C_{sed} \times \Delta MES \times 10^{-6}, \quad \text{avec :}$$

$C_{sw}$ :	concentration totale en polluant dans l'eau superficielle	[mg/l]
$C_{sed}$ :	concentration en polluant dans les sédiments dragués	[mg/kg MS <sub>sed</sub> ]
MES :	teneur en matière en suspension	[mg MS <sub>MES</sub> /l]
$10^{-6}$ :	conversion de kg de MES (ou sédiment) en mg de MES	[kg MS <sub>sed</sub> /mg MS <sub>MES</sub> ]

Tableau 13 : Rebouclage des teneurs entre les sédiments et la colonne d'eau au point 1

	<b>ΔMES, point 1</b>	<b>Teneur dans sédiment, C<sub>sed</sub></b>	<b>Teneur dans eau ajoutée par ΔMES au point 1, ΔC<sub>sw</sub> (calcul)</b>	<b>Teneur dans eau mesurée C<sub>sw</sub>, point 1</b>	<b>Rapport teneur dans eau mesurée / ajoutée</b>
	mg <sub>MES</sub> /L	mg/kg MS <sub>sed</sub>	mg/L	mg/L	-
<b>DEHP</b>	230	0,9	2,1 E-4	6,2 E-3	30
<b>4-NPOH</b>	230	25,1	5,8 E-3	2,5 E-3	0,43
<b>4-ter OP</b>	230	< 0,1	< 2,3 E-5	1,0 E-4	> 4,3
<b>4-NP1EO</b>	230	3,46	8,0 E-4	2,9 E-3	3,64
<b>BPA</b>	230	13,5	3,1 E-3	< 1,0 E-4	< 0,032
<b>BDE47</b>	230	< 3,0 E-3	< 6,9 E-7	4,6 E-6	> 6,7
<b>BDE209</b>	230	< 3,0 E-2	< 6,9 E-6	1,5 E-4	> 22

ΔMES de 230 mg/l : différentiel de MES pendant curage en aval proche du dragage (point 1) / avant curage dans le canal (données disponibles: CLE1-CLE2-CLE3). Cette MES ajoutée est ici assimilée au sédiment analysé.

Au point 1, la teneur mesurée dans l'eau du canal est, par rapport à la teneur attendue en lien avec les sédiments supposés en suspension au point 1 :

- nettement supérieure pour le DEHP et les BDE 47 et 209 (rapport 7 à 30), et pour le 4-NP1EO et le t-tert OP (rapport 3,6 à > 4) ;
- nettement inférieure pour le BPA (rapport <0,03) ;

<sup>30</sup> Afin de prendre en compte les échantillons d'eau avec une mesure inférieure à la limite de quantification, nous avons décidé d'estimer la valeur de la mesure par la limite de quantification lors de la représentation graphique des concentrations. Certaines concentrations sont ainsi tirées vers le haut.

- du même ordre de grandeur pour le NPOH (rapport 0,4).

Ainsi, en première approche, les teneurs dans la colonne d'eau au point 1 ne semblent pas reliées aux sédiments curés qui seraient présents en suspension dans la colonne d'eau au point 1.

Cette première interprétation doit toutefois être nuancée au regard du comportement attendu exposé au § 5.2.3 p 31 :

- pour le 4-NP1EO, le 4-tert OP et le BDE-47 : d'après le Tableau 7 p 33, la fraction dissoute au sein de la colonne d'eau au point 1 est de l'ordre de 91 à 96 % pour le 4-NP1EO, et 70 à 88 % pour le 4-tert OP et le BDE-47 (en fonction de la  $f_{oc}$  de la MES). Une teneur totale supérieure à celle attendue sur la base de la MES au point 1 peut être due à une remise en suspension de sédiment au point de curage nettement supérieure à la MES mesurée au point 1 (de l'ordre d'un facteur 4, 7 ou plus) et à un passage en phase dissoute de ces substances. La MES se serait ensuite redéposée entre le point de curage et le point 1, situé à 100 m<sup>31</sup>. L'hypothèse d'une MES nettement supérieure au point de curage est qualitativement compatible avec la décroissance observée de la MES vers l'aval du curage, mais toute extrapolation quantitative est ici impossible. Les résultats ont fait l'objet d'une vérification par le laboratoire. Les autres pistes d'interprétation sont :
  - un apport de dissous d'une autre origine en amont du curage ou du point 1 ;
  - un apport par les sédiments dragués, mais qui présenteraient une teneur en ces polluants plus importante que celle mesurée dans l'échantillon composite analysé (non représentativité de l'échantillon composite par rapport aux sédiments curés juste avant la mesure au point 1<sup>32</sup>) ;
- pour le DEHP et le BDE-209 : d'après le Tableau 7, la fraction adsorbée sur la MES au sein de la colonne d'eau au point 1, est de l'ordre de 70 à 90 % (selon la  $f_{oc}$ ). Un apport amont sous forme dissoute (issu du dragage ou non) serait donc limité, et ne pourrait pas expliquer les teneurs mesurées supérieures d'un facteur 22 et 30 aux teneurs attendues en lien avec les sédiments analysés. Sauf erreur de mesure, la MES au point 1 présenterait donc des teneurs en DEHP et BDE-209 plus élevées que celles mesurées sur l'échantillon composite de sédiments dragués : cette MES proviendrait soit d'une autre source en amont du point 1, soit de sédiments dragués plus contaminés (non représentativité de l'échantillon composite par rapport aux sédiments curés) ;
- pour le BPA, la teneur mesurée dans la colonne d'eau, nettement plus faible qu'attendu, implique, sauf erreur de mesure :
  - soit une MES au point 1 d'origine autre que le curage, moins chargée en BPA au moment de sa mise en suspension ;
  - soit des sédiments dragués (avant la mesure au point 1) moins chargés en BPA (non représentativité de l'échantillon composite).

<sup>31</sup> On retrouverait ainsi le début de la droite de décroissance des teneurs dans l'eau vers l'aval représentée à la Figure 5 p 27 (droite proche de l'horizontale "100% dissous").

<sup>32</sup> A noter en particulier que les sédiments ont été prélevés le lendemain des mesures et prélèvements sur la colonne d'eau : il ne s'agit donc pas des sédiments mis en suspension lors de ces mesures.

Ces diverses pistes d'interprétation ne sont pas toutes compatibles entre elles. Ainsi, une piste envisagée fait intervenir une mise en suspension de sédiments plus importante au point de curage que la MES mesurée au point 1 (pour le 4-NP1EO, le 4-tert OP et le BDE-47), une autre piste le contraire (pour le BPA).

### 6.3.3.2 Coévolution de la charge en MES et des concentrations en DEHP

La Figure 23 présente la relation entre la concentration en DEHP dans les échantillons d'eau prélevés pendant le curage et la charge en MES quantifiée dans les mêmes échantillons.

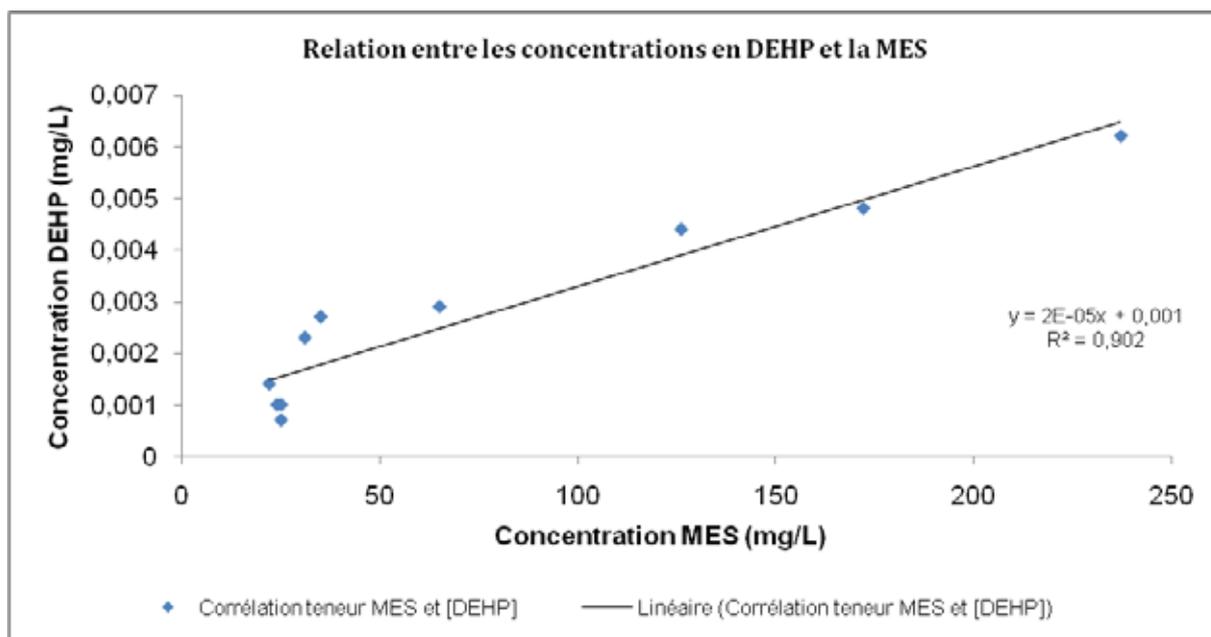


Figure 22 : Corrélation entre la concentration en DEHP et la MES dans la colonne d'eau pendant curage

On remarque sur cette figure qu'une relation linéaire semble s'établir entre les concentrations en DEHP dans les échantillons d'eau et la MES. La corrélation trouvée entre ces deux variables est significative au regard du coefficient de détermination  $R^2 = 0,902$ . Ce coefficient signifie qu'environ 90 % de la variation de la concentration en DEHP est expliquée à la variation de la MES : le DEHP migre principalement sous forme particulaire en aval du chantier de curage.

Cela correspond au comportement attendu exposé au § 5.2.3 p 31, avec la droite d'extrapolation de la Figure 23 proche de la droite « 100 % adsorbé » de la Figure 5 p 33.

### 6.3.3.3 Coévolution de la charge en MES et des concentrations en Alkylphénols

Les coévolutions avec les MES ont été recherchées pour les deux principaux Alkylphénols (et assimilés) mesurés dans la colonne d'eau, le 4 NPOH et le 4-NP1EO (Figure 24 et Figure 25). Il n'apparaît pas de corrélation entre les concentrations de ces substances et la MES.

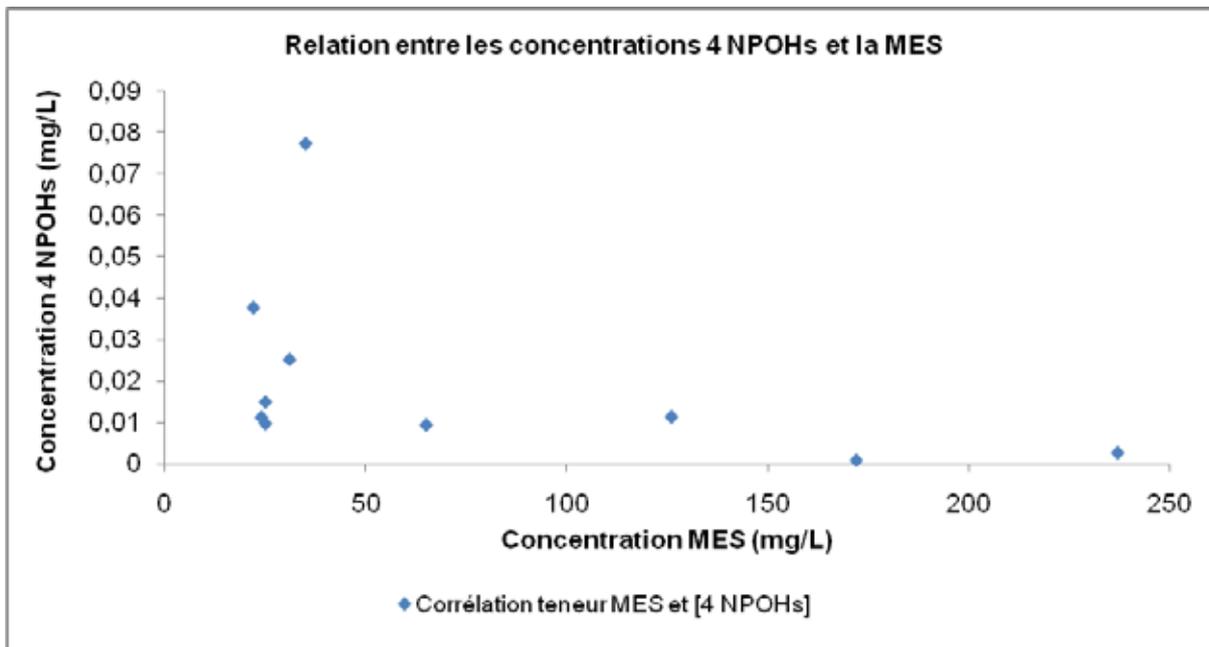


Figure 23 : Corrélation entre la concentration en NPOHs et la MES dans la colonne d'eau pendant curage

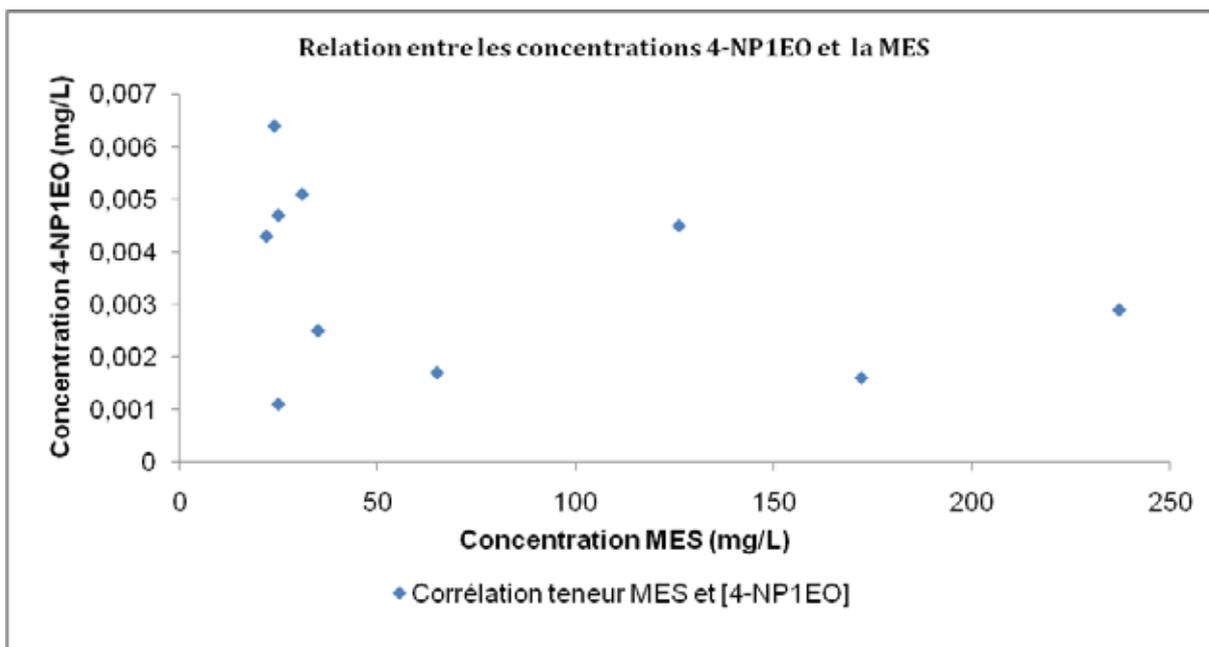


Figure 24 : Corrélation entre la concentration en 4-NP1EO et la MES dans la colonne d'eau pendant curage

### 6.3.3.4 Coévolution de la charge en MES et des concentrations en PBDEs

Compte tenu du faible nombre de points de prélèvement pour lesquels les PBDE sont détectés ou quantifiés, la recherche de corrélations entre la charge en MES et les concentrations en PBDEs dans l'eau n'est pas représentée graphiquement. On notera cependant :

- une cohérence entre la décroissance d'ensemble vers l'aval du curage des concentrations en PBDEs détectés et celle de la MES ;
- une absence de corrélation stricte, qui transparaît dans des concentrations plus élevées au point 2 qu'au point 1 pour les deux principaux PBDEs détectés.

#### **6.3.4 Cohérence des teneurs mesurées avec les données disponibles sur la qualité des sédiments et des eaux**

Les concentrations en PBDEs, DEHP et Alkylphénols obtenues dans l'échantillon composite de sédiment du canal de Lens ont été comparées à des valeurs sur des sédiments fluviaux de France métropolitaine disponibles dans une base de données des Agences de l'Eau (AE) agrégée par le Service des Observations et des Statistique du MEEDTL (INERIS, 2011, cf. annexe 8).

Quatre PBDEs (47, 99, 100, 153), le DEHP, le BPA et quatre alkylphénols (nonyphénols totaux, 4-NPOH, 4-n-NPOH, 4-ter-OP) analysés par l'INERIS sur les sédiments du Canal de Lens sont renseignés dans cette base de données, sur les différents bassins métropolitains hors Adour-Garonne.

Pour les quatre PBDEs, les teneurs des sédiments du canal de Lens sont sous la limite de quantification de 0,003 mg/kg. Cela est cohérent avec la base de données des Agences de l'Eau, qui présente un taux de quantification situé entre 0,5% et 11% pour ces PBDEs, pour une limite de quantification variant typiquement<sup>33</sup> de 0,001 mg/kg à 0,02 mg/kg, et une médiane sous la limite de quantification de 0,001 mg/kg pour chacun des quatre PBDE.

Pour le DEHP, le BPA et les quatre alkylphénols, les teneurs mesurées pour le Canal de Lens sont élevées par rapport à celles des Agences de l'Eau :

- DEHP : 6 fois la médiane des AE, entre le 75<sup>ème</sup> et le 90<sup>ème</sup> centile, mais 13 et 70 fois moins que le 99<sup>ème</sup> centile et le maximum des AE respectivement.
- BPA : 13,5 mg/kg, soit plus de 100 fois le maximum des AE (< LQ, LQ à 0,1 mg/kg) ;
- Nonylphénols et 4-tert-octylphénol : 4 à 40 fois le maximum des AE.

Au-delà des possibles différences métrologiques, les valeurs comparativement élevées du Canal de Lens peuvent être liées à la morphologie (écoulement lent, sédiments fins, particulièrement propices à l'adsorption) et à l'historique (activité industrielle, STEP en amont proche) du canal de Lens par rapport aux rivières de France métropolitaine suivies par les AE. De fait, sur des paramètres « classiques » (métaux, HAP,...) pour lesquels des données sont disponibles, les concentrations dans les sédiments de VNF Nord-Pas-de-Calais sont nettement plus élevées que dans les sédiments des Agences de l'Eau, y compris de l'AE Artois-Picardie, qui présente elle-même des concentrations dans les sédiments plus élevées que les autres AE (INERIS, 2010a).

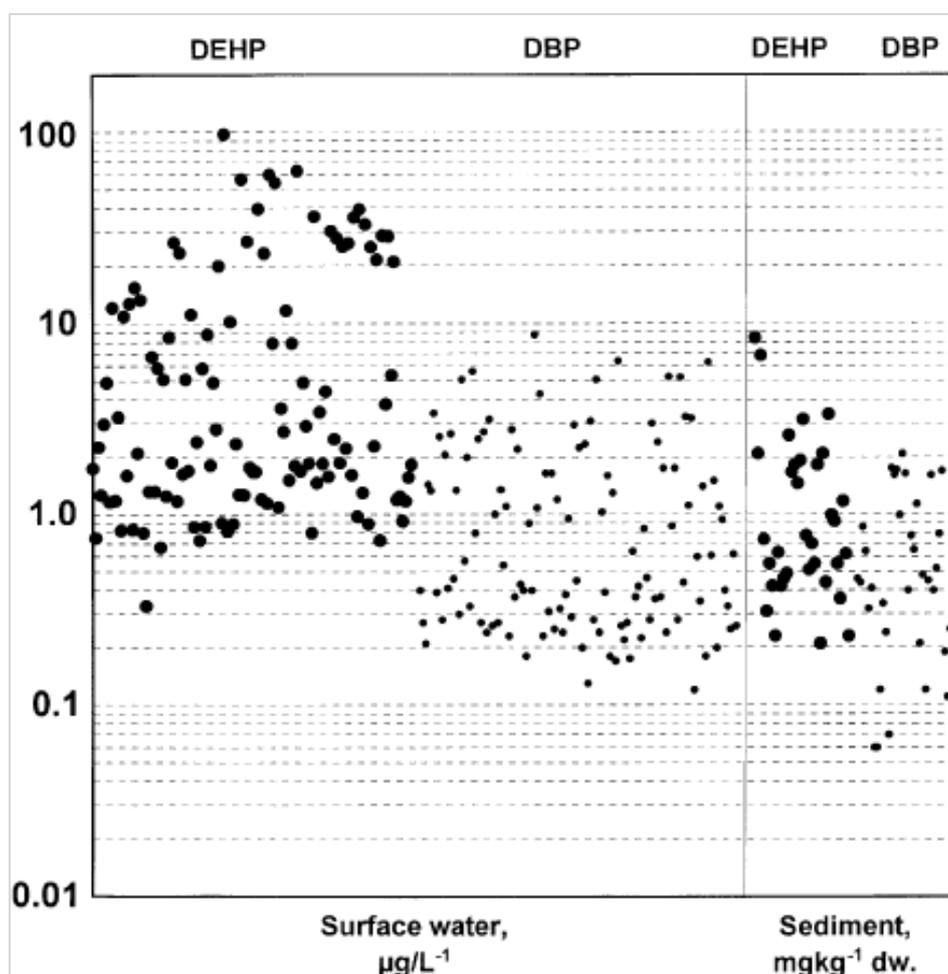
---

<sup>33</sup> Une limite de quantification est reportée à 0,00001 mg/kg pour le BDE 100, sans doute par erreur.

Concernant les concentrations de PBDE dans les sédiments et dans les eaux de surface, Petrovic *et al.* (in SedNet 2009) rapportent deux gammes de concentrations supérieures à celles mesurées sur le Canal de Lens (< 3 µg/kg chaque BDE, < 30 µg/kg pour le BDE 209) :

- 8-50 µg/kg MS dans des sédiments fluviaux en Suède (Sellström, 1998) ;
- Plus de 1 400 µg/kg MS dans des zones en aval d'usines au Royaume-Uni (Nylund, 1992).

Des campagnes de mesure de phtalates dans diverses rivières, lacs et canaux en Allemagne fournissent des teneurs en DEHP dans quelques eaux de surface et dans les sédiments (Fromme *et al.*, 2002, Figure 26). Les concentrations dans les eaux de surface varient de 0,33 à 97,8 µg/L (médiane : 2,27 µg/L) et dans le sédiment de 0,21 à 8,44 mg/kg MS (médiane : 0,70 mg/kg MS).



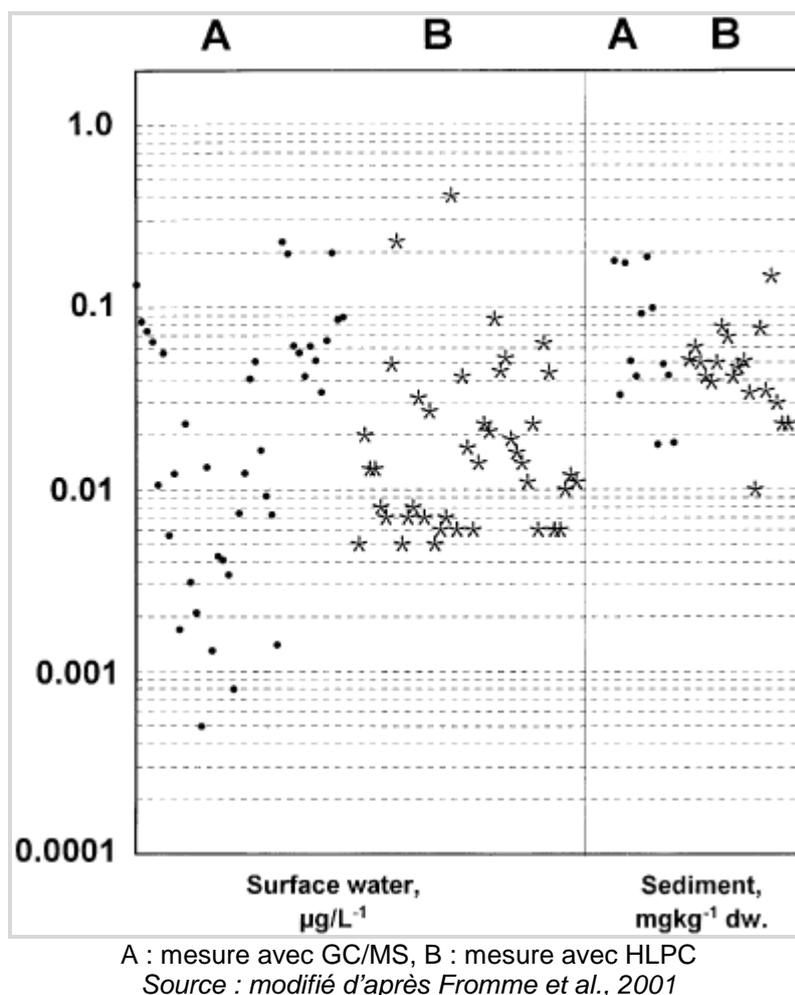
Source modifié d'après Fromme *et al.*, 2002

Figure 25 : Concentrations en DEHP dans différents compartiments environnementaux

Les concentrations mesurées dans les échantillons d'eau et de sédiment du canal de Lens se situent dans la gamme rapportée par Fromme *et al.*, 2002.

Pour quantifier le BPA dans différentes matrices environnementales, Fromme *et al.*, 2002 ont appliqué deux méthodes analytiques : la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse tandem (GC-MS/MS) et la Chromatographie liquide à haute pression (HPLC) avec détecteur programmable par

fluorescence (calibration quadripôle avec composés de référence). Les résultats obtenus sur des échantillons d'eau de surface et des sédiments fluviaux sont présentés à la Figure 27.



**Figure 26 : Concentrations en BPA dans différents compartiments environnementaux**

Dans l'ensemble, les concentrations de BPA varient de 0,0005 à 0,229 µg/L (GC-MS/MS) et de 0,005 à 0,410 µg/L (HPLC) pour les échantillons d'eau. Dans les sédiments, le BPA a été détecté dans une gamme de 0,018 à 0,190 mg/kg MS (GC-MS) et de 0,010 à 0,150 mg/kg MS (HPLC).

Les concentrations en BPA mesurées par l'INERIS sur les échantillons d'eau avant curage et sur l'échantillon composite de sédiments du canal de Lens pendant curage (Tableau 10 : 1,4 à 85 µg/L ; Tableau 12 : 13,5 mg/kg) sont largement supérieures aux valeurs rapportées par cette étude (Figure 27).

Dans leur étude, Fromme *et al.*, 2002 montrent que le BPA se dégrade très facilement dans les eaux de surface et que les concentrations observées dans les rivières, lacs et canaux en Allemagne peuvent dépendre de diverses sources d'entrée ponctuelles (usines de traitement des eaux usées, industries chimiques et rejets hospitaliers, etc).

La fréquence de détection du bisphénol A dans la colonne d'eau du Canal de Lens nettement supérieures avant curage à celles pendant curage pourrait ainsi s'expliquer par la variabilité temporelle des sources.



## 7. DISCUSSION DE L'IMPACT DU CURAGE

En cohérence avec la discussion du § 4 p 21 et du § 5.2.3 p 31 sur le comportement attendu des paramètres suivis lors du curage, l'impact du curage sur la qualité physico-chimique des eaux du canal sera discuté à partir des clés d'interprétation suivantes :

1. profils d'évolution des mesures dans l'eau vers l'aval pendant curage, dont coévolution des teneurs en polluants avec la MES ;
2. comparaison avant vs. pendant curage ;
3. répartition des polluants dans l'eau vs. dans les sédiments analysés ;
4. concordance entre les teneurs en polluants dans l'eau et les teneurs dans les sédiments analysés et la MES (au point 1).

### 7.1 Paramètres physico-chimiques

#### Profils des paramètres :

Les profils des paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau depuis le point 1 vers l'aval du curage (cf. § 6.3.1) correspondent aux profils attendus d'un impact effectif du curage :

- valeurs initiales basses à proximité du dragage, puis croissance vers la normale supposée, pour : pH, oxygène dissous et potentiel Redox corrélés, ion nitrate ;
- valeurs initiales élevées à proximité du dragage, puis décroissance vers la normale supposée, pour : turbidité, MES, ammonium<sup>34</sup>.

Les distances de stabilisation vont jusqu'à environ 2-2,5 km en aval du chantier de curage pour la plupart des paramètres (ammonium, oxygène dissous et potentiel Redox, pH). Elles sont limitées à 1,2 km environ pour la turbidité et la MES, et 500 m pour l'ion nitrate).

Les variations observées au-delà de la distance de stabilisation (rebond de la turbidité et dans une moindre mesure de la MES, légère diminution des nitrates avant stabilisation) peuvent s'expliquer de plusieurs manières : changement des propriétés hydrologiques (sens et vitesse des courants de fond) ou bioturbation (poissons ou poule d'eau) ou encore remise en suspension des particules engendrée par la sonde si cette dernière touche le fond (la zone aval n'ayant pas encore été draguée), ou aussi trace d'une remise en suspension de sédiments plus importante à un moment antérieur du dragage.

En outre, les valeurs de MES mesurées avant stabilisation sont nettement supérieures (facteur 8 à 30) aux valeurs relevées ou (pour la turbidité) extrapolées<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> Les concentrations en  $\text{NH}_4^+$  mesurées dans la colonne d'eau au point 1 (Figure 15) peuvent donc correspondre au stock initialement en profondeur et remis en suspension. Sa diminution dans la colonne d'eau oxygénée en aval du point 1 peut correspondre à sa nitrification, avec remontée concomitante de la concentration en nitrate (Figure 16).

<sup>35</sup> A partir de la corrélation des valeurs pendant curage hors rebond de la turbidité : 1 mg/L de MES correspondrait ainsi environ à 12 NTU. Soit une turbidité avant curage de 40 à 100 NTU.

avant curage. La valeur de stabilisation reste supérieure d'un facteur 6 pour la MES, 10 pour la turbidité, par comparaison à la valeur initiale en CLE3 (extrapolée pour la turbidité).

L'état initial de la colonne d'eau (campagne T<sub>0</sub>) n'a pas été établi pour les autres paramètres physico-chimiques. Il est toutefois supposé peu supérieur à 7,5 pour le pH, 16 mg/l pour l'oxygène dissous, et peu inférieur à 1 mg/l pour l'ammonium (valeurs de quasi-stabilisation sur la distance de suivi après curage), compte tenu de caractéristiques usuelles des eaux de surface.

#### Qualification préliminaire de l'impact du curage :

La nette cohérence des profils le long du canal et leur parfaite correspondance avec les résultats attendus, ainsi que l'augmentation supposée pour la turbidité et la nette augmentation de la MES entre avant et pendant curage, indiquent fortement un impact effectif du curage sur ces paramètres physico-chimiques plutôt que l'impact d'une autre source indéterminée.

La distance d'effet supposé du curage correspond a priori au moins à la distance de stabilisation des paramètres. Elle peut être supérieure si la stabilisation sur la distance observée (2,6 km) se fait à un niveau différent de celui de l'état initial.

Concernant la MES et la turbidité, compte-tenu des incertitudes quant aux variations saisonnières ou aux apports latéraux<sup>36</sup>, il n'est pas possible de préciser si la valeur de stabilisation, supérieure aux valeurs initiales mesurées (extrapolées pour la turbidité), correspond ou non à un impact du curage persistant (par ex. maintien de MES fine dans la colonne d'eau après déposition de la MES plus grossière). Cette distance d'effet supposé du curage serait ainsi de l'ordre de :

- 2-2,5 km pour l'ammonium, l'oxygène dissous, le potentiel Redox, le pH ;
- 1,2 km ou plus de 2,7 km pour la MES (et la turbidité);
- 500 m pour l'ion nitrate.

L'impact du dragage correspondrait, selon le référentiel de l'arrêté du 25 janvier 2010 à un déclassement des eaux en :

- mauvaise état pour le paramètre oxygène dissous sur environ 800 m (< 3 mg/l), alors que le niveau atteint à 2 660 m correspond à un bon état (> 8 mg/l) ;
- état médiocre pour l'ammonium sur environ 100 m (> 2 mg/l), et sans doute mauvais en amont immédiat du point 1 (> 5 mg/l), alors que le niveau atteint à 2 660 m correspond à une qualité moyenne (entre 0,5 et 2 mg/l).

---

<sup>36</sup> La caractérisation de la colonne d'eau avant curage à partir des trois points d'échantillonnage CLE3, CLE2 et CLE1 (de l'amont du canal vers l'aval : cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) a mis en évidence une certaine irrégularité de la MES (Figure 6). La MES plus élevée mesurée dans la colonne d'eau au point CLE1 pourrait notamment s'expliquer par la proximité de la confluence avec la Deûle (apport par la Deûle, zone de turbulences,...).

Pour l'ion nitrate, les niveaux mesurés correspondent en tout point à une qualité « moyenne » ou moindre ( $> 50 \text{ mg/l}^{37}$ ). Les autres paramètres physico-chimiques mesurés ne sont pas repris dans l'évaluation de l'état écologique des eaux.

## 7.2 PBDEs, DEHP et alkylphénols

### Profils des concentrations :

Les profils d'évolution des concentrations en PBDEs, DEHP et alkylphénols mesurées dans l'eau depuis le point 1 vers l'aval du curage (cf. § 6.3.2), combinés avec celui de la MES, apparaissent, par rapport aux profils attendus d'un impact effectif du curage d'un dépôt homogène de sédiment en fond de canal :

- globalement compatibles pour les PBDEs détectées dans l'eau (jusqu'au point 6 à 1120 m) : les concentrations détectées sont maximales au point 1 ou au point 2 dans le même ordre de grandeur<sup>38</sup>, et décroissent ensuite avec la distance au curage (notamment pour le BDE209), comme la MES ;
- entièrement conformes pour le DEHP : les concentrations décroissent depuis le Point 1, jusqu'à se stabiliser vers 1 400 m. La corrélation avec la MES (Figure 23 p 57; le DEHP migre sous forme particulaire en aval du chantier de curage) correspond bien à celle prévue dans la Figure 5 pour une fraction adsorbée de 70-84% ;
- non conformes pour les alkylphénols, avec des concentrations irrégulières le long du canal, sans maxima sur les premiers points de suivi ni corrélation avec la MES, et une répartition entre alkylphénols quantifiés également irrégulière.

Comparées aux concentrations mesurées dans l'eau avant curage ( $T_0$ ), les concentrations mesurées pendant le curage ( $T_1$ ) sont :

- supérieures pour les quelques concentrations en PBDEs détectées<sup>39</sup>, ce qui correspond à l'impact attendu du curage si les sédiments contiennent des PBDEs (voir ci-dessous) ;
- inférieures pour le DEHP et pour les alkylphénols détectés avant ou pendant curage, ce qui ne correspond pas à l'impact attendu d'un curage.

Parmi les alkylphénols les plus souvent quantifiés, on trouve le 4-NP2EO et le 4-NPOH avant curage (Figure 8), alors que pendant curage (trois mois plus tard) le 4-NPOH et le 4-NP1EO sont les paramètres les plus mesurés dans les échantillons d'eau (Figure 22). On observe ainsi une forte variabilité spatiale (dès avant curage) et temporelle.

---

<sup>37</sup> Il n'y a pas de classement en deçà de « moyen » pour l'ion nitrate.

<sup>38</sup> Le doublement des teneurs entre le point 1 et le point 2 pour le BDE209 serait alors à attribuer à une -relative- hétérogénéité du sédiment curé et/ou à des écarts de mesure sur les échantillons d'eau au sein de la gamme des incertitudes.

<sup>39</sup> Les 5 échantillons initiaux prélevés à deux dates différentes (mais proches) ne donnent lieu à aucune détection.

Cette variabilité est d'autant plus marquée pour 4-NP2EO, dont les concentrations passent en dessous de la limite de quantification pendant le curage. Les concentrations en NPOH (Figure 21) et 4-NP1EO pendant curage peuvent toutefois aussi être lues comme s'inscrivant dans la lignée des concentrations en NPOH et 4-NP1EO avant curage, à des niveaux moindres.

Ces indications restent à considérer avec prudence, compte-tenu des différences de méthode de prélèvement entre la campagne initiale (canne depuis la berge) et la campagne de suivi (pompe immergée depuis une barque ; cf. annexe 5).

Enfin, la confrontation des concentrations mesurées dans l'eau pendant le curage aux concentrations mesurées dans l'échantillon composite de sédiments apporte les informations suivantes :

- absence de correspondance directe dans la répartition entre alkylphénols (§ 6.3.2.3 p 50)<sup>40</sup>. Toutefois, la répartition dans les eaux pendant dragage peut correspondre à la superposition d'un apport amont relativement homogène en 4-NP1EO (1,1 à 6,4 µg/l ; peu détecté dans les sédiments) et d'un impact du dragage pour le 4-NPOH, qui représente 97% des alkylphénols quantifiés dans les sédiments) ;
- compatibilité avec un impact du curage pour le 4-tert OP et le BDE-47 ou bien le 4-NPOH au point 1, compte-tenu de la MES (« rebouclage » § 6.3.3.1 p 55) ;
- incompatibilité pour le DEHP et le BDE-209 au point 1 : les teneurs mesurées dans l'eau indiquent un apport de MES plus chargée en DEHP et en BDE-209 que les sédiments analysés. La compatibilité avec l'impact du curage impliquerait une sous-estimation des concentrations dans les sédiments curés (échantillon composite non représentatif).

#### Qualification complémentaire de l'impact du curage :

Compte tenu de la qualification préliminaire de l'impact du curage proposée pour les paramètres physico-chimiques (§ 7.1), en termes d'impacts du curage sur la qualité chimique des eaux du canal, les résultats ci-dessus :

- n'indiquent pas d'impact pour les alkylphénols. Un impact irrégulier lié à un sédiment curé hétérogène vis-à-vis de ces substances ne peut être exclu, avec des niveaux jusqu'à 100 fois supérieurs à la NQE-MA. Un tel impact serait toutefois non significatif au regard des concentrations détectées lors de l'état initial dans le canal.
- indiquent un impact possible pour les PBDE, observable sur 1 km environ, avec un dépassement de la NQE-CMA jusqu'à un facteur 600 pour le BDE-209, moyennant toutefois des hypothèses (non vérifiées) d'hétérogénéité des teneurs en BDE-209 dans le sédiment curé. L'eau analysée avant curage n'a pas pu être située par rapport à la NQE-CMA, en l'absence de détection et avec des limites de quantification supérieures à ce seuil.

---

<sup>40</sup> Cet indicateur n'est pas disponible pour les PBDEs, en l'absence de détection dans les sédiments.

- indiquent un impact probable pour le DEHP (lié à la MES), observable sur 1,5 km environ, supérieur d'un facteur 5 à la NQE-MA, mais non significatif au regard des concentrations détectées lors de l'état initial dans le canal ou des mesures rapportées par Fromme *et al.*, 2002. L'hypothèse d'un tel impact suppose toutefois une hypothèse (non vérifiée) d'hétérogénéité des teneurs en DEHP dans le sédiment curé.



## 8. RETOUR SUR LA DEMARCHE DEVELOPPEE POUR LE SUIVI DU CURAGE ET PERSPECTIVES

Dans l'étude menée, il s'avère que le principal défi à surmonter dans l'interprétation des données recueillies est la variabilité spatio-temporelle des paramètres en dehors de l'impact potentiel du curage (notamment observé sur les mesures réalisées avant curage) : concentrations et paramètres physico-chimiques dans les eaux, concentrations dans les sédiments.

La réalisation d'une campagne avant curage et le suivi de nombreux points en aval du curage ont été essentiels pour l'interprétation des données. L'analyse d'échantillons d'eau avant curage aux mêmes points à trois jours d'intervalle (suite à la perte d'une partie des échantillons) s'est avérée très utile pour relativiser les écarts observés à 3 mois.

A la lumière de l'étude réalisée, les propositions indiquées au Tableau 14 ci-après peuvent être formulées, pour permettre une exploitation des données complète et sûre.

**Tableau 14 : Points clés d'une démarche de suivi de l'impact d'un dragage mécanique**

<b>Point clé</b>	<b>Utilisation</b>
Connaissance documentaire des effluents actuels et passés reçus en amont ou sur la zone d'étude, de leurs origines, des substances associées et de leur mode de variabilité temporelle (saisonnière,...).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pré-sélection des substances</li> <li>Plan d'investigation qui prévienne notamment les fausses détections d'impact (impact dû à un effluent)</li> <li>Interprétation, notamment des anomalies apparentes</li> </ul>
Analyse préalable des sédiments en place pour les substances pressenties, en plusieurs points.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sélection des substances (y compris substances non quantifiées si limite de quantification trop élevée)</li> <li>Documentation de la variabilité spatiale</li> </ul>
Connaissance de la vitesse d'écoulement dans le canal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégration du décalage temporel dans l'interprétation du suivi</li> </ul>
Connaissance de la profondeur du canal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choix de la profondeur de prélèvement</li> </ul>
Prélèvement et mesures in situ sur les effluents susceptibles d'impacter les paramètres de suivi, notamment l'amont du curage lors de son suivi. Avec analyse de ces prélèvements d'office ou en cas de besoin, selon notamment les possibilités de conservation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prévention des fausses détections d'impact</li> <li>Interprétation, notamment des anomalies apparentes</li> </ul>
Adaptation de la campagne « état initial » à l'information disponible sur la variabilité temporelle, par ex. saison identique ou plusieurs campagnes, selon périodes ou épisodes pertinents.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Référentiel directement pertinent</li> <li>Information sur la variabilité des paramètres suivis</li> </ul>
Méthode d'échantillonnage des eaux de surface constante d'une campagne à l'autre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Représentativité du système</li> <li>Interprétation, notamment des anomalies apparentes</li> </ul>
Echantillonnage des sédiments correspondant à ceux dragués au moment des mesures et prélèvements sur la colonne d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Représentativité du système</li> <li>Interprétation : reboilage des teneurs entre sédiments et colonne d'eau</li> </ul>
Réalisation de doublons et de blancs de terrain pour valider les mesures et leur reproductibilité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assurance Qualité sur les analyses, notamment pour des polluants d'intérêt émergent.</li> </ul>

Compte tenu des résultats obtenus, une campagne T<sub>2</sub> de mesure des substances d'intérêt émergent après dragage (« retour à la normale ») ne semble pas susceptible d'apporter des éléments d'interprétation déterminants sur l'impact du dragage pour le DEHP et les alkylphénols, car une variabilité temporelle dominante par rapport à l'impact éventuel du dragage a déjà été établie.

Pour les PBDEs, une campagne T<sub>2</sub> pourrait tendre à confirmer ou infirmer le caractère aberrant des teneurs détectées dans la colonne d'eau pendant le curage, mais sans permettre d'être conclusif tant que la variabilité des différents apports amont n'aura pas été caractérisée suffisamment finement pour pouvoir exclure tout épisode d'apport amont ayant coïncidé avec le curage. Dans ces conditions, l'intérêt de la mise en œuvre d'une telle campagne peut être remis en cause.

## 9. CONCLUSION

La sélection des substances d'intérêt émergent s'est révélée pertinente, dans le sens où ces substances ont bien été retrouvées dans les eaux ou les sédiments du canal.

Le volet de la campagne exploratoire réalisé par l'INERIS fournit les indications suivantes quant à l'impact du dragage du Canal de Lens sur la qualité physico-chimique des eaux du canal :

- impact très probable pour les paramètres physico-chimiques mesurés : turbidité et MES, oxygène dissous et potentiel Redox, nitrate et ammonium, pH ;
- impact probable pour le DEHP (lié à la MES), observable sur 1,5 km environ, mais non significatif au regard des concentrations détectées lors de l'état initial dans le canal ou de données de la littérature. L'hypothèse d'un tel impact suppose toutefois une hypothèse (non vérifiée) d'hétérogénéité des teneurs en DEHP dans le sédiment curé ;
- impact peu probable pour les alkyls phénols ;
- impact possible pour les PBDE, observable sur 1 km environ, moyennant toutefois des hypothèses (non vérifiées) d'hétérogénéité des teneurs en PBDE dans le sédiment curé.

Sur la base de la stabilisation des paramètres et des indications disponibles sur les niveaux initiaux, les distances d'effet supposé du curage sont d'environ 2 à 2,5 km pour la plupart des paramètres physico-chimiques (ammonium, oxygène dissous et potentiel redox, pH), 1,5 km environ pour la turbidité, la MES et le DEHP, 1 km ou plus pour les PBDE, et 500 m pour l'ion nitrate. Cela correspond à une durée d'impact de l'ordre de 7 h à 1,5 h selon ces paramètres.

Cet impact se traduirait par :

- un déclassement local et temporaire de la qualité des eaux de bon à moyen vers médiocre à mauvais (selon les critères de classification définis par l'arrêté du 25 janvier 2010), pour les critères physico-chimiques de classification mesurés (déclassement le plus marqué pour l'oxygène dissous et l'ammonium) ;
- pour la famille des PBDE, un franchissement de la NQE-MA (pour les congénères concernés), sur environ 400 m ;
- pour le DEHP, un dépassement des indicateurs de référence, toutefois non significatif au regard des concentrations (supérieures) détectées lors de l'état initial dans le canal ou des données bibliographiques recueillies ;
- pour les alkylphénols disposant de NQE, un dépassement des indicateurs de référence dans 2 et 9 points de mesure sur 10 pendant la phase de suivi au cours du curage (respectivement pour le 4-NPOH et le 4-ter-OP), dépassement toutefois non significatif au regard des concentrations (supérieures) détectées lors de l'état initial dans le canal ou des données bibliographiques recueillies.

Toutefois, certaines limites dans le protocole appliqué ou dans la correspondance entre résultats interdisent de conclure définitivement à un impact du curage (ou à une absence d'impact pour les alkylphénols) et *a fortiori* à une distance d'impact :

- la caractérisation initiale a été ponctuelle, et n'a pas porté sur les paramètres physico-chimiques hormis la MES.
- les apports amont et latéraux n'ont pas été caractérisés pendant le curage.
- la variabilité spatiale des concentrations en polluants dans les sédiments curés n'a pas été documentée.
- pour certains des polluants suivis par l'INERIS, les concentrations mesurées sur l'état initial se sont avérées plus élevées que pendant curage.
- les concentrations en polluants mesurées dans l'eau et dans les sédiments ne correspondent pas entre elles, compte-tenu de la MES générée par le dragage.

Compte tenu de ces résultats et des incertitudes associées, il ne paraît pas utile, ou pas proportionné, de contrôler le retour à la normale pour les substances d'intérêt émergent étudiées ici.

Cette campagne exploratoire a conduit à dresser un ensemble de recommandations méthodologiques pour le suivi de l'impact des dragages sur la qualité physico-chimique des eaux. Pour aboutir à des recommandations de gestion sur l'intérêt ou la nécessité d'un tel suivi, il faudrait croiser ces données avec des résultats d'autres campagnes et /ou portant sur d'autres paramètres, et approfondir l'évaluation en termes d'appréciation de l'importance de l'impact au regard des niveaux, des distances et des durées.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLCHIN, C.R., R.J. LAW et S. MORRIS. 1999. Polybrominated diphenylethers in sediments and biota downstream of potential sources in the UK. *Environ. Pollut.* 105: 195-207.

ARRETE DU 25 JANVIER 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles r. 212-10, r. 212-11 et r. 212-18 du code de l'environnement.

BENNIE D. T. Review of the environmental occurrence of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates. *Water. Qual. Res. J. Canada* (1999) 34.

BUDZINSKI H., C. SOULIER, M. ESPERANZA, C. MIEGE, M. COQUERY, J.-M. CHOUBERT, S. MARTIN-RUEL, A. BRUCHET, 2009. Concentrations et flux de micropolluants dans les eaux usées et les boues de stations d'épuration. de restitution technique du projet de recherche AMPERES. 26 novembre 2009. <https://projetamperes.cemagref.fr>.

CCME, 1994. A Protocol for the Derivation of Ecological Effects-Based and Human Health-Based Soil Quality Criteria for Contaminated Sites. CCME Subcommittee on Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites. Final draft, July 1994.

CNRSSP, 2000. Etude de l'impact sur un système hydraulique d'une opération de curage. Rapport interne : Phase d'investigation sur le site de la Scarpe Moyenne et premiers résultats. Grosjean A., Alary C., Ambrosi J-P. CNRSSP, 00/24-CEREGE. Décembre 2000.

CNRSSP, 2001. Rapport interne : Impact d'une opération de curage sur un système aquatique Cas de la rivière canalisée Scarpe moyenne : Mobilité du Pb, Zn, Cu, Cd, Hg et des PCB. Grosjean A., Alary C., Ambrosi. J-P CNRSSP/01/28-CEREGE. Décembre 2001.

DELVALLS et al., sednet 2009. Benthos Sediment Quality Assessments. *Sednet* 2009 p 215-261.

DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

DIRECTIVE 2008/105/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE.

FROMME Hermann, Thomas Kuchlerb, Thomas Ottoc, Konstanze Pilz, Josef Müllerb and Andrea Wenzel, 2002. Occurrence of phtalates and bisphenol A and F in the environment. Water Research, Volume 36, Issue 6, March 2002, Pages 1429-1438.

GOOSSENS Hans and ZWOLSMAN John J.G. An Evaluation of the Behavior of Pollutants during Dredging Activities. Terra et Aqua – Number 62 – March 1996.

INERIS, 2004. Rapport final: PBDE dans les boues et sédiments : Mise en place d'une méthode d'extraction automatisée (ASE). BECUE A., DENIZE C. (Unité de Chimie Analytique Environnementale Direction des Risques Chroniques ; mars 2004).

INERIS, 2004. Les substances dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau Fiches de données technico-économiques. BRIGNON J.-M., MALHERBE L., SOLEILLE S. (Unité MECO Direction des Risques Chroniques, mars 2004).

INERIS, 2005. Rapport final: Etude de l'analyse des Alkylphénols. BECUE A., NGUYEN R. (Unité de Chimie Analytique Environnementale Direction des Risques Chroniques ; février 2005).

INERIS, 2005. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : DI(2-ETHYLHEXYL)PHTALATE. BRIGNON J.-M., MALHERBE L. (mai 2005).

INERIS, 2009a. Impacts sur les milieux aquatiques des sédiments de dragage gérés à terre : Problématique, contexte réglementaire, modélisation du transfert de contaminants organiques. INERIS-DRC-08-95306-16457A. Anne Bénard, B. Hazebrouck. 30/06/2009. [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).

INERIS, 2009b. Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans le rejet au milieu naturel. Bilan de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau - Volet stations d'épuration. Rapport d'étude, N°DRC-09-95687-02648A. Christine Feray. 16/02/2009.

INERIS, 2010a. Qualité des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles. DRC-10-105335-04971A. Jean-Marie Padox, Pierre Hennebert. 26 Juin 2010.

INERIS, 2010b. Etude bibliographique de l'impact environnemental des opérations de dragage des sédiments continentaux sur la qualité physico-chimique des eaux douces superficielles. DRC-10-112070-11037A. Rodrigue MACKOSSO M., Benoît HAZEBROUCK. 23/12/2010.

INERIS, 2011. Substances prioritaires dangereuses et d'intérêt émergent dans les sédiments fluviaux : quelques données françaises. DRC-10-105335-04971A. Jean-Marie Padox, Benoît Hazebrouck, Pierre Hennebert. Parution prévue en juin 2011.

INRA, 2006. Le curage des sédiments des cours d'eau. SCHNEIDER Grégoire (Octobre 2006).

ISOBE T., Nishiyama H., Nakashima A., Takada H. Distribution and behaviour of nonylphenol, octylphenol and nonylphenol monoethoxylate in Tokyo metropolitan area: their association with aquatic particles and sedimentary distributions. Environ. Sci. Technol. (2001) 35 : 1041-1049.

MACKOSSO, 2010. Rapport de Stage : Impact environnemental des opérations de dragage sur la colonne d'eau et étude des filières de valorisation des sédiments dragues et traites. MACKOSSO M. R, Master 2 Professionnel MAEVA-INERIS. Août 2010.

MILIEU Ltd, WRc, and RPA 2008. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Draft Summary Report 2 Baseline Scenario, Analysis of Risk and Opportunities. *European Commission*.

PARKER A. et al., sednet 2009. Sampling of sediments and suspended matter. Sednet 2009 p1-34.

PETROVIC M. et al., sednet 2009. Chemical Analysis of Contaminants in sediments. Sednet 2009 p61-129.

SedNet, 2009. Sustainable management of sediment resources. Sediment quality and impact. Assessment of pollutants. Vol.1, 2009.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2008. Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments. Michael R. Palermo, Paul R. Schroeder, Trudy J. Estes, and Norman R. Francingues. Thomas Jabusch, Aroon Melwani, Kat Ridolfi and Mike Connor.

VILLARET A., AMBROSI J-P et GARNIER J-M, 2001. Evolution biogéochimique de sédiments de la rivière Scarpe (Nord, France) suite à une opération de curage: installation d'un pilote et validation du système. DEA Géosciences de l'environnement-CEREGE, Université d'Aix-Marseille I, Aix-Marseille III, Université de Toulon et du Var, Université de Perpignan, Institut National Polytechnique de Lorraine (Nancy); 2000-2001.

ZENG Feng et al., 2009. Seasonal distribution of phthalate esters in surface water of the urban lakes in the subtropical city, Guangzhou, China.

Sites internet visités: [www.greenpeace.fr](http://www.greenpeace.fr); <http://fr.wikipedia.org>;  
<http://www.epa.gov/owow/mo,itoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf>;  
[http://www.davidsuzuki.org/files/SWAG/PBDE\\_Backgrounder.Fr.pdf](http://www.davidsuzuki.org/files/SWAG/PBDE_Backgrounder.Fr.pdf);  
<http://www.ec.gc.ca/Toxics/docs/substances/PBDE/consult-09-06/FR/toc.cfm>;  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr); <http://www.epa.gov>; [www.senat.fr](http://www.senat.fr).



## LISTES DES ANNEXES

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nb pages</b>
Annexe 1	Le projet GeDSeT du programme INTERREG IV	2 A4
Annexe 2	Hiérarchisation des substances, généralités sur les substances retenues par l'INERIS	12 A4
Annexe 3	Informations sur le Canal de Lens et sur l'opération de curage	4 A4
Annexe 4	Localisation et Points d'échantillonnage de la colonne d'eau	5 A4
Annexe 5	Travaux de suivi du curage : méthodes, résultats	7 A4
Annexe 6	Méthodes analytiques et résultats bruts des analyses chimiques	21 A4
Annexe 7	Comparaison de concentrations mesurées dans le sédiment composite du canal de Lens avec des sédiments fluviaux en France métropolitaine	2 A4
Annexe 8	Modélisation de la répartition entre phase adsorbée et phase dissoute du polluant dans la colonne d'eau	1 A4



ANNEXE 1

LE PROJET GEDSET DU PROGRAMME INTERREG IV



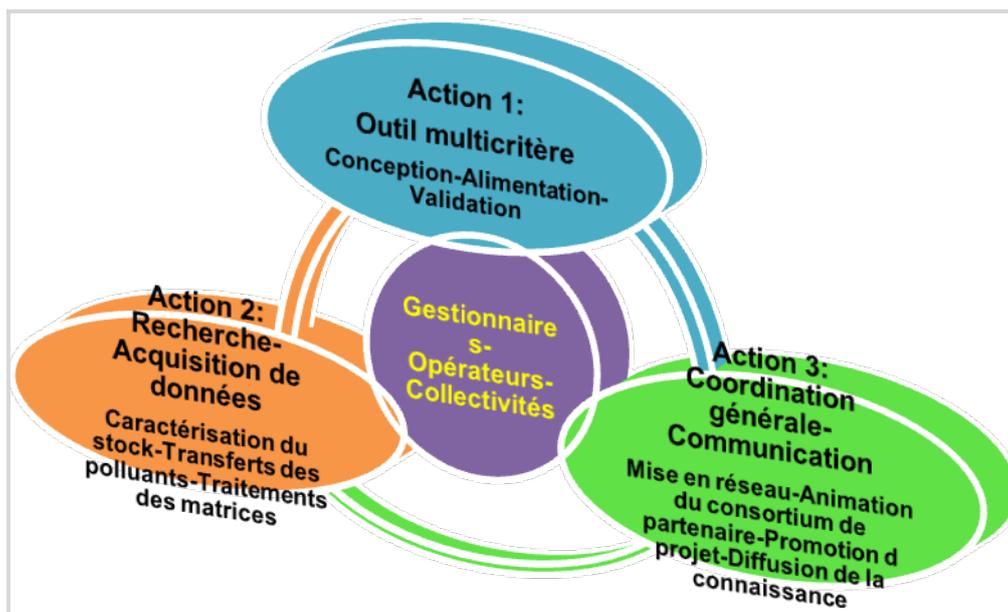
Le projet GeDSeT (Gestion Durable des Sédiments Transfrontaliers) vise à favoriser une meilleure cohésion des modes de gestion des canaux à l'échelle de l'euro région, tout en tenant compte des spécificités réglementaires ou sociétales propres à chaque pays. Pour cela, GeDSeT se propose de développer un outil d'analyse multicritère, en reprenant chaque étape du processus de décision, qui va du choix de curer jusqu'à celui de valoriser le sédiment curé. Les différentes options de gestion des sédiments seront identifiées à partir d'une approche qui :

- considère l'ensemble des composantes du développement durable (efficacité environnementale, faisabilité économique, acceptabilité sociale) et,
- prend en compte toutes les étapes (opérations unitaires) de la filière (opération de curage, transport, tri, réutilisation, stockage,...) de telle sorte à avoir une approche intégrée.

Les 5 opérateurs partenaires du projet sont :

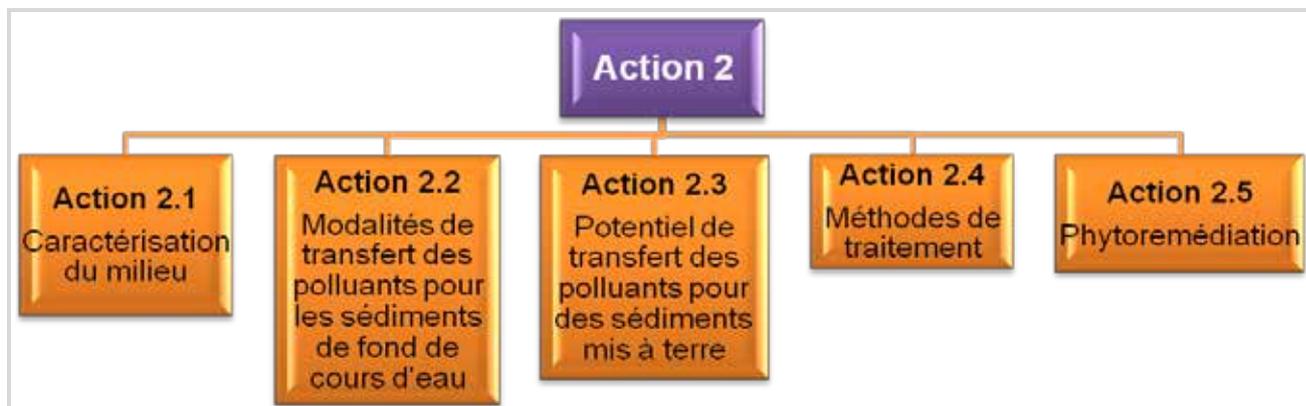
- ARMINES Centre Armines-Ecole des Mines de Douai (opérateur chef de file)
- Institut Scientifique de Service Public ISSeP
- BRGM, Service Géologie Nord Pas de Calais
- Centre Technologique International de la Terre et de la Pierre CTP
- INERIS.

Le projet est structuré en trois (3) actions fortement interconnectées.



Structure du projet GeDSeT, et ses trois actions

Dans l'action 2, les acteurs du projet ont identifiés cinq (5) sous-actions qui apportent chacune des données nécessaires pour un choix de gestion durable des sédiments des cours d'eau.



Les cinq (5) sous actions de l'action 2 du projet GeDSeT

Le suivi du curage du Canal de Lens s'articule autour de l'action 2.2.

## ANNEXE 2

### HIERARCHISATION DES SUBSTANCES, GENERALITES SUR LES SUBSTANCES RETENUES PAR L'INERIS



**Substances recherchées et non quantifiées dans les 113 rejets de STEP de l'étude  
3RSDE (INERIS, 2009b)**

<b>Substances</b>	
<b>BTEX</b>	Isopropylbenzène
<b>Chlorobenzènes</b>	1,2,4,5 tétrachlorobenzène
	1,3 dichlorobenzène
	1,3,5 trichlorobenzène
	1,4 dichlorobenzène
	Pentachlorobenzène
	2,4,5 trichlorophénol
	3 chlorophénol
	2-chlorotoluène
	3-chlorotoluène
	4-chlorotoluène
<b>COHV</b>	1,1 dichloroéthane
	1,1 dichloroéthylène
	1,1,2,2 tétrachloroéthane
	1,2 dichloroéthane
	3-chloroprène (chlorure d'allyle)
	Chloroprène
	Chlorure de vinyle
	Hexachlorobutadiène
	Hexachloroéthane
	Hexachloropentadiène
<b>Nitro aromatiques</b>	2-nitrotoluène
	Nitrobenzène
<b>Organoétains</b>	Triphénylétain cation
<b>Phytosanitaires</b>	Chlorfenvinphos
	Trifluraline
<b>PCB</b>	PCB 101
	PCB 180
	PCB 52
<b>Autres</b>	Chloroalcanes C10-C13
	Epichlorhydrine

COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils

## Substances quantifiées dans les 113 rejets de STEP de l'étude 3RSDE : occurrence et indice de potentiel de danger calculé

La hiérarchisation des substances par l'INERIS (§ 5.2 p 25) a été réalisée sur la base des potentiels dangers les plus élevés.

Rosé : "paramètres classiques"

Jaune : paramètres non classiques

ND : Non Déterminé

Case vide : information non recherchée car non exploitable ensuite

COHV : Composées Organiques Halogénés Non Volatils

Substance	Famille	Flux cumulé	Koc Episuite	NQESw	Indice de potentiel de danger	Nombre d'émetteurs (sur 113)	Part émetteur principal	Caractéristiques de la STEP émetteur principal	
		(g/j)	l/kg	µg/l	$10^3/j/kg/l^2$	-	%	Typologie	Réseau
Di (2-éthylhexyl)-phtalate (DEHP)	Phtalates	19282	1,7E+5	1,3	2,5E+9	75	31	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	HAP	0,285	2,0E+6	0,002	2,8E+8	6	52	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Benzo (g,h,i) Pérylène	HAP	0,134	2,0E+6	0,002	1,3E+8	4	83	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Tributylétain cation	Organoétains	1,4	8,1E+3	0,0002	5,6E+7	1	100	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
4-(para)-nonylphénol	Alkylphénols	371	3,8E+4	0,3	4,7E+7	13	47	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Pentabromo-diphényléther	Diphényléthers bromés	0,482	2,2E+4	0,0005	2,1E+7	7	42	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Benzo (b) Fluoranthène	HAP	0,850	6,0E+5	0,03	1,7E+7	6	76	Mixte. EH > 500 000	Unitaire
Benzo (a) Pyrène	HAP	0,639	5,9E+5	0,05	7,5E+6	6	51	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Octylphénols (para-tert-octylphénol)	Alkylphénols	61	1,0E+4	0,1	6,1E+6	16	83	Mixte. EH > 500 000	Unitaire
gamma isomère - Lindane	Pesticides	19	2,8E+3	0,02	2,7E+6	14	83	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	0,116	5,9E+5	0,03	2,3E+6	1	100	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
Fluoranthène	HAP	2,5	7,1E+4	0,1	1,8E+6	20	61	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
2 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	3170	1,2E+2	0,64	5,7E+5	2	99	Mixte. EH > 500 000	Unitaire
béta Endosulfan	Pesticides	0,343	6,8E+3	0,005	4,6E+5	2	61	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
1,2,4 trichlorobenzène	Chloro-benzènes	134	1,4E+3	0,4	4,6E+5	2	100	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
Acénaphène	HAP	35	5,0E+3	0,7	2,5E+5	7	99	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
Hexachloro-benzène	Chloro-benzènes	0,333	6,2E+3	0,01	2,1E+5	1	100	Mixte. EH > 500 000	Unitaire
Diuron	Pesticides	290	1,1E+2	0,2	1,6E+5	53	14	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
alpha Endosulfan	Pesticides	0,107	6,8E+3	0,005	1,5E+5	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
Pentachloro-	Chlorophénols	11	5,0E+3	0,4	1,4E+5	10	44	Mixte. EH =	Mixte

Substance	Famille	Flux cumulé	Koc Episuite	NQEsW	Indice de potentiel de danger	Nombre d'émetteurs (sur 113)	Part émetteur principal	Caractéristiques de la STEP émetteur principal	
		(g/j)	l/kg	µg/l	10 <sup>3</sup> /j/kg/l <sup>2</sup>	-	%	Typologie	Réseau
phénol								100 000 à 500 000	
Chlorpyrifos	Pesticides	0,383	7,3E+3	0,03	9,3E+4	2	83	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Séparatif
Anthracène	HAP	0,328	1,6E+4	0,1	5,4E+4	2	99	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
Dibutylétain cation	Organoétains	11	8,0E+2	0,17	5,0E+4	7	62	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Chlorure de méthylène	COHV	33702	2,2E+1	20	3,7E+4	9	95	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Naphtalène	HAP	42	1,8E+3	2,4	3,2E+4	25	70	Mixte. EH < 10 000	Séparatif
Tributyl-phosphate	Phosphates (solvant, plastifiant)	1085	2,4E+3	82	3,1E+4	35	81	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
Isoproturon	Pesticides	45	2,0E+2	0,3	3,0E+4	7	36	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Tétrachloro-éthylène	COHV	2269	9,5E+1	10	2,2E+4	19	41	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
Chloroforme	COHV	1378	3,5E+1	2,5	1,9E+4	18	47	Rurale. EH < 5 000	Mixte
2,4,6 trichlorophénol	Chlorophénols	30	1,8E+3	4,1	1,3E+4	11	57	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
Toluène	BTEX	3719	2,3E+2	74	1,2E+4	9	99	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
3 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	115	1,1E+2	1,3	1,0E+4	3	86	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
1-chloro-4-nitrobenzène	Chloro-benzènes	33	3,6E+2	2	6,1E+3	3	91	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
Biphényle	Conservateur alimentaire	1,787	5,1E+3	1,7	5,4E+3	3	99	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
4 chloroaniline	Aniline (intermédiaire)	37	1,1E+2	1	4,2E+3	2	92	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
3,4 dichloroaniline	Aniline (intermédiaire)	4,5	1,8E+2	0,2	4,2E+3	4	47	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Xylènes (Somme o,m,p)	BTEX	79	3,8E+2	10	3,0E+3	3	96	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
Atrazine	Pesticides	7,3	2,2E+2	0,6	2,7E+3	13	22	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
4 chlorophénol	Chlorophénols	25	3,0E+2	4	1,9E+3	11	65	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
1,2,3 trichlorobenzène	Chloro-benzènes	0,397	1,4E+3	0,4	1,4E+3	1	100	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Trichloroéthylène	COHV	196	6,1E+1	10	1,2E+3	1	100	Industrielle. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
alpha Hexachlorocyclohexane	Pesticides	0,007	2,8E+3	0,02	1,0E+3	1	100	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Séparatif
2,4 dichlorophénol	Chlorophénols	14	4,9E+2	10	7,1E+2	11	28	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Ethylbenzène	BTEX	17	5,2E+2	20	4,4E+2	2	97	Urbaine. EH = 100 000 à	Mixte

Substance	Famille	Flux cumulé	Koc Episuite	NQesw	Indice de potentiel de danger	Nombre d'émetteurs (sur 113)	Part émetteur principal	Caractéristiques de la STEP émetteur principal	
		(g/j)	l/kg	µg/l	10 <sup>3</sup> /j/kg/l <sup>2</sup>	-	%	Typologie	Réseau
								500 000	
4-chloro-3-méthylphénol	Chlorophénols	8	4,9E+2	9,2	4,2E+2	3	44	Urbaine. EH > 500 000	Séparatif
Simazine	Pesticides	2,127	1,5E+2	1	3,1E+2	3	68	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
Tétrachlorure de carbone	COHV	53	4,4E+1	12	2,0E+2	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Alachlore	Pesticides	0,115	3,1E+2	0,3	1,2E+2	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Unitaire
1-chloro-2-nitrobenzène	Chloro-benzènes	4,6	3,7E+2	26	6,6E+1	2	63	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Chlorobenzène	Chloro-benzènes	8,8	2,3E+2	32	6,4E+1	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
1-chloro-3-nitrobenzène	Chloro-benzènes	0,313	3,6E+2	3,2	3,6E+1	1	100	Mixte. EH < 10 000	Mixte
1,2 dichloroéthylène	COHV	699	4,0E+1	1100	2,5E+1	1	100	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
2 chlorophénol	Chlorophénols	0,405	3,1E+2	6	2,1E+1	2	94	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
Benzène	BTEX	0,578	1,5E+2	10	8,4E+0	1	100	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Acide chloroacétique	Acides Organiques	0,048	1,4E+0	0,58	1,2E-1	1	100	Rurale. EH < 5 000	Séparatif
4-tert-butylphénol	Alkylphénols	152	1,3E+3	ND	ND	15	86	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Pseudo séparatif
4-chloro-2-nitroaniline	Aniline (intermédiaire)	63		ND	ND	3	96	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
1,2 dichlorobenzène	Chloro-benzènes	505		ND	ND	1	100	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
1,1,2 trichloroéthane	COHV	1614		ND	ND	2	95	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
1,1,1 trichloroéthane	COHV	49		ND	ND	1	100	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Décabromo-diphényléther	Diphényléthers bromés	1907	2,8E+5	ND	ND	6	99	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Octabromo-diphényléther	Diphényléthers bromés	7,6	9,9E+4	ND	ND	3	100	Mixte. EH = 10 000 à 100 000	Mixte
Zinc et ses composés	Métaux	191519	ND		ND	100	21	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Cuivre et ses composés	Métaux	35367	ND		ND	55	30	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Plomb et ses composés	Métaux	4565	ND		ND	30	57	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
Nickel et ses composés	Métaux	4335	ND		ND	19	34	Mixte. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
Chrome et ses composés	Métaux	2410	ND		ND	15	27	Industrielle. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
Arsenic et ses composés	Métaux	719	ND		ND	15	53	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Unitaire
Cadmium et ses	Métaux	119	ND		ND	4	53	Urbaine. EH	Unitaire

Substance	Famille	Flux cumulé	Koc Episuite	NQEsW	Indice de potentiel de danger	Nombre d'émetteurs (sur 113)	Part émetteur principal	Caractéristiques de la STEP émetteur principal	
		(g/j)	l/kg	µg/l	10 <sup>3</sup> /j/kg/l <sup>2</sup>	-	%	Typologie	Réseau
<b>composés</b>								= 100 000 à 500 000	
<b>Mercure et ses composés</b>	Métaux	80	ND		ND	5	63	Urbaine. EH = 100 000 à 500 000	Mixte
<b>Monobutylétain cation</b>	Organoétains	35	7,2E+1	ND	ND	21	28	Urbaine. EH > 500 000	Mixte
<b>PCB 138</b>	PCB	0,448		ND	ND	2	99	Urbaine. EH > 500 000	Unitaire
<b>PCB 153</b>	PCB	0,007		ND	ND	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
<b>PCB 118</b>	PCB	0,002		ND	ND	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif
<b>PCB 28</b>	PCB	0,002		ND	ND	1	100	Urbaine. EH = 10 000 à 100 000	Séparatif

Rosé : "paramètres classiques"

Jaune : paramètres non classiques

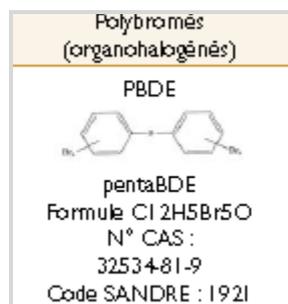
ND : Non Déterminé

Case vide : information non recherchée car non exploitable ensuite

COHV : Composées Organiques Halogénés Non Volatils

## Généralités sur quelques substances retenues (issues du Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine Normandie- AESN)

### Polybromodiphényléthers (PBDE)



-PBDE : appelés aussi diphényléthers bromés et éthers diphenyliques polybromés. Famille de 209 congénères produits industriellement à partir du diphényléther et du brome en présence de catalyseurs. Cette réaction conduit à des mélanges de molécules avec des degrés de bromation différents, comme les tétra-, penta-, octo- et, déca-BDE (on ne peut synthétiser un seul type de molécule).

*Remarque* : dans cette famille, le pentabromodiphényléther est également appelé PBDE.

-PBDE : ce groupe est substance dangereuse prioritaire (DCE 2006).

Stables et persistants, lipophiles, à l'instar des PCB : contamination générale des écosystèmes, plus faible en Europe qu'en Amérique du Nord.

Bioaccumulation des composés de ces familles très importante par les organismes terrestres et aquatiques.

### Utilisations et sources potentielles d'émission dans l'environnement

Consommation mondiale des PBDE en augmentation : de 20 000 Tonnes en 1984 à 67 000 Tonnes en 1999.

Consommation européenne 2001 : décaBDE 7 600T, pentaBDE 610T, octaBDE 150T.

Ainsi ils sont utilisés comme :

- produits ignifuges dans une vaste gamme de produits de consommation (ajoutés à la mousse de polyuréthane et à divers plastiques, notamment habitacles voitures).
- rembourrage des meubles, canevas de tapis, textiles non destinés à l'habillement.
- isolants électriques, boîtiers d'ordinateurs, téléphones et téléviseurs.

Volatilité	●●●
Persistance	●●●●●
Biodégradabilité	Biotransformation éventuellement possible par les poissons ?
Dégradation abiotique	
Bioconcentration <sup>2</sup> Bioaccumulation	moule BDE47 : $10^6$ poisson PBDE et PBB : $10^4$
Biomagnification	●●●
● nul ou négligeable, ●● faible, ●●● moyen, ●●●● fort	

### Comportement dans le milieu aquatique des PBDE

Solubilité dans l'eau <sup>2</sup>	●
Solubilité dans les graisses <sup>2</sup>	●●●●●
Stockage dans le sédiment	●●●●●
Adsorption sur les m.e.s.	●●●●●
1: PentaPBDE aujourd'hui interdit dans les mousses polyuréthanes. 2 : log Kow = 5 à 7 selon congénères.	

### Demi-vies dans l'environnement

Restent à établir. Substances très persistantes.

Le tétrabromé BDE47 est celui qui est le plus retrouvé dans les tissus des organismes, alors que c'est le décabromé 209 qui est majoritairement utilisé dans les mélanges de PBDE.

### Norme(s) analytique(s) et limite(s) de quantification couramment rencontrées

PBDE	Norme	LQ
eau	GC/MS-NCI	0,01 ou 0,1 µg/L suivant les congénères
sédiment	GC/MS-NCI d'après ISO 22032	1, 10 ou 25 µg/kg ps suivant les congénères

### Effets sur l'environnement et sur l'homme des PBDE

Chez la souris, le degré de bromation intervient sur le niveau de toxicité chronique

Toxicité	aiguë	chronique
	?	●●●●
	●●●●	●●●●
	?	●●●●
	●●●	souris : ●●● à ●●● ●●● selon degré de bromation
	● ?	●●● ?

● peu toxique, ●● modérément toxique,  
●●● toxique, ●●●● très toxique

### Exposition humaine et risques pour la santé des PBDE

Aucune étude n'a établi de lien concluant entre les concentrations de PBDE chez l'homme et des problèmes de santé (Environnement Canada, 2004)

Mode d'exposition (importance relative)	 moyenne PBDE 0,004 µg/j	+++
		++ (habitat, air intérieur, voitures)
		-

### Restrictions d'usages

Interdiction de mise sur le marché et d'utilisation des PBDE et PBB dans les produits électriques et électroniques.

Interdiction des pentaBDE comme retardateurs de flammes dans les mousses de polyuréthanes.

Penta- et octaBDE interdits et usage limité des décaBDE en Suisse.

PBB interdits au Canada. HexaPBB interdit aux USA.

### Niveaux d'imprégnation

PBDE les plus abondants dans l'environnement aquatique :

BDE 47>99>100>153>154>183>209. Concentrations très faibles dans l'eau mais pouvant être importantes dans le sédiment. Dans les organismes aquatiques, BDE 47 majoritaire (environ 50% des PBDE mesurés).

### Textes réglementaires spécifiques

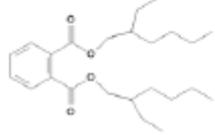
En plus d'autres textes, pour les PBDE s'appliquent :

Texte	Objet
Directive 2003-11/CE	Mise sur le marché et emploi
Directive 2002/95/CE	Interdiction de mise sur le marché dans les produits électriques et électroniques
Décret 2004-1227	Restrictions de mises sur le marché pour les évacuations des avions

## Phtalates

Ensemble de diesters de l'acide orthophtalique associés à des alcools

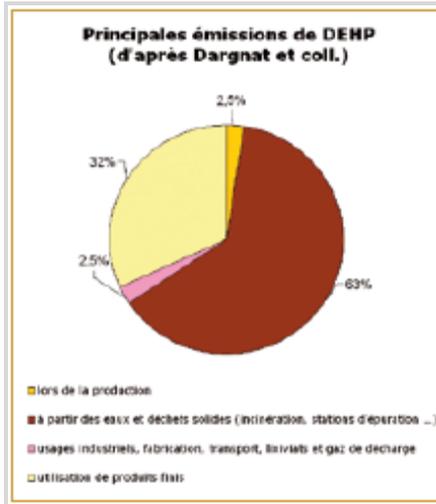
DEHP  
N° CAS : 117-81-7  
code SANDRE : 1527  
Molécule du DEHP :



Substances de synthèse entrant notamment dans la composition des matières plastiques ; 2,7 millions de tonnes produites dans le monde, dont 1 million en Europe. Se présentent sous forme de fluides visqueux à température ambiante.

Le plus utilisé : le DEHP (di(2-éthylhexyl)phtalate) appelé aussi DOP (di-sec-octyl phtalate) ; autres composés fréquents : DINP (di-isononyl phtalate), DMP (di-méthyl-phtalate), DEP (Di-éthylphtalate), DnBP (di-n-butylphtalate), BBP (butyl-benzyl phtalate).

### Utilisation et sources Potentielles d'émission dans l'environnement



Fabrication industrielle depuis les années 30. Production européenne de 1 million de tonnes par an, dont 60 000 tonnes de DEHP en France ; les phtalates de haut poids moléculaire entrent dans la composition des :

- matières plastiques (plastification notamment des PVC souples) et donc de nombreux produits manufacturés : emballages, adhésifs, rideaux de douche, bottes, encres, peintures ...
- lubrifiants,
- fluides diélectriques,
- insecticides.

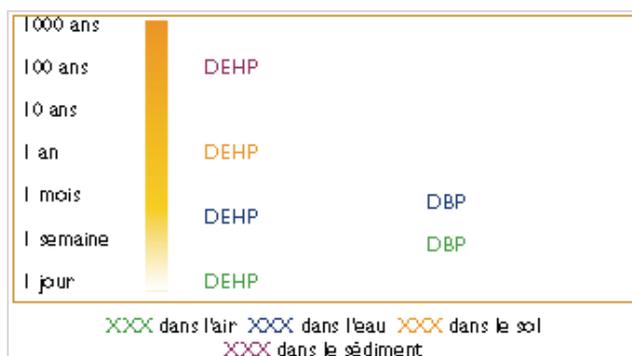
Autres phtalates (à chaîne courte, DMP, DBP, DEP) : cosmétiques et produits de soin.

Utilisation de produits de substitution envisagée mais difficile.

### Comportement des phtalates dans le milieu aquatique

	DEHP haut poids moléculaire	DMP Faible poids moléculaire
Solubilité dans l'eau	●	●●●●
Solubilité dans les graisses	●●●●	●●
Stockage dans le sédiment	●●●●●	●●
Adsorption sur les m.e.s.	●●●●●	●●
Volatilité	●●	●●
Persistance	Voir demi-vies	
Biodégradabilité Dégradation abiotique	●● ☀	●●●● ☀
Bioconcentration Bioaccumulation	Algue ●●● ? Daphnie ●●●●● 1000-3300 Poisson ●●●●● 100-1400	
Biomagnification	●	

● nul ou négligeable, ●● faible, ●●● moyen, ●●●● fort



### Demi-vies dans l'environnement

Chez l'homme, excrétion à 75% en 24 heures après ingestion (métabolites dans l'urine).

### Effets du DEHP sur l'environnement et sur l'homme

Aucune étude ne démontre de toxicité aiguë ou chronique sur des organismes aquatiques exposés à des concentrations inférieures au maximum de solubilité apparente.

Toxicité	aiguë	chronique
	● ?	● (exposition par l'eau) mais effets observés sur des poissons exposés par leur nourriture
	●	●● ?

● peu toxique, ●● modérément toxique,  
●●● toxique, ●●●● très toxique

I : Toxicité en milieu aquatique plus élevée pour les molécules de faible poids moléculaire

### Exposition humaine et risques pour la santé

Mode d'exposition (importance relative + à +++)	Estimé à 3-30 µg/kg pc/j 	+++ ?
		+ ?
		
Organes et/ou fonctions atteints		Appareil reproducteur Rein Foie
	C ?	
	PE	OE <sup>2</sup>

### Restrictions d'usages

Interdiction d'emploi dans les jouets et cosmétiques.

Arrêt de l'utilisation dans les films alimentaires

Mesures préventives et conseils pratiques pour limiter la pollution et l'exposition

Réserver les films alimentaires aux produits non gras et/ou éviter le contact avec les aliments

### Textes réglementaires spécifiques

En plus d'autres textes, pour les DEHP s'appliquent :

Texte	Objet
Décision 2003/819/CE Arrêté 21 juillet 2000 Directive 2003/15/CE Arrêté 7 août 1997 Directive 2003/36/CE Directive 2005/90/CE	Conditions d'emploi

### Norme analytique et limite de quantification

DEHP	Méthode	LQ	Coût HT
eau	GC/MS d'après Pr EN ISO 18856	0,1 µg/L	
sédiment et biote	GC/MS d'après Pr EN ISO 18856	100 µg/kg ps	

## Alkylphénols

Alkylphénols
N° CAS :
NP : 25154-52-3
4-NP : 84852-15-3
OP : 27193-86-8
4-OP : 140-66-9
Code SANDRE :
NP : 1957
OP : 2904
Moécule :

NP : R=C9H19
OP : R=C8H15

Alkylphénols (AP) : substances synthétiques intervenant dans la fabrication de nombreux produits (agents tensioactifs, résines phénoliques, pesticides), provenant principalement de la biodégradation des alkylphénols éthoxylés (APEO) utilisés comme adjuvants, détergents dans le textile, traitement de surface, additif dans l'industrie papetière, peintures à l'eau.

Nonylphénols (NP) : C9-alkylphénols ramifiés ou non, substitués en différentes positions, comportant dans les mélanges commerciaux 80% de 4-nonylphénols (4-NP), à groupement nonyl en position 4, dont le 4-n-nonylphénol à groupement nonyl linéaire (4-n-NP).

Octylphénols (OP) : C8-alkylphénols, dont le 4-tert-octylphénol, seul isomère utilisé dans l'industrie.

Substances lentement biodégradables, bioaccumulables, toxiques.

Perturbateurs endocriniens.

NP : substance dangereuse prioritaire (DCE).

OP : substance prioritaire (DCE).

### Utilisations et sources potentielles d'émission dans l'environnement

Usages des APEO (tensio-actifs, désinfectants, anti-mousse, nettoyeurs industriels, dégraissants, pesticides) en forte diminution en Europe (divisés par 8 entre 2000 et 2003 au Royaume-Uni).

**NP** (production européenne de 73 500 tonnes en 1997, soit 80 % de la production d'alkylphénols) :

- production des éthoxylates de NP, des oximes phénoliques, production de certaines matières plastiques (résines)
- entrent dans la composition de cosmétiques, adoucisseurs, détergents, lessives, décapants.

### OP

- intermédiaires de synthèse organique (résines)
- peintures, laques, vernis, liants
- encre d'imprimerie
- adhésifs
- isolants

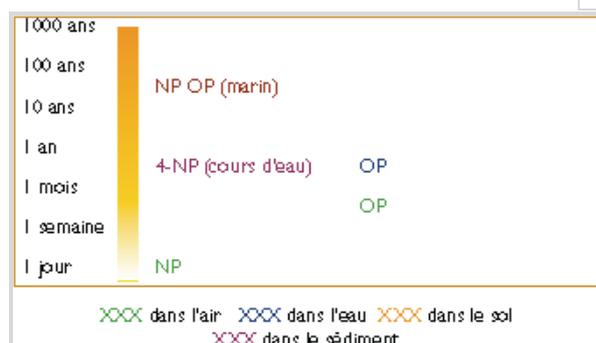
Marché semblant en régression.

### Comportement dans le milieu aquatique

	4-NP	4-OP
Solubilité dans l'eau	●●	●●
Solubilité dans les graisses	●	●
Stockage dans le sédiment	●●●●	●●●●
Adsorption sur les m.e.s.	●●●●	●●●●
Volatilité	●●	●●
Persistance	●●●●	●●●●
Biodégradabilité (aérobie)	●●	●●
Dégradation abiotique	Eau ●	☀
Bioconcentration	Végétaux 50-500	Peu de données
Bioaccumulation	●● Moule 3 400 ●●●● Crevette 100 ● Saumon 100-200 ● Truite 20-100 ●	Espèces aquatiques 300 ●●
Bioamplification		

● nul ou négligeable, ●● faible, ●●● moyen, ●●●● fort

### Demi-vies dans l'environnement



### Effets sur l'environnement et sur l'homme

AP plus toxiques que les APEO dont ils proviennent.

Toxicité	aiguë NP	aiguë OP	chronique NP	chronique OP
	?	●●	?	?
	●●●● à ●●●●●	●●●●	●●●●●	●●●●
	●●●● à ●●●●●	●●●●	●●●●●	●●●●
	●●	●●	●●	●●●●?

● peu toxique, ●● modérément toxique,  
●●● toxique, ●●●● très toxique

### Restrictions d'usages

Interdiction d'emploi et de mise sur le marché des NP et éthoxylates de NP en nettoyage industriel, produits de nettoyage domestique, traitements de textiles et cuirs, médecine vétérinaire, usinage des métaux, cosmétiques et hygiène, coformulant dans les pesticides et biocides.

### Textes réglementaires spécifiques

En plus d'autres textes, pour les NP, s'appliquent:

Texte	Objet
Directive 2003/53/CE	Interdiction des NP

### Exposition humaine et risques pour la santé

Mode d'exposition (importance relative, + à +++)		Si eau et aliments contaminés +
		NP ++ milieu professionnel <sup>1</sup>
		NP +
Organes et/ou fonctions atteints		NP :Appareil reproducteur Détérioration ADN Foie, rein
	C ?	NP :a priori risques faibles OP :?
	PE	Tous les AP ; toxicité des OP 40 fois celle des NP ; effets oestrogéniques <sup>2</sup>

NP OP	méthode	LQ	coût HT pour 1 groupe de substances
eau	CG/MS	NP 1 µg/L OP 0,2µg/L	
sédiment et biote	CG/MS	20 µg/kg ps	

Norme analytique et limite de quantification



## ANNEXE 3

### INFORMATIONS SUR LE CANAL DE LENS ET SUR L'OPERATION DE CURAGE



## Le canal de Lens

- Longueur 15 km, se jette dans la Deûle
- 7 à 8 000 m<sup>3</sup> de sédiments apportés/an par La Souchez un cours d'eau situé en amont du Canal de Lens
- Exutoire de la station d'épuration (STEU) de Loison-sous-Lens) : voir fiche et plan ci-dessous. Milieu récepteur : point X=637051.16 m, Y=2604570.24 m - Lambert II Etendu, pont SNCF environ 800 m en amont de la position du curage au matin du suivi.
- Dans le Canal, plusieurs points de rejets d'eau de pompage d'eau résultants des affaissements d'après-mine (pompage pour éviter inondation des habitations)
- Divers points de rejets dans le Canal de Lens ont été relevés dans la zone d'étude. Des arrivées d'eau discontinues mais vigoureuses (débit et courant élevé), perpendiculaires à la direction du canal, ont été observées lors de la campagne de mesure pendant curage. Ces arrivées d'eau et leurs origines respectives (sources indiquées ci-dessus, autres ?) n'ont pas été répertoriées.
- Nous ne disposons pas de la hauteur exacte de la colonne d'eau dans le canal ni de la vitesse d'écoulement de l'eau du canal.

## La Station de Traitement des Eaux Usées de Loison-sous-Lens

(Source : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>)

### Loison Sous Lens

#### Description de la station

**Nom de la station :** Loison Sous Lens (Zoom sur la station)  
**Code de la station :** 011039100000  
**Région :** NORD-PAS-DE-CALAIS  
**Département :** 62  
**Date de mise en service :** 01/01/1965  
**Service instructeur :** DDAF  
**Maitre d'ouvrage :** Communauté d'Agglomération Lens Liévin  
**Exploitant :** veolia eau - agence de lens  
**Commune d'implantation :** LOISON-SOUS-LENS  
**+ Industriels raccordés :**  
**Capacité nominale :** 116667.00 EH  
**Débit de référence :** 33000 m3/j  
**Autosurveillance validée :** Oui  
**Traitements requis :** traitement plus rigoureux  
**+ Traitement existant :**

#### Agglomération d'assainissement

**Code de l'agglomération :** 010000162498  
**Nom de l'agglomération :** LENS  
**Commune principale :** LENS  
**Taille de l'agglomération :** 115625 EH  
**Somme des charges entrantes :** 115625 EH  
**Somme des capacités nominales :** 116667 EH  
**+ Liste des communes de l'agglomération :**

#### Chiffres clefs en 2009

**Charge maximale en entrée :** 115625 EH  
**Débit entrant :** 21545 m3/j  
**Production de boues :** 1754 tMS/an

**Destinations des boues en 2009 (en tonnes de matières sèches par an) :**



#### Chiffres clefs en 2008

Source : MEDDTL - BDERU  
Voir la fiche SANDRE de la STEP

#### Milieu récepteur

**Bassin hydrographique :** AP  
**Type :** eau douce  
**Nom :** canal de Lens  
**Nom du bassin versant :** Deûle

**Zone Sensible :** AP-Escaut, Scarpe, Deûle, Sensée, Marque et Sambre  
**Date de l'arrêté :** 12/01/2006  
**Critère de sensibilité :** Azote et Phosphore

Voir le point de rejet (Double-cliquer sur le point pour l'effacer)

**Conformité équipement (31/12/2010 : prévisionnel) :** Oui

#### Respect de la réglementation en 2009

**Conforme en équipement au 31/12/2009 :** Oui  
**Date de mise en conformité :** 31/12/2008  
**Abattement DBO5 atteint :** Oui  
**Abattement DCO atteint :** Oui  
**Abattement Ngl atteint :** Oui  
**Abattement Pt atteint :** Oui  
**Conforme en performance en 2009 :** Oui

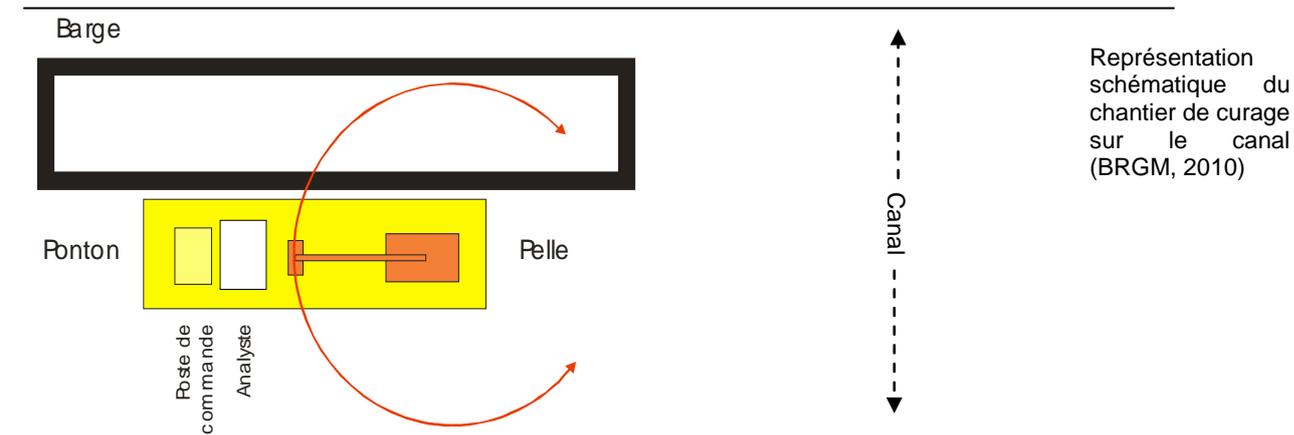
**Réseau de collecte conforme :** Oui  
**Date de mise en conformité :** 31/12/1999

#### Respect de la réglementation en 2008



### Le projet de curage

- Maître d'ouvrage et maître d'œuvre ; VNF, Service de la Navigation du Nord-Pas- de Calais Service Exploitation et Maintenance subdivision de Douai, Lens, Arras.
- Travaux de juin à octobre 2010. Pas d'arrêt en été ici, car pas de frayères et qualité de l'eau de catégorie 4.
- Estimation du volume de sédiments à draguer : 120 000 m<sup>3</sup>. Canal non dragué depuis 10 ans. Sédiments fins (70-80% de limons).
- Dragage : 1 atelier avec dragueuse à bras mécanique (pas de suceuse)
- Site de dépôt en bordure du canal : 3 alvéoles de dépôt, reliées à 2 bassins de récupération des eaux de ressuyage. Les eaux des bassins passent dans un déshuileur avant d'être rejetées dans le Canal de Lens. Elles sont régulièrement analysées. Exigence de qualité des eaux rejetées : niveau 3, pour une qualité des eaux du Canal de Lens de niveau 4.



Mouvement de la pelle sur le ponton et extraction des sédiments dans le canal



Pousseur de barge (environ 500 m<sup>3</sup> de boue de dragage)



Plateforme de chargement des camions



Déchargement du camion (environ 20 m<sup>3</sup>) dans le site de dépôt



Vue panoramique du site de dépôt [vers Loison-sous-Lens]

## ANNEXE 4

### LOCALISATION DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DE LA COLONNE D'EAU



## Localisation et Points d'échantillonnage avant curage

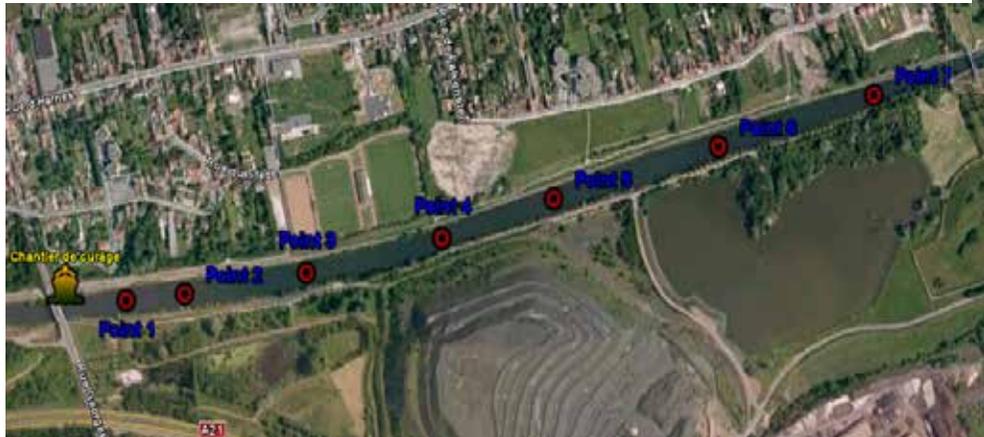
Nom du point	Coordonnées (Lambert 1)	Localisation (distance au curage)	Caractéristiques						
CLE1	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">643 164</td> <td style="text-align: center;">1 307 314</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">N50°27.836 E2°56.690</td> </tr> </table>	X	Y	643 164	1 307 314	N50°27.836 E2°56.690		<p><b>Chemin de la Fosse 8, Courrières</b></p> <p>(2660 m linéaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- important panache d'hydrocarbure à la surface</li> <li>- importante quantité de macro-déchets divers (végétaux, reste d'animaux morts, ...)</li> </ul>
X	Y								
643 164	1 307 314								
N50°27.836 E2°56.690									
CLE2	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">642 145</td> <td style="text-align: center;">1 306 344</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">N50°27.275 E2°55.795</td> </tr> </table>	X	Y	642 145	1 306 344	N50°27.275 E2°55.795		<p><b>Proche rue de la paix, courrières</b></p> <p>(4230 m linéaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas de contraintes particulières</li> <li>- échantillonnage aisé et rapide</li> </ul>
X	Y								
642 145	1 306 344								
N50°27.275 E2°55.795									
CLE3	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">640 699</td> <td style="text-align: center;">1 304 978</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">N50°26.545 E2°54.565</td> </tr> </table>	X	Y	640 699	1 304 978	N50°26.545 E2°54.565		<p><b>Proche chemin des routoirs, Harnes et proche rue du 11 novembre, Harnes</b></p> <p>(5400 m linéaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fort couvert végétal (arbres et arbustes) sur la berge</li> <li>- pente raide</li> <li>- échantillonnage difficile</li> </ul>
X	Y								
640 699	1 304 978								
N50°26.545 E2°54.565									

CLE= Canal de Lens



## Localisation et Points d'échantillonnage pendant curage

<b>Nom du point</b>	<b>Distance au curage (en mètre)</b>	<b>Coordonnées GPS</b>	
<b>Point 1</b>	<b>103</b>	<b>N50°26.164</b>	<b>E2°52.446</b>
<b>Point 2</b>	<b>285</b>	<b>N50°26.169</b>	<b>E2°52.527</b>
<b>Point 3</b>	<b>416</b>	<b>N50°26.211</b>	<b>E2°52.696</b>
<b>Point 4</b>	<b>644</b>	<b>N50°26.211</b>	<b>E2°52.885</b>
<b>Point 5</b>	<b>834</b>	<b>N50°26.241</b>	<b>E2°53.040</b>
<b>Point 6</b>	<b>1120</b>	<b>N50°26.280</b>	<b>E2°53.270</b>
<b>Point 7</b>	<b>1380</b>	<b>N50°26.319</b>	<b>E2°53.485</b>
<b>Point 8</b>	<b>1700</b>	<b>N50°26.365</b>	<b>E2°53.744</b>
<b>Point 9</b>	<b>2240</b>	<b>N50°26.448</b>	<b>E2°54.187</b>
<b>Point 10 (ou CLE3)</b>	<b>2660</b>	<b>N50°26.545</b>	<b>E2°54.565</b>



## ANNEXE 5

### TRAVAUX DE SUIVI DU CURAGE : METHODES, RESULTATS



## Technique d'échantillonnage des eaux de surface avant curage

### *Principe*

Les eaux de surface ont été prélevées sur environ les 30 premiers cm à l'aide d'une canne d'environ 3 m munie d'un dispositif spécifique d'échantillonnage (bouteille en plastique fixé sur le bout de la canne) depuis une berge. La méthode consiste à se mettre face au courant, en essayant d'atteindre au maximum la veine du canal, la bouteille de la canne est immergée à contre courant (bouchon vers l'aval).

Les 3 premiers remplissages ont servi au rinçage de la bouteille et des flacons d'échantillonnages (en verre) avec l'eau du milieu, le contenu a été rejeté vers l'aval. Par la suite, les flacons ont été remplis en fractionnant chaque prélèvement, c'est-à-dire en versant la même proportion de chaque bouteille dans les flacons, pour s'assurer de l'homogénéité des échantillons entre eux. Le remplissage des flacons s'est fait au ras-bord pour chasser l'air et ainsi minimiser l'activité bactérienne. Les flacons ont ensuite été fermés avec des bouchons munis d'un film en aluminium.

Les échantillons d'eau obtenus sont conservés à une température de 6° C en attente de l'analyse chimique.

### *Déroulement de l'échantillonnage*

Les contraintes naturelles des points de prélèvement (pente abrupte, végétation abondante, arbres et arbustes,...) n'ont pas souvent permis de respecter les exigences de la méthode comme définies ci-dessus. La méthode a pour cela été adaptée selon ces contraintes (distance de prélèvement depuis la berge) tout en essayant d'y être le plus fidèle possible.

En effet, sur le site CLE1, nous avons pu constater la présence d'animaux morts (chats et souris) sur la surface des eaux mais aussi d'un panache d'hydrocarbure proche du ponton et d'une quantité considérable des végétaux flottant. Hormis quelques feuilles mortes à la surface de l'eau, le site CLE2 a permis un échantillonnage aisé et rapide. Le site CLE3 s'est caractérisé par la présence d'un fort couvert végétal (arbres) sur une berge en pente raide, limitant la possibilité d'atteindre la veine du canal. Le prélèvement ne s'est pas fait dans la veine sur les 3 sites, le canal étant trop large.

## Technique d'échantillonnage des eaux de surface pendant curage et mesure des paramètres physico-chimiques

### Méthode

Le prélèvement des eaux de surface et la mesure des paramètres physico-chimiques ont été réalisés à partir d'une embarcation légère en position stationnaire au milieu du canal en aval du chantier de curage. Sur chaque point, l'embarcation a été stabilisée par ancrage sur le fond du canal au moyen d'une canne métallique, sur laquelle était disposé le courantomètre de l'Ecole des Mines de Douai.

Les eaux ont été échantillonnées dans des flacons en verre à l'aide d'une petite pompe immergée à environ un mètre de profondeur. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamètres U-23 Horiba plongée à environ 50 cm de la surface.

### Déroulement de la campagne



Position du chantier avant les prélèvements et les mesures



Position du chantier au début des prélèvements et les mesures



Position de l'embarcation par rapport au chantier (environ 100 m) ; prélèvement des eaux et mesures des paramètres physico-chimiques (point 1)



Progression de l'embarcation par rapport au chantier (environ 200 m) ; prélèvements des eaux et mesures des paramètres physico-chimiques (point 2)

## Résultats des mesures in situ

### Paramètres physico-chimiques

Premier passage (10h30'-12h30') : suivi du panache et première approche

Paramètres		pH	Cond (ms/cm)	Turb (mg/L)	DO (mg/L)	Temp (°C)	Prof (m)	TDS (g/L)	Re-dox (mV)	Cl <sup>-</sup> (g/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Heure de mesure	Courant (m/s)	Coord GPS
Points	N°Data														
	1	7.08	1.28	359.0	1.8	18.92	0.7	0.8	0	0.135	0.209	29	11h26'46"		
1	2	6.93	1.28	324.0	2.0	18.93	0.5	0.8	15	0.147	0.234	21	11h31'54"		≈100 m du chantier
	3	6.93	1.28	356.0	1.9	18.93	0.5	0.8	11	0.153	0.258	20	11h32'54"		
	4	6.90	1.31	289.0	1.8	18.67	0.5	0.8	17	0.151	0.280	27	11h33'54"		
2	5	6.89	1.33	281.0	2.2	18.37	0.3	0.9	27	0.149	0.290	26	11h34'54"		N51°26.164 E2°52.446 ≈100 m du point 1
	6	6.89	1.34	264.0	2.6	18.12	0.4	0.9	34	0.143	0.274	21	11h35'54"		
	7	6.89	1.34	272.0	2.6	18.20	0.4	0.9	34	0.145	0.265	19	11h36'54"		
	8	6.80	1.34	279.0	2.6	18.31	0.5	0.9	28	0.144	0.266	18	11h37'54"		
	9	6.90	1.32	268.0	2.4	18.31	0.4	0.8	30	0.141	0.273	16	11h38'54"		
	10	6.91	1.33	266.0	2.4	18.52	0.4	0.8	30	0.142	0.276	17	11h39'56"		
	11	6.92	1.32	293.0	2.4	18.43	0.4	0.8	29	0.143	0.279	14	11h40'56"		
	12	6.92	1.31	258.0	1.9	18.42	0.6	0.8	21	0.144	0.291	16	11h41'56"		
	13	6.93	1.33	237.0	2.2	18.41	0.5	0.8	29	0.142	0.295	17	11h42'56"		
	14	6.97	1.33	220.0	2.4	18.40	0.5	0.8	35	0.145	0.334	16	11h43'56"		
	15	6.96	1.33	193.0	2.5	18.20	0.5	0.8	42	0.139	0.313	15	11h44'54"		
3	17	7.22	1.33	162.0	3.2	19.38	Err	0.8	46	0.155	0.322	21	11h45'54"		N51°26.181 E2°52.446 ≈200m du chantier
	18	7.23	1.33	190.0	3.1	18.43	0.5	0.9	42	0.149	0.284	14	11h46'54"		
	19	7.19	1.33	187.0	3.0	18.55	0.5	0.8	43	0.149	0.288	13	11h47'54"		
	20	7.16	1.33	213.0	3.3	18.67	0.3	0.9	58	0.139	0.291	16	11h48'54"		
	21	7.36	1.31	Err	4.0	20.45	Err	0.8	40	0.144	0.300	20	11h49'54"		
	22	7.45	1.28	140	5.9	20.86	Err	0.8	85	0.170	0.293	16	11h50'54"		
	23	7.39	1.29	59.1	6.0	20.89	Err	0.8	106	0.162	0.282	13	11h51'54"		
4	24	7.23	1.33	110.0	5.0	18.64	0.6	0.8	110	0.110	0.279	61	11h56'56"		N50°26.183 E2°52.701 ≈191 m du point 3
	25	7.13	1.32	60.0	4.4	18.71	0.6	0.8	111	0.111	0.267	17	11h58'18"		
5	26	7.08	1.32	46.2	4.4	18.47	0.7	0.8	152	0.124	0.251	8.2	12h04'10"		N50°26.200 E2°52.700 ≈650 m du chantier
	27	6.94	1.32	47.0	2.8	18.58	0.6	0.8	151	0.112	0.272	8.3	12h05'34"		
6	28	7.03	1.32	57.0	3.3	19.81	0.5	0.8	138	0.123	0.326	25	12h10'00"	-0.106	N50°26.207 E2°52.869 ≈100 m du point 5
7	29	7.32	1.33	60.6	4.7	19.86	0.7	0.8	164	0.119	0.320	4.8	12h18'40"		N50°26.271 E2°53.216 ≈ 1 km du chantier
8	30	7.34	1.32	53.7	8.1	21.59	0.6	0.8	178	0.123	0.389	7.0	12h26'30"		N50°26.312 E2°53.443 ≈300 m du point 7
	31	7.34	1.32	51.7	7.2	21.37	0.7	0.8	178	0.117	0.342	7.9	12h27'50"		

Deuxième passage (14h30'-18h00') : Suivi du panache et prélèvement d'eau (données retenues pour l'évaluation de l'impact)

Paramètres		pH	Cond (ms/cm)	Turb (mg/L)	DO (mg/L)	Temp (°C)	Prof (m)	TDS (g/L)	Re-dox (mV)	Cl <sup>-</sup> (g/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Heure de mesure	Courant (m/s)	Coord GPS et Distance
Points	N°Data														
1	32	7.26	1.24	Err	0.7	18.81	0.6	0.8	-93	0.152	0.274	5.0	14h22'32"	-0.56 -0.14 -0.18 -0.003 -0.16	N50°26.164 E2°52.446 103 m
	33	7.17	1.32	382.0	2.5	19.72	0.3	0.8	2	0.143	0.340	7.8	14h25'36"		
2	34	7.15	1.33	267.0	1.6	19.03	0.4	0.9	15	0.122	0.441	3.2	14h45'52"	0.58 0.31 0.53 0.113 0.97	N50°26.169 E2°52.527 285 m du pont
	35	7.13	1.33	240.0	1.7	18.94	0.3	0.9	22	0.119	0.419	3.3	14h47'32"		
3	36	7.15	1.33	215.0	2.0	19.47	0.3	0.9	22	0.109	0.475	2.6	15h03'44"	0.77 0.05 0.55 0.31 -0.07 0.29 0.8	N50°26.211 E2°52.696 416 m du pont (Canal de Lens à la Deûle 5)
	37	7.15	1.33	279.0	1.9	19.73	0.3	0.9	23	0.107	0.473	2.6	15h04'36"		
4	38	7.14	1.33	162.0	2.3	20.07	0.3	0.8	64	0.111	0.479	4.3	15h21'44"	0.10 -0.7 -0.10 -0.62 -0.082 0.38 0.28 0.67	N50°26.211 E2°52.885 644 m du pont
	39	7.15	1.33	159	2.4	20.34	0.3	0.9	65	0.107	0.468	4.2	15h22'36"		
5	40	7.17	1.32	99.1	3.2	20.43	0.3	0.8	135	0.111	0.419	4.3	15h37'42"	-0.03 -0.06 0.124 0.045 0.067 0.18	N50°26.241 E2°53.040  834 m du pont (Lac)
6	41	7.25	1.32	72.2	4.9	21.21	0.4	0.8	159	0.109	0.415	4.3	15h54'16"	-0.07 -0.037 0.091 0.047 0.176 0.108 0.097	N50°26.280 E2°53.270 1.12 km du pont (Lac 1)
	42	7.25	1.33	67.5	4.9	20.97	0.5	0.9	163	0.104	0.422	3.9	15h55'54"		
7	43	7.27	1.32	68.1	7.6	21.90	0.4	0.8	190	0.109	0.426	9.5	16h09'56"	0.097 0.060 0.087 0.012 0.176 0.108 0.097	N50°26.319 E2°53.485 1.38 km du pont (Canal de Lens à la Deûle 7)
	44	7.31	1.32	64.5	7.4	22.27	0.5	0.8	189	0.100	0.436	8.9	16h11'58"		
8	45	7.38	1.32	82.7	11.1	22.74	0.5	0.8	201	0.112	0.458	5.2	16h25'00"	0.077 0.066 0.049 0.054 0.063 0.065	N50°26.365 E2°53.744 1.700km du pont (Lac 2)
	46	7.41	1.32	82.5	11.0	22.97	0.4	0.8	200	0.107	0.458	5.3	16h26'16"		
9	47	7.52	1.31	237.0	14.7	23.31	0.4	0.8	213	0.111	0.434	3.9	16h55'32"	0.074 0.055 0.063 0.110 0.086 0.035 0.048	N50°26.448 E2°54.187 2.24 km du pont (Canal de Lens à la Deûle 8)
	48	7.47	1.30	262.0	13.6	22.80	0.5	0.8	219	0.105	0.384	3.4	16h58'40"		
10	49	7.61	1.31	98.9	15.8	23.56	0.6	0.8	186	0.101	0.428	4.7	17h33'22"	0.094 -0.072 -0.092 -0.085 -0.117	Coord CLE3 ≈ 2.66 km du pont
	50	7.58	1.31	169.0	16.2	23.56	0.5	0.8	198	0.101	0.433	3.9	17h35'06"		

Err = Erreur

[NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] : valeurs non exploitables (sonde mal calibrée)

Cond = Conductivité

Turb = Turbidité. Turbidité en mg/L \* 7,5 = Turbidité en NTU

DO = Dissolved Oxygen

TDS = Total Dissolved Solids

ORP = Oxido Reduction Potential



Stockage et conservation des échantillons d'eau en laboratoire à 6° C (campagne de juin-juillet 2010, situation T<sub>1</sub>)



Sonde Multiparamètre U-23 Horiba

## Technique d'échantillonnage des boues de curage, campagne T<sub>1</sub>



Déversement des boues de curage dans l'alvéole de dépôt



Prélèvement des boues fraîches de curage au bord de l'alvéole (à intervalle de deux camions) et échantillonnage

Composite de 10 échantillons individuels à raison de 2 par camion, soit 5 camions répartis sur deux barges ; prélèvements le lendemain des mesures et prélèvements sur la colonne d'eau.

Echantillon composite destiné à l'analyse



Echantillons frais de boue de curage en laboratoire

## ANNEXE 6

### METHODES ANALYTIQUES ET RESULTATS BRUTS DES ANALYSES CHIMIQUES



## Résultats bruts d'analyse

Echantillons d'eau avant curage (campagne T<sub>0</sub>)

**Attention :** au-delà du 16/7/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A Benard	Copie (s) :	M. Cerove HBI, DGN, DHe, Labo SM
		OK, le 5/07/10 vedE	
Demandeur interne	A Benard	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17683	Demande du :	30/04/10
Date de réception des objets soumis à essai :	30/04/10		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

Exposé de la demande : Dosage des PBDE

Description du mode opératoire : Extraction liquide/liquide par du dichlorométhane, séchage, concentration et analyse CG/SM

Prestation Cofrac : OUI  NON

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
Date de traitement	12/05/10				
Date d'analyse	03-06-10				

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**Résultats :**

Référence INERIS	ng/L				
	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
BDE28	<4	<2	<2	<2	<2
BDE47	<4	<2	<2	<2	<2
BDE100	<4	<2	<2	<2	<2
BDE99	<4	<2	<2	<2	<2
BDE154	<4	<2	<2	<2	<2
BDE153	<4	<2	<2	<2	<2
BDE183	<4	<2	<2	<2	<2
BDE209	<40	<20	<20	<20	<20
Volume échantillon (ml)	440.5	1014.2	1020.1	1022.3	1015.2

La LQ a été calculée selon la méthode suivante : point bas de la gamme d'étalonnage, ramenée à un volume de 2 ml et une prise d'essai de 1 litre (sauf 10AH550, 500 ml).

Les résultats ne tiennent pas compte du rendement de récupération

**Assurance qualité :**

	LQ	Hors gamme		Dopage	
	Ng/L	Niveau (ng/L)	Rdt (%)	Niveau (ng/L)	Rdt (%)
BDE28	<2	10	116	10	105
BDE47	<2	10	99	10	101
BDE100	<2	10	107	10	101
BDE99	<2	10	109	10	93
BDE154	<2	10	110	10	104
BDE153	<2	10	106	10	97
BDE183	<2	10	112	10	103
BDE209	<20	100	79	100	105
Volume échantillon (ml)	1000	1000		1000	

Rdt : rendement de recouvrement.

Observations : Les 3 échantillons référencés 10AH552 étaient cassés.

Pour l'échantillon 10AH550, 1 seul sur les trois était entier, d'où un prélèvement de 440 ml au lieu du litre pour les autres.

Nota : Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa 3/07/10  
Responsable technique : D GRANIER



Date/Visa 2/7/10  
Technicien : H ADRIEN



Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB** : Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention :** au-delà du 12/2/2011, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A Benard	Copie (s) :	HBi, DGm, DHe, Labo SM
Demandeur interne	A Benard	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17683	Demande du :	30/04/10
Date de réception des objets soumis à essai :	30/04/10		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

Exposé de la demande : Dosage du DHEP

Description du mode opératoire : Extraction liquide/liquide par du dichlorométhane, séchage, concentration et analyse CG/SM

Prestation Cofrac : OUI  NON

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
Date de traitement	12/05/10				
Date d'analyse	21/06/10				

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**Résultats :**

Référence INERIS	µg/L				
	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
DHEP	<4	5	7.2	10.1	10.7
Volume échantillon (ml)	440.5	1014.2	1020.1	1022.3	1015.2

La LQ a été calculée selon la méthode suivante : point bas de la gamme d'étalonnage, ramenée à un volume de 2 ml et une prise d'essai de 1 litre (sauf 10AH550, 500 ml).

**Assurance qualité :**

	LQ
	µg/L
DHEP	2
Volume échantillon (ml)	1000

**Observations :** Les 3 échantillons référencés 10AH552 étaient cassés.

Pour l'échantillon 10AH550, 1 seul sur les trois était entier, d'où un prélèvement de 440 ml au lieu du litre pour les autres.

**Nota :** Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa 2/07/10  
Responsable technique : D GRANIER

Date/Visa 2/7/10  
Technicien : H ADRIEN




Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB :** Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention :** au-delà du 01/8/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A Benard	Copie (s) : ex. le 5/07/10 MWE	M. Cerove HBI, DGn, DHe, Labo SM
Demandeur interne	A Benard	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17683	Demande du :	30/04/10
Date de réception des objets soumis à essai :	30/04/10		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

**Exposé de la demande :** Dosage des alkylphénols leurs éthoxylates et du bisphéno! A.

**Description du mode opératoire :** Extraction liquide/solide, concentration, dérivatisation et analyse CG/SM Selon norme ISO 18857-2

Prestation Cofrac : OUI  NON

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
Date de traitement	21/05/10				
Date d'analyse	11/06/10				

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**Résultats :**

Référence INERIS	µg/L				
	10AH550	10AH551	10AH554	10AH555	10AH556
Référence externe	CLE1	CLE2	CLE1	CLE2	CLE3
4-ter OP	5.7	1.3	6.4	<0.1	20
4 NPOHs	9.5	98	78	118	23
4 n NPOHl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4-ter-OP1EO	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4-NP1EO	5.3	9.7	21	<0.1	19
BPA	1.8	85	1.4	2.2	2.4
4-ter-OP2EO	11.7	484	6.9	3.2	8
4-NP2EO	80	90	86	114	135

- 4-ter-OP : 4 tertio octylphénol
  - 4-NPOH : 4 nonylphénol (coupe)
  - 4-n-NPOH : 4 nonyl phénol linéaire
  - 4-ter-OP1EO : 4 tertio octylphénol monoéthoxylé
  - 4-NP1EO : 4 nonylphénol monoéthoxylé (coupe)
  - BPA : bisphénol A
  - 4-ter-OP2EO : 4 tertio octylphénol diéthoxylé
  - 4-NP2EO : 4 nonylphénol diéthoxylé (coupe)
- Les résultats ne tiennent pas compte du rendement de récupération**

**Assurance qualité :**

	LQ µg/L	Dopage	
		Niveau (µg/L)	Rdt (%)
4-ter OP	0.1	niveau	Rendement
4 NPOHs	1.7	1.5	93
4 n NPOHl	0.1	1.5	75
4-ter-OP1EO	0.1	1.7	85
4-NP1EO	1.7	1.5	91
BPA	0.1	1.5	58
4-ter-OP2EO	0.1	1.5	93
4-NP2EO	1.7	1.5	85

Rdt : rendement de recouvrement.  
**Observations :** Les 3 échantillons référencés 10AH552 étaient cassés.  
 Très mauvais rendement de récupération des étalons internes pour l'échantillon 10AH551  
**Nota :** Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa 21/07/10  
 Responsable technique : D GRANIER

Date/Visa 21/7/10  
 Technicien : H ADRIEN




Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB :** Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention :** au-delà du 07/6/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A. BENARD	Copie (s) : <i>fait 18/05/10 ccé</i>	Classer résultats. DH, HBI, AG, Alp
Demandeur interne	A. BENARD	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	Bon léopard N° 17683	Demande du :	30/04/2010
Date de réception des objets soumis à essai :	30/04/2010		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage  Retournés pour restitution au demandeur

Exposé de la demande (description des objets soumis à essai si besoin) :  
Mesure des MES sur trois eaux.

Description du mode opératoire (intitulé des normes au besoin) :  
Mesure des MES selon la norme NF EN 872.

Prestation Cofrac : OUI  NON

Cas des prestations Cofrac : préciser ci-dessous (le cas échéant) les essais non couverts par la portée d'accréditation :  
Voir ci-dessus.

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Mesure des MES le 03/05/2010.

Mesures effectuées au laboratoire de chimie générale sur filtres Whatman type GFC.

Résultats :

Référence échantillon	MES mg/l
10AH554	8,0
10AH555	2,7
10AH556	4,0

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'unité concernée.

Assurance qualité :

MES	Résultat	Commentaires
Étalon de contrôle de justesse de la gamme d'étalonnage	Rdt = 108 % (essai 1) Rdt = 98,4 % (essai 2)	Contrôle à 50 mg/l. Résultats satisfaisants
Incertitudes	CVr = 2,57 % et incertitude = 10 %	Selon l'approche du contrôle interne de la norme XP T 90-220.
Limites de détection (LD)	LD = LQ/3	
Limites de quantification (LQ)	2 mg/l	Selon la norme.

Observations : RAS.

Nota : Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa

Responsable technique : A. PAPIX

Date/Visa le 07 mai 2010.

Technicienne : V. MINGUET

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB** : Marge d'erreur de l'ordre de 10% (laboratoire)

## Résultats bruts d'analyse

Echantillons d'eau et de boue pendant curage (campagne T<sub>1</sub>)

**INERIS****RESULTATS D'ANALYSES**

**Attention :** au-delà du 28/10/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

<b>Original :</b>	<b>A Benard</b> B. Hagebroeck	<b>Copie (s) :</b> ok, le 29/08/10 ESA	HBi, DGn, DHe, Labo masse
Demandeur interne	A Benard	Client externe :	
Contribution n° :	114626	<b>PRESTATION N° :</b>	112070
Commande / Bon N° :	17788	Demande du :	01/07/2010
Date de réception des objets soumis à essai :	01/07/2010		

**Objets soumis à essais :** Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

**Exposé de la demande :** Dosage des PBDE

**Description du mode opératoire :**

-Phases aqueuse : extraction liquide-liquide par du dichlorométhane après ajout des étalons internes, séchage Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, concentration et analyse CG/SM après purification.

-Echantillon de boues : Mise en solution par de l'acétone après ajout des étalons internes.

Extraction liquide-solide par de l'éther de pétrole. Filtration, lavage de la phase organique par de l'eau, séchage de celle-ci sur sulfate de sodium, concentration et purification, puis analyse CG/SM.

**Prestation Cofrac :** OUI  NON

**Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :**

<b>Référence INERIS</b>	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
<b>Référence externe</b>	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
<b>Date de traitement</b>	23/08/10					
<b>Date d'analyse</b>	22/09/10					

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

Référence INERIS	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
Référence externe	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
Date de traitement	23/08/10				
Date d'analyse	22/09/10				

Résultats : exprimés en ng/L pour les eaux et ng/g pour les boues

Unités	ng/L					
	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
Référence externe	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
BDE28	<2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE47	4.6	5.6	2.3	<2	<2	<2
BDE100	<2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE99	<2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE154	3.2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE153	2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE183	<2	<2	<2	<2	<2	<2
BDE209	151	301	72	26	<20	24

Unités	ng/L				ng/g sur sec
	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
Référence externe	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
BDE28	<2	<2	<2	<2	<3
BDE47	<2	<2	<2	<2	<3
BDE100	<2	<2	<2	<2	<3
BDE99	<2	<2	<2	<2	<3
BDE154	<2	<2	<2	<2	<3
BDE153	<2	<2	<2	<2	<3
BDE183	<2	<2	<2	<2	<3
BDE209	<20	<20	<20	<20	<30

La LQ a été calculée selon la méthode suivante : point bas de la gamme d'étalonnage, dont le coefficient de variation par rapport à celle-ci est < 20%, ramenés à un volume de 1 litre d'échantillon et un volume final de 2 ml pour les eaux. Pour les boues, prise d'essai de 0.76g d'échantillon et un volume final de 2 ml. Extrait sec de la boue de dragage composite= 28,1 %

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

Assurance qualité :

Unités	ng/ml	Hors gamme	
		Niveau (ng/ml)	Rdt(%)
	LQ		
<b>BDE28</b>	1	5	70
<b>BDE47</b>	1	5	112
<b>BDE100</b>	1	5	74
<b>BDE99</b>	1	5	76
<b>BDE154</b>	1	5	78
<b>BDE153</b>	1	5	72
<b>BDE183</b>	1	5	72
<b>BDE209</b>	10	50	102

Rdt(%) : réalisation d'une solution étalon indépendante de celles utilisées pour tracer la droite d'étalonnage et recalculée par rapport à cette droite.  
 Il n'a pas été tenu compte de ces rendements, dans le rendu des résultats.

Observations : *RAS*

Nota : Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 4 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa *28/09/10*  
 Responsable technique : D GRANIER

Date/Visa *23/09/10*  
 Technicien : H ADRIEN




Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB** : Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention :** au-delà du 28/9/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A Benard	Copie (s) :	IBi, DGn, DHe, Labo masse
		ok, le 2/05/10 ESA	
Demandeur interne	F Guillot	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17788	Demande du :	01/07/10
Date de réception des objets soumis à essai :	01/07/10		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage  Retournés pour restitution au demandeur

Exposé de la demande : Dosage DHEP dans des eaux et dans un échantillon de boues

Description du mode opératoire : Extraction par du dichlorométhane et analyse CG/SM

Prestation Cofrac : OUI  NON

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
Référence externe	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
Date de traitement	23/08/10					
Date d'analyse	30/08/10					

Référence INERIS	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
Référence externe	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
Date de traitement	23/08/10				
Date d'analyse	30/08/10				

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**Résultats :**

<b>Référence INERIS</b>	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
<b>Référence externe</b>	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
<b>DHEP</b>	6.2	4.8	4.4	2.9	2.7	2.3
<b>Unités</b>	µg/L					

<b>Référence INERIS</b>	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
<b>Référence externe</b>	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
<b>DHEP</b>	0.7	1.4	1.0	1.0	0.90
<b>Unités</b>	µg/L				µg/g

**Le résultat sur la boue est exprimé par rapport à l'échantillon sec**

**Taux humidité de l'échantillon 10AQ869= 71.4%**

La LD et la LQ ont été calculées selon la méthode suivante : point bas de la gamme d'étalonnage dont le coefficient de variation par rapport à celle-ci est inférieur à 20%

**Quantification effectuée sur 2 ions caractéristiques de la substance.**

**Le « blanc de manipulation » est de 0.4µg/L.**

**Assurance qualité :**

			Hors gamme	
	LQ-eau	LQ-boues	Niveau	Rdt recouvrement (%)
<b>DHEP</b>	0.2	0.01	100	101
	µg/L	µg/g	ng/ml	

**Observations :** La LQ est ramenée à un volume final de 2 ml (dilution de 10) et un volume d'échantillon de 1 litre pour l'eau et une prise d'essai de 0.7 g pour la boues (mêmes conditions que pour les échantillons).

**Nota :** Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa 31/08/10  
 Responsable technique : D GRANIER

Date/Visa 31/08/10  
 Technicien : H ADRIEN



Hugues GRANIER 01/09/10



Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée

**NB :** Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention** : au-delà du 03/10/2010 , vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota** : ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	A Benard	Copie (s) : <i>ok, le 6/09/10 ESA</i>	HBi, DGn DHe, Rodrigue Mackossomouelle Labo masse
Demandeur interne	F Guillot	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17788	Demande du :	01/07/10
Date de réception des objets soumis à essai :	01/07/10		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

Exposé de la demande : *Dosage des Alkylphénols et de leurs éthoxylés*

Description du mode opératoire : Norme ISO 18857-2 pour les eaux et d'un projet horizontal pour l'échantillon de boue.

Prestation Cofrac : OUI  NON

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
Référence externe	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
Date de traitement	Du 23 au 30 /08/10					
Date d'analyse	Du 24 au 30 /08/10					

Référence INERIS	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
Référence externe	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
Date de traitement	Du 23 au 30 /08/10				
Date d'analyse	Du 24 au 30 /08/10				

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée

Résultats :

Unités	µg/L					
	10AQ849	10AQ850	10AQ851	10AQ852	10AQ853	10AQ854
Référence INERIS	Eau point 1	Eau point 2	Eau point 3	Eau point 4	Eau point 5	Eau point 6
4-ter OP	0.1	<0.1	<0.1	1.3	0.1	<0.1
4 NPOHs	2.5	<0.7	11.2	9.3	77.3	25.1
4 n NPOHl	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	<0.1
4-ter-OP1EO	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
4-NP1EO	2.9	1.6	4.5	1.7	2.5	5.1
BPA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1
4-ter-OP2EO	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1
4-NP2EO	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7

Unités	µg/L				µg/g
	10AQ855	10AQ856	10AQ857	10AQ858	10AQ869
Référence INERIS	Eau point 7	Eau point 8	Eau point 9	Eau point 10	Boues de dragage composite
4-ter OP	0.1	1.2	<0.1	<0.1	3.9
4 NPOHs	14.8	37.6	11.1	9.6	765
4 n NPOHl	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.97
4-ter-OP1EO	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.12
4-NP1EO	1.1	4.3	6.4	4.7	3.46
BPA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	13.5
4-ter-OP2EO	0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1
4-NP2EO	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.2

4-ter-OP : 4 tertio octylphénol

4-NPOH : 4 nonylphénol (coupe)

4-n-NPOHl : 4 nonyl phénol linéaire

4-ter-OP1EO : 4 tertio octylphénol monoéthoxylé

4-NP1EO : 4 nonylphénol monoéthoxylé (coupe)

BPA : bisphénol A

4-ter-OP2EO : 4 tertio octylphénol diéthoxylé

4-NP2EO : 4 nonylphénol diéthoxylé (coupe)

**Les résultats ne tiennent pas compte du rendement de récupération**

**Les résultats de l'échantillon solide sont ramenés sur sec**

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Unité concernée.

**Assurance qualité :**

	LQ	LQ	Dopage	
	µg/L	µg/g	Niveau (µg/L) niveau	Rdt (%) Rendement
4-ter OP	0.1	0.02	6.7	72
4 NPOHs	0.7	0.2	6.7	102
4 n NPOHI	0.1	0.02	0.75	113
4-ter-OP1EO	0.1	0.02	0.67	73
4-NP1EO	0.7	0.2	6.7	70
BPA	0.1	0.02	0.67	90
4-ter-OP2EO	0.1	0.02	0.67	73
4-NP2EO	0.7	0.2	6.7	86

Rdt : rendement de recouvrement.

**Observations :** La limite de quantification pour l'échantillon solide est ramenée à un volume final de 5 ml et une prise d'essai de 3 g (équivalent à l'échantillon)

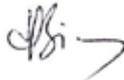
**Observations :** RAS

**Nota :** Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 4 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa 3/09/10  
Responsable technique : D GRANIER

Date/Visa 31/08/10  
Technicien : H ADRIEN




3/09/10  
HUGUES BIAUDET  


Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB :** Marge d'erreur de l'ordre de 30% (laboratoire)

**Attention :** au-delà du 07/8/2010, vérifier à l'aide du réseau, la validité du présent document papier.

**Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable d'affaire.**

**Nota :** ce document a été émis et est géré par l'unité « Chimie analytique et environnementale »

Original :	Benard. A	Copie (s) :	Classeur résultats. DH, HBi, App. AG (H. Leclerc)
Demandeur interne	Benard. A	Client externe :	
Contribution n° :	114626	PRESTATION N° :	112070
Commande / Bon N° :	17788	Demande du :	01/07/2010
Date de réception des objets soumis à essai :	01/07/2010		

Objets soumis à essais : Entièrement consommés   
Retournés pour destruction après stockage

Retournés pour restitution au demandeur

**Exposé de la demande :**  
Détermination de la teneur en MES de 10 eaux

**Description du mode opératoire:**  
Norme NF EN 872  
Filtres utilisés : WHATMAN GFC lot J11413361

Prestation Cofrac : OUI  NON

Cas des prestations Cofrac : préciser ci-dessous (le cas échéant) les essais non couverts par la portée d'accréditation :

Dates de traitement (extraction, minéralisation...) et d'analyse :

Référence INERIS	10 AQ 849 à 10AQ858
Date de traitement	06 et 07/07/2010

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée

Résultats :

Référence INERIS	mg MES/L
10AQ849	237
10AQ850	172
10AQ851	126
10AQ852	65
10AQ853*	35
10AQ854	31
10AQ855	25
10AQ856	22
10AQ857	24
10AQ858	25

Les résultats sont exprimés comme la moyenne de 2 mesures.  
 Les résultats compris entre la LD et la LQ (limite de quantification) sont indiqués < LQ.

Assurance qualité :

	Résultat	Commentaires
Etalon de contrôle de justesse de la gamme d'étalonnage	96 %	Contrôle à 50 mg/l.
Incertitudes	10%	Selon l'approche du contrôle interne de la norme XP T 90-220.
Limites de détection (LD)	1/3 LQ	
Limites de quantification (LQ)	2 mg/L	Seuil norme

Observations :

\*Incertitude à 15%.

Nota : Sauf avis contraire, les objets soumis à essai et leurs préparations seront éliminés 2 semaines après l'envoi des résultats.

Date/Visa *Le 08/07/2010*  
 Responsable technique : *A. P. P. P.*



Date/Visa : 07/07/2010  
 Technicien : S. Bailleul



Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée.

**NB :** Marge d'erreur de l'ordre de 10% (laboratoire)

ANNEXE 7

COMPARAISON DE CONCENTRATIONS MESUREES DANS LE SEDIMENT COMPOSITE DU CANAL  
DE LENS AVEC DES SEDIMENTS FLUVIAUX EN FRANCE METROPOLITAINE



En mg/kg MS	DEHP	Bisphénol A	Nonylphénols	4-n-nonylphénol	4-nonylphénols ramifiés	4-tert-octylphénol	BDE 47	BDE 99	BDE 100	BDE 153
<b>Agences de l'eau de France métropolitaine (hors Adour Garonne)</b>										
<b>Nombre d'échantillons</b>	1 622	150	1 544	200	1 666	1 368	740	918	918	740
<b>Données quantifiées</b>	1 052	0	374	0	468	23	54	107	53	4
<b>Données ≤ LQ (%)</b>	35.1	100.0	75.8	100.0	71.9	98.3	92.7	88.3	94.2	99.5
<b>Moyenne</b>	1.027	0.100	0.458	0.015	0.406	1.703	0.004	0.020	0.006	0.004
<b>Écart-type (n)</b>	3.209	0.000	1.836	0.008	1.259	4.736	0.005	0.000	0.007	0.005
<b>Coefficient de variation (%)</b>	3.126	0.000	4.008	0.505	3.099	2.780	1.232	0.000	1.177	1.256
<b>Effectif du min</b>	70	150	289	101	318	556	479	1	1	527
<b>Min</b>	0.010	0.100	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001	0.000	0.000	0.001
<b>1%</b>	0.010	0.100	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001	0.000	0.000	0.001
<b>10%</b>	0.050	0.100	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>1er Quartile</b>	0.074	0.100	0.020	0.010	0.020	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Médiane</b>	0.155	0.100	0.020	0.010	0.020	0.020	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>3ème Quartile</b>	0.627	0.100	0.200	0.020	0.196	0.020	0.010	0.010	0.010	0.010
<b>90%</b>	2.407	0.100	1.170	0.020	0.962	15.000	0.010	0.020	0.020	0.010
<b>99%</b>	12.500	0.100	6.020	0.020	5.930	15.000	0.020	0.020	0.020	0.020
<b>Max</b>	67.000	0.100	52.533	0.099	19.800	15.000 <sup>41</sup>	0.020	0.037	0.020	0.020
<b>LQ min</b>	0.01	0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	1.00e-5	0.001
<b>LQ max</b>	0.1	0.1	0.2	0.099	0.1	15	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Canal de Lens</b>	0,9	13,5	765,97	0,97	765	3,9	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003

Note : les résultats <LQ ont été fixés à la LQ. Pour lire correctement les centiles, vérifier au préalable le pourcentage des données < LQ.

Source : INERIS, 2011. Substances prioritaires dangereuses et d'intérêt émergent dans les sédiments fluviaux : quelques données françaises. DRC-10-105335-04971A. Jean-Marie Padox, Benoît Hazebrouck, Pierre Hennebert. Parution prévue en juin 2011.

<sup>41</sup> Maximum sur les teneurs détectées : 1,05 mg/kg.



## ANNEXE 8

### MODELISATION DE LA REPARTITION ENTRE PHASE ADSORBEE ET PHASE DISSOLUE DU POLLUANT DANS LA COLONNE D'EAU



La répartition entre phase adsorbée et phase dissoute du polluant dans la colonne d'eau peut se modéliser à partir de l'affinité du polluant pour la matrice solide (MES) par opposition à l'eau, exprimée par le coefficient de partage sol/liquide  $K_p$ , lui-même produit du  $K_{oc}$  par la fraction en carbone organique  $f_{oc}$  :

L'équation de partage sol/liquide s'écrit :

$$C_{MES} = K_p C_{sw,d}, \text{ avec}$$

$C_{sw,d}$  : concentration dissoute en polluant dans l'eau superficielle [mg/l]  
 $C_{MES}$  : concentration en polluant adsorbée dans la MES [mg/kg  $MS_{MES}$ ]  
 $K_p$  : coefficient de partage solide/liquide [mg/kg<sub>ms</sub>]/[mg/l]=L/kg, avec :

$$K_p = f_{oc} K_{oc}, \text{ avec}$$

$f_{oc}$  : teneur en carbone organique [OC] dans la MES [kg<sub>OC</sub> /kg  $MS_{MES}$ ]=kg/kg  
 $K_{oc}$  : coefficient de partage carbone organique / eau [mg/kg<sub>OC</sub>]/[mg/l]=L/kg

Cette formule ne prend en compte que la matière organique comme adsorbeur de contaminants organiques. Elle tend ainsi à sous-estimer  $K_p$ . Le domaine de validité de cette équation correspond à  $f_{oc}$  compris entre 0,001 et 0,17 d'après le CCME (1994).

La teneur de la phase adsorbée sur la MES dans la colonne d'eau s'écrit :

$$C_{sw,ads} = 10^{-6} C_{MES} MES, \text{ avec :}$$

$C_{sw,ads}$  : concentration adsorbée en polluant dans l'eau superficielle [mg/l]  
 $MES$  : teneur en matière en suspension [mg  $MS_{MES}$ /l]  
 $10^{-6}$  : conversion de kg de MES en mg de MES [kg  $MS_{MES}$ /mg  $MS_{MES}$ ]

La teneur totale dans la colonne d'eau s'écrit :

$$C_{sw} = C_{sw,d} + C_{sw,ads}$$

$C_{sw}$  : concentration totale en polluant dans l'eau superficielle [mg/l]

D'où les fractions dissoute  $f_s$  et adsorbée  $f_{ads}$  dans la colonne d'eau :

$$f_s = C_{sw,d} / C_{sw} = [C_{MES} / (f_{oc} K_{oc})] / [C_{MES} / (f_{oc} K_{oc}) + 10^{-6} C_{MES} MES],$$

soit :

$$f_s = 1 / [1 + 10^{-6} MES f_{oc} K_{oc}]$$

Et de même :

$$f_{ads} = C_{sw,ads} / C_{sw} = [10^{-6} MES f_{oc} K_{oc}] / [1 + 10^{-6} MES f_{oc} K_{oc}]$$

Lorsque nous avons assimilé la teneur dans les sédiments  $C_{sed}$  à la teneur dans la MES  $C_{MES}$  pour les polluants considérés, nous avons retenu la teneur totale mesurée dans les sédiments comme teneur adsorbée, ce qui est valable pour les  $K_{oc}$  (élevés) des substances considérées et un taux de matière sèche de l'ordre de 50 % (par opposition à 0,001 à 0,02 % considérés dans l'étude pour la MES dans l'eau).