

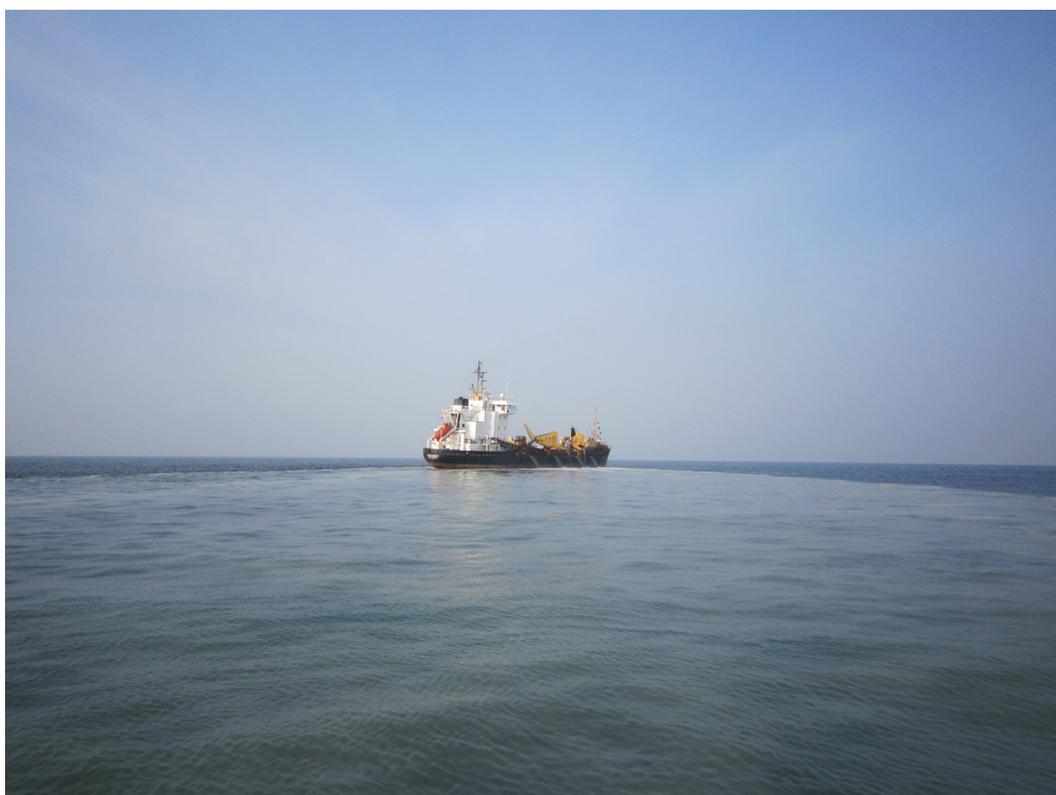
Florence MENET-NEDELEC, Jean-François CHIFFOLEAU, Philippe RIOU, Frank MAHEUX, Olivier PIERRE-DUPLESSIX, Emilie RABILLER, et Benjamin SIMON

Rapport Ifremer ODE/LERN/15-06  
Juillet 2015

## Etat chimique des sédiments et influence d'une extraction de granulats sur l'état chimique de l'eau de mer dans le cadre du PER GMH

### Etude **SCOOTER**

*Etude sur la remobilisation de Sédiments potentiellement Contaminés induite par une OpéraTion d'ExtRaction de granulats en baie de Seine*



**eau  
seine**  
NORMANDIE

Agence de l'eau



LES GRAVES DE L'ESTUAIRE

MATERIAUX BAIE DE SEINE

**RAPPORT FINAL D'ETUDE**



## Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : ODE/LERN/15-06 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Philippe Riou Adresse électronique : Philippe.Riou@ifremer.fr Adresse Web : www.ifremer.fr/lern/		Date de publication : Juillet 2015 Nombre de pages : 49 + Annexes Bibliographie: Oui Illustration(s) : Figures et Tableaux Langue du rapport : Français
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b>  <b>Etat chimique des sédiments et influence d'une extraction de granulats sur l'état chimique de l'eau de mer dans le cadre du PER GMH – Etude SCOOTER</b>		
Rapport intermédiaire		Rapport définitif : Oui
<b>Auteurs principaux :</b>  <b>Florence MENET-NEDELEC</b> <b>Jean-François CHIFFOLEAU</b> <b>Philippe RIOU, Frank MAHEUX, Olivier PIERRE-DUPLESSIX, Emilie RABILLER et Benjamin SIMON,</b>  <b>Coordination de la rédaction :</b> Florence MENET-NEDELEC <b>Composition/traitement de données/mise en page :</b> Florence MENET-NEDELEC		Organisme / Direction / laboratoire  IFREMER/ODE/UL/LER/N IFREMER/RBE/BE IFREMER/ODE/UL/LER/N IFREMER/ODE/UL/LER/N
Collaborateur(s) : <b>Référés/relecture :</b> J.-F. Chiffoleau P. Riou		Organisme / Direction / laboratoire IFREMER/RBE/BE IFREMER/ODE/UL/LER/N
<b>Cadre de la recherche :</b> Etude SCOOTER - Etude sur la remobilisation de Sédiments potentiellement Contaminés induite par une Opération d'ExtRaction de granulats en baie de Seine Convention Agence de l'Eau Seine-Normandie, et Contrat Les Graves de l'Estuaire et Matériaux Baie de Seine <b>Programme :</b> PG05 Dynamique, évaluation et surveillance des écosystèmes côtiers Convention : OUI  <b>Projet :</b> PJA050309 SCOOTER <b>Partenariats :</b> /		

**Résumé :**

Dans les mers côtières où les données des réseaux de surveillance montrent que les sédiments fins en surface contiennent des contaminants, la remobilisation de ces matériaux à l'occasion d'extractions de granulats, qui génère un panache turbide, pourrait influencer la qualité de l'eau. La baie de Seine orientale est sous l'influence du panache de la Seine, l'un des fleuves les plus contaminés d'Europe.

Cette étude avait pour objectif d'examiner la remobilisation des métaux traces et de contaminants organiques des sédiments vers la surface pendant et après une extraction de granulats à travers leur comportement entre la fraction totale et dissoute. Pour cela, l'expérimentation a été réalisée lors d'un essai d'extraction dans le cadre du Permis Exclusif de Recherche des Granulats Marins Havrais (PER GMH) obtenus par les entreprises Les Graves de l'Estuaire et Matériaux Baie de Seine entre mi-2010 et mi-2015 (ouverture de travaux obtenue en 2012).

Le site de l'étude était situé à environ 20 km des côtes du Havre dans le périmètre du PER dans la Zone Ouest sélectionnée pour un essai d'extraction. Lors d'une première phase réalisée à basse mer pour être sous l'influence du panache de la Seine, une caractérisation de l'état chimique des sédiments de la zone et de l'eau de mer verticalement a été effectuée. Puis, la deuxième phase, réalisée sur la période étiage de pleine mer - flot, a consisté à réaliser un état initial avant extraction, puis à prélever des échantillons d'eau de mer brute et filtrée ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ) en sub-surface dans le panache turbide généré par le navire extracteur à une fréquence donnée, et à effectuer un dernier prélèvement une heure après la fin de l'extraction. Les résultats ont montré une remise en suspension de métaux traces associés aux sédiments tout au long de la durée de l'extraction, avec peu de transfert dans la phase dissoute, puis une nette tendance au retour à l'état initial dans l'eau brute et l'eau filtrée pendant la disparition du panache turbide. L'essai d'extraction de granulats dans la Zone Ouest du PER GMH a donc bien eu une influence sur l'état chimique de l'eau dans le panache turbide pendant sa durée de vie, mais ne semble pas montrer d'influence à long terme (après la disparition du panache) sur la qualité globale de l'eau sur le site de l'étude.

**Mots-clés :** Baie de Seine ; Métaux traces ; Contaminants organiques ; Sédiment ; Eau de mer ; Panache turbide ; Extraction de granulats.

# Sommaire

<i>Liste des Figures</i> .....	6
<i>Liste des Tableaux</i> .....	7
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
I.1 Contexte de l'étude .....	8
I.2 Objectifs .....	10
<b>II. BILAN DES CONNAISSANCES SUR L'ETAT CHIMIQUE DANS LE PER</b> .....	<b>11</b>
II.1 Méthode d'interprétation des données.....	11
II.1.1 <i>Limites analytiques</i> .....	11
II.1.2 <i>Dans le sédiment</i> .....	12
II.1.3 <i>Dans l'eau de mer</i> .....	13
II.2 Campagne ROCCHSED-GMH 2013 .....	14
II.2.1 <i>Présentation de la campagne</i> .....	14
II.2.2 <i>Méthode d'échantillonnage</i> .....	14
II.2.3 <i>Analyses</i> .....	15
II.2.4 <i>Résultats</i> .....	15
II.2.5 <i>Conclusion</i> .....	19
II.3 Campagne Chimie des sédiments et de l'eau du PER GMH.....	20
II.3.1 <i>Présentation de la campagne</i> .....	20
II.3.2 <i>Méthode d'échantillonnage</i> .....	21
II.3.3 <i>Analyses</i> .....	21
II.3.4 <i>Résultats</i> .....	21
II.3.5 <i>Conclusion</i> .....	26
<b>III. METHODOLOGIE</b> .....	<b>27</b>
III.1 Extraction des granulats et panache turbide.....	27
III.1.1 <i>Technique d'extraction des granulats</i> .....	27
III.1.2 <i>Comportement du panache turbide</i> .....	27
III.2 Echantillonnage .....	28
III.2.1 <i>Stratégie</i> .....	28
III.2.2 <i>Prélèvements réalisés</i> .....	29
III.2.2.1 Phase I .....	29
III.2.2.2 Phase II.....	30
III.3 Analyses .....	30
III.3.1 <i>Climatologie et observations satellitaires</i> .....	30
III.3.2 <i>Physico-chimie et hydrologie</i> .....	31
III.3.3 <i>Chimie</i> .....	31
<b>IV. RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>32</b>
IV.1 Climatologie.....	32
IV.2 Observations satellitaires .....	32
IV.3 Phase I – Influence du panache de la Seine.....	34
IV.3.1 <i>Conditions physico-chimiques et hydrologiques</i> .....	34
IV.3.2 <i>Imprégnation chimique des sédiments</i> .....	36
IV.3.3 <i>Etat chimique de la colonne d'eau</i> .....	38
IV.4 Phase II – Influence de l'extraction de granulats.....	40
IV.4.1 <i>Conditions physico-chimiques et hydrologiques</i> .....	40
IV.4.2 <i>Evolution de l'état chimique de l'eau en sub-surface</i> .....	42
<b>V. CONCLUSION</b> .....	<b>45</b>
V.1 Synthèse des résultats .....	45
V.2 Recommandations .....	47
<b>Bibliographie</b> .....	<b>48</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>49</b>

# Liste des Figures

<b>Figure 1</b> : Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif. Produit numérique « Granulats marins » Ifremer 2013. ....	8
<b>Figure 2</b> : Périmètre du PER GMH et coordonnées géographiques. ....	8
<b>Figure 3</b> : Localisation de l'isoplèthe 5 NTU en surface à basse mer en fonction du débit de la Seine et des conditions d'agitation selon Aminot et al. (1997), et positionnement du périmètre du PER GMH. ....	9
<b>Figure 4</b> : Cartes des stations de sédiment échantillonnées pour la campagne ROCCHSED 2009, et répartition surfacique des concentrations normalisées en cadmium (Cd), mercure (Hg), plomb (Pb), CB153 et Benzo(g,h,i)pérylène. ....	10
<b>Figure 5</b> : Diagramme explicatif de l'interprétation des données par rapport à la limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ). ....	11
<b>Figure 6</b> : Position des stations de la campagne ROCCHSED 2013 (zoom sur la baie de Seine orientale). ....	14
<b>Figure 7</b> : Mise à l'eau du petit carottier Reineck. ....	14
<b>Figure 8</b> : Distribution des sédiments fins de surface durant la campagne ROCCHSED 2013. ....	15
<b>Figure 9</b> : Distribution du plomb (en mg/kg poids sec) non normalisée (en haut) et normalisée à 5 % d'aluminium (en bas) dans les sédiments de la Baie de Seine Orientale. ....	16
<b>Figure 10</b> : Distribution du fluoranthène (en µg/kg poids sec) non normalisé (en haut) et normalisé à 2,5 % de COP (en bas) dans les sédiments de la baie de Seine orientale. ....	17
<b>Figure 11</b> : Distribution du CB 153 (en µg/kg poids sec) non normalisé et normalisé à 2,5 % de COP dans les sédiments de la Baie de Seine Orientale. ....	18
<b>Figure 12</b> : Localisation des stations de prélèvement de la Phase II de la thématique Chimie des sédiments du PER GMH. ....	20
<b>Figure 13</b> : Débits journaliers (m <sup>3</sup> /s) de la Seine à Vernon en 2014 (à gauche, données Banque Hydro DREAL) et observation satellite analysée (5 derniers jours) de la turbidité le 23/04/2014 (à droite, données Prévimer). ....	21
<b>Figure 14</b> : Proportion des différentes fractions granulométriques inférieures à 2 mm sur les stations échantillonnées dans le périmètre du PER GMH (issu de TBM, 2014). ....	22
<b>Figure 15</b> : Schéma explicatif du mode d'extraction des granulats par drague aspiratrice, déversement, et surverse par sabord discontinu (à gauche), et photographie du déversement et de la surverse par sabord discontinu à bord du Sand Heron (à droite). ....	27
<b>Figure 16</b> : Positionnement des stations de prélèvement lors de la phase I de l'étude SCOOTER dans la zone Ouest du périmètre du PER GMH. ....	29
<b>Figure 17</b> : Positionnement des stations de prélèvement lors de la phase II de l'étude SCOOTER dans la zone Ouest du périmètre du PER GMH. ....	30
<b>Figure 18</b> : Précipitations journalières (en mm) en 2014 au Cap de la Hève (à gauche, données MétéoFrance), et débits de la Seine (en m <sup>3</sup> /s) en 2014 à Vernon (à droite, données Banque Hydro). ....	32
<b>Figure 19</b> : Anomalie de la température de surface sur 24 h, Chlorophylle-a et Turbidité analysées (5 derniers jours), observées par satellite les 22/09/14 et 23/09/14 (données Prévimer). ....	33
<b>Figure 20</b> : Simulations des courants et de la salinité le 22/09/14 par le modèle MARS3D (données Prévimer). ....	34
<b>Figure 21</b> : Profile à la sonde multi-paramètres en salinité (en rouge), concentration en oxygène dissous (en bleu) et en fluorescence (en vert) réalisé à 18h20. ....	34
<b>Figure 22</b> : <u>De gauche à droite</u> : Concentration en Matières en Suspension (MES) et en Matière Organique Particulaire (MOP) en surface, mi-profondeur et fond ; Photographie des filtres avant détermination des MES ; Concentration en Carbone Organique Dissous (COD) et en Carbone Organique Particulaire (COP) en surface, mi-profondeur et fond. ....	35
<b>Figure 23</b> : Photographie de l'échantillon de sédiments prélevé le 22/09/14 pour les analyses chimiques, et résultats de l'analyse granulométrique. ....	36
<b>Figure 24</b> : Comparaison des niveaux en métaux dans l'échantillon de sédiment et la station CH5 de la campagne Chimie des sédiments – Phase II du PER GMH du printemps 2014. ....	36
<b>Figure 25</b> : Comparaison des niveaux en métaux dans l'échantillon SCOOTER et la station CH5 de la campagne Chimie des sédiments – Phase II du PER GMH du printemps 2014. ....	37

<b>Figure 26</b> : Concentrations en surface, mi-profondeur (ca. 10 m), et au fond (ca. 20 m) en cuivre (Cu), du vanadium (V), du 4-tert-butylphénol (4TERTBUT), et du Diéthylhexylphtalate (DEHP) dans l'eau brute (EB) et l'eau filtrée (EF).....	38
<b>Figure 27</b> : Simulations des courants et de la salinité le 23/09/14 par le modèle MARS3D (données Prévimer). 40	
<b>Figure 28</b> : Données physico-chimiques collectées lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction. ....	41
<b>Figure 27</b> : Données hydrologiques collectées lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction avec leurs incertitudes de mesures. ....	41
<b>Figure 30</b> : Résultats dans l'Eau Brute (EB) et l'Eau Filtrée (EF) pour le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le vanadium (V) et le Diéthylhexylphtalate (DEHP) lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction.....	43

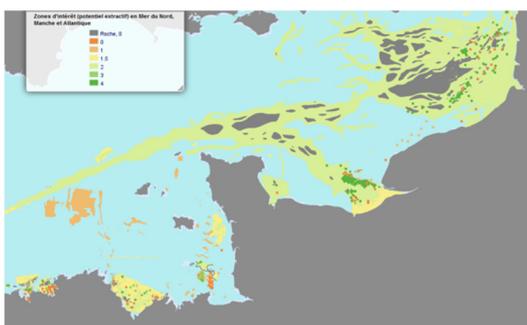
## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Comparaison des concentrations normalisées à 5 % Al pour les métaux (Hg, Cd, Pb) sur les stations 132, E1, E2 et E3 avec les niveaux OSPAR. ....	16
<b>Tableau 2</b> : Comparaison des concentrations normalisées à 2,5 % COP pour les HAPs sur les stations 132, E1, E2 et E3 aux niveaux OSPAR.....	17
<b>Tableau 3</b> : Comparaison des concentrations normalisées à 2,5 % COP pour les PCBs sur les stations 132, E1, E2 et E3 aux niveaux OSPAR.....	18
<b>Tableau 4</b> : Interprétation des résultats chimiques dans le sédiment de la campagne PERSED-II après normalisation à 5 % aluminium pour les métaux, et 2,5 % carbone organique pour les substances organiques.....	23
<b>Tableau 5</b> : Interprétation des résultats chimiques dans l'eau de la campagne PERSED-II. ....	25
<b>Tableau 6</b> : Recensement des substances chimiques non quantifiables pendant la Phase II de la campagne SCOOTER. ....	42
<b>Tableau 7</b> : Synthèse des substances quantifiées dans les échantillons de sédiment, d'eau brute ou d'eau filtrée. ....	45

# I. Introduction

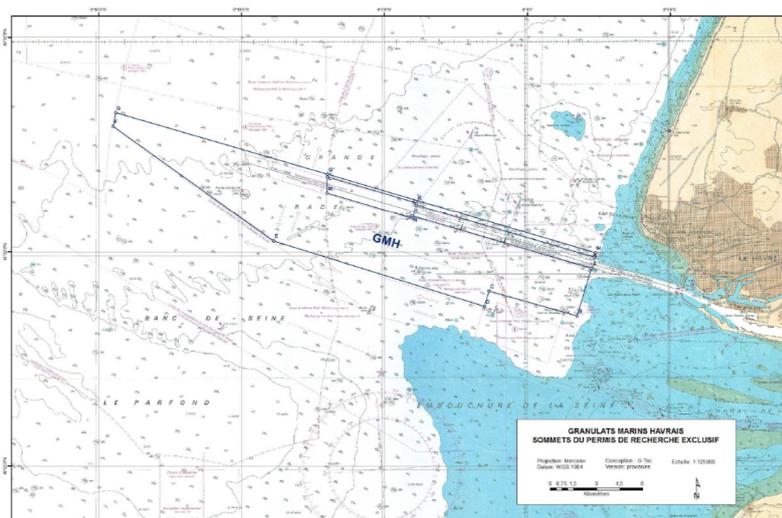
## I.1 Contexte de l'étude

Avec un besoin de plus de 350 millions de tonnes de granulats chaque année en France, le granulat est, après l'eau, la substance naturelle la plus consommée, avec une demande qui augmente depuis 30 ans. Les ressources en granulats marins ont été estimées en 2006 par l'Ifremer à 149 milliards de tonnes pour la façade Manche-Est (limité à la zone économique exclusive française) (Ifremer, 2006). Compte tenu des contraintes techniques, réglementaires, économiques et environnementales, seuls quelques pourcents sont actuellement exploitables (**Figure 1**).



**Figure 1 :** Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif. Le potentiel est gradué de 0 (potentiel le plus faible) à 4 (potentiel le plus fort). La méthode se base sur l'analyse de carottages, de données morphologiques et de données sismiques (cartes d'isopaques). Produit numérique « Granulats marins » Ifremer 2013.

Les entreprises Les Graves de l'Estuaire (LGE) et Matériaux Baie de Seine (MBS) ont obtenu le Permis Exclusif de Recherches des Granulats Marins Havrais (**PER GMH**), afin d'établir un état des lieux environnemental de la zone concernée à l'aide d'un programme de recherches d'une durée de 3 ans (2012-2015) (**Figure 2**). Dans ce cadre, ces entreprises ont contacté les différents acteurs et scientifiques locaux afin d'établir cet état des lieux, dans un souci de mise en commun des protocoles, de mutualisation des données et de partage des connaissances.



Sommets	WGS 84 Coordonnées géographiques	
	Latitudes	Longitudes
A	49° 29,613' N	00° 02,248' E
B	49° 28,503' N	00° 01,742' E
C	49° 29,086' N	00° 01,341' O
D	49° 28,728' N	00° 01,504' O
E	49° 30,255' N	00° 08,881' O
F	49° 32,926' N	00° 14,496' O
G	49° 33,248' N	00° 14,410' O
G'	49° 31,759' N	00° 06,985' O
H	49° 29,978' N	00° 02,393' E
I	49° 29,874' N	00° 02,346' E
J	49° 31,095' N	00° 03,899' O
K	49° 31,147' N	00° 03,875' O
L	49° 31,755' N	00° 06,999' O
M	49° 31,373' N	00° 07,007' O
N	49° 30,784' N	00° 04,036' O
O	49° 30,838' N	00° 04,017' O

**Figure 2 :** Périmètre du PER GMH et coordonnées géographiques.

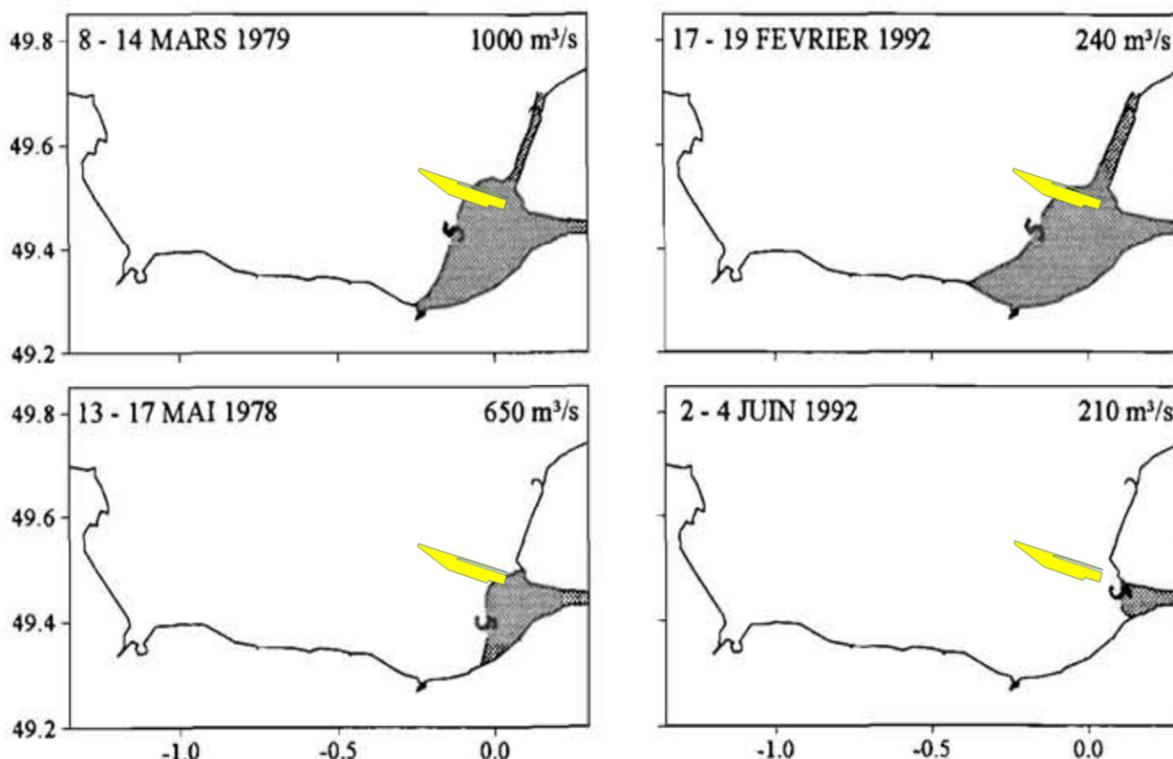
Les extractions de granulats marins sont généralement réalisées entre 10 et 40 m d'épaisseur d'eau à une distance comprise entre 8 et 50 km du littoral, et les gisements exploités sur une épaisseur moyenne de 1 à 5 m. Les impacts sur le milieu naturel liés à l'extraction de granulats marins peuvent être : physiques, chimiques et biologiques, ces derniers pouvant découler des impacts physiques.

Les impacts chimiques peuvent être engendrés par la mise à jour de sédiments sous-jacents ou autres particules de nature différentes, et par la remise en suspension de particules différentes de celles préalablement présentes dans le panache turbide (Duclos, 2012).

L'arrêté préfectoral d'ouverture de travaux du PER GMH fixe les obligations en matière de thématiques suivies dans le cadre du programme de recherches : reconnaissance géophysique, prélèvements biosédimentaires, campagne de chalutage de fonds, et prélèvements d'eau et de sédiments. Une étude sur la remobilisation de sédiments imprégnés de substances chimiques n'est donc pas une obligation pour les entreprises LGE et MBS dans le cadre du PER GMH.

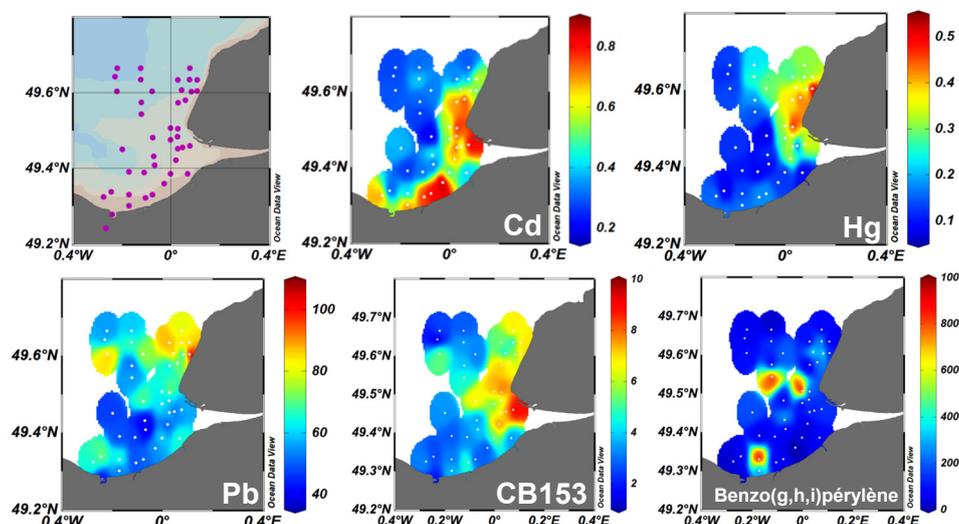
En effet, l'impact chimique des opérations d'extraction de granulats est souvent jugé négligeable en partant du principe que, les sédiments recherchés étant grossiers (ex. sable, graviers), ceux-ci ne contiennent pas de contaminants qui sont associés aux particules fines ( $< 63 \mu\text{m}$ ). Cependant, les sédiments ne sont jamais à 100 % grossiers ou fins, mais sont mélangés en différentes proportions.

De précédentes campagnes ont mis en évidence l'effet des apports turbides de l'estuaire de la Seine dans la partie sud-est de la baie. Ces apports sont issus du bouchon vaseux de l'estuaire et sont liés au débit du fleuve et à l'amplitude de la marée (Aminot *et al.*, 1997). Ainsi, l'extension de la zone turbide, fortement influencée par l'estuaire, peut être schématiquement limitée par l'isoplèthe 5 NTU (**Figure 3**). La zone du PER a une superficie de 53,27 km<sup>2</sup> à une profondeur de 10 à 22 m, et se situe entre 2,6 et 14 milles marins de la sortie du port du Havre (**Figure 2**). Cette zone peut donc être impactée par le panache turbide dans certaines conditions hydrodynamiques et climatiques sur près de 50 % de sa surface, et donc de tous ses apports éventuels en substances chimiques.



**Figure 3** : Localisation de l'isoplèthe 5 NTU en surface à basse mer en fonction du débit de la Seine et des conditions d'agitation selon Aminot *et al.* (1997), et positionnement du périmètre du PER GMH.

Enfin, la campagne du Réseau d'Observation de la Contamination Chimique (ROCCH) dans le sédiment réalisée en 2009, a montré l'imprégnation de l'est de la baie de Seine par diverses substances chimiques. Les zones impactées peuvent être différentes selon les substances observées (**Figure 4**). Il paraît donc important d'effectuer une étude dans cette zone sur la dynamique de la remobilisation de sédiment potentiellement imprégnés de substances chimiques lors d'opérations d'extraction de granulats.



**Figure 4 :** Cartes des stations de sédiment échantillonnées pour la campagne ROCCHSED 2009, et répartition surfacique des concentrations normalisées en cadmium (Cd), mercure (Hg), plomb (Pb), CB153 et Benzo(g,h,i)pérylène.

## 1.2 Objectifs

Les objectifs de cette étude sont donc les suivants :

- 1) Apporter des connaissances sur la remobilisation des sédiments potentiellement porteurs de substances chimiques, sur la cinétique de cette remobilisation dans le panache turbide créé, et le devenir des substances entre la phase particulaire et la phase dissoute ;
- 2) Vérifier l'évolution de la qualité des eaux, et permettre d'identifier le besoin ou non d'un suivi à long terme lors de la phase d'exploitation d'un gisement dans une zone impactée par l'apport de sédiments fins imprégnés de substances chimiques.

La **phase expérimentale** sur le site choisi pour l'extraction test a pour but de permettre de répondre aux questions suivantes :

- a) Quel est le niveau d'imprégnation des sédiments sur le site choisi par rapport aux données disponibles, et quels sont les substances chimiques les plus présentes ?
- b) Quel est le niveau ambiant des substances chimiques dans l'eau hors test d'extraction, afin d'estimer l'influence des apports du panache de la *Seine* ?
- c) Comment se comportent les substances chimiques entre la phase dissoute et la phase particulaire pendant les différentes étapes d'extraction et d'évolution du panache turbide ?
- d) Quel est le niveau ambiant des substances chimiques dans l'eau après une opération d'extraction dans le site choisi ?

La synthèse des résultats permet d'**émettre des recommandations** quant à la nécessité de mettre en place un suivi chimique à long terme dans le cadre d'extractions de granulats dans une zone impactée par l'apport de sédiments fins imprégnés de substances chimiques.

En parallèle, le comportement hydrodynamique d'un relargage de particules dans la zone du PER GMH a été testé à l'aide du **modèle MARS-3D** disponible au LER/N, dans les conditions sélectionnées pour la phase expérimentale. Les résultats de cet aspect de l'étude sont présentés en Annexe VI.

## II. Bilan des connaissances sur l'état chimique dans le PER

Un bilan des connaissances sur les niveaux des éventuelles substances chimiques retrouvées dans la zone d'étude du PER GMH est donc nécessaire afin de pouvoir comparer les résultats obtenus dans l'étude. Deux campagnes récentes ont été menées sur le premier centimètre des sédiments (ROCCHSED-GMH 2013), et sur environ 10 à 20 cm de sédiment et sur l'eau à mi-profondeur (Campagne Chimie des sédiments et chimie de l'eau du PER GMH – Phase II en avril 2014).

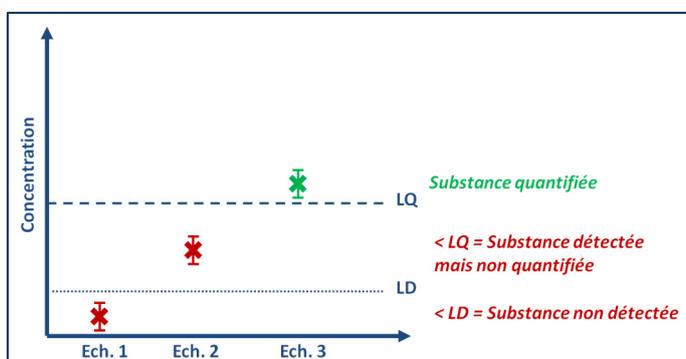
Préalablement à la présentation de ces données, un point sur la méthode d'interprétation des analyses chimiques dans le sédiment et dans l'eau est présenté.

### II.1 Méthode d'interprétation des données

#### II.1.1 Limites analytiques

Afin d'appréhender correctement l'interprétation des résultats d'analyses chimiques, il est nécessaire de bien comprendre les limites inhérentes à celles-ci. Ainsi pour toute analyse chimique quantitative, la performance analytique de l'analyse doit être évaluée en termes d'étalonnage, d'exactitude, et de limite de quantification par le laboratoire. Par définition (**Figure 5**) :

- la **limite de détection (LD)** est la plus petite concentration ou teneur de l'analyte<sup>1</sup> pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Autrement dit, la LD est la plus petite concentration qui peut être distinguée du blanc avec un risque de 0,13 % de garder des échantillons ne contenant rien. C'est-à-dire la valeur à partir de laquelle un test statistique de comparaison de la réponse à la valeur 0 devient significatif avec un risque d'erreur  $\alpha$  de 0,13 %.
- la **limite de quantification (LQ)** est la plus petite concentration ou teneur de l'analyte pouvant être quantifiée, avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Autrement dit, la LQ est la plus petite concentration qui peut être distinguée du blanc avec un risque de 0,5 % de garder des échantillons ne contenant rien. C'est-à-dire la valeur à partir de laquelle un test statistique de comparaison de la réponse à la valeur 0 devient significatif avec un risque d'erreur  $\alpha$  de 0,5 %.



**Figure 5 :** Diagramme explicatif de l'interprétation des données par rapport à la limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ).

<sup>1</sup> Substance ou composé chimique faisant l'objet de l'analyse chimique.

Aussi, lorsqu'un résultat est rendu comme inférieur à la limite de quantification (< LQ), cela signifie que la méthode d'analyse utilisée par le laboratoire n'était pas assez performante pour analyser la teneur en analyte présent dans l'échantillon avec une incertitude acceptable. Cette limitation à l'interprétation des données de contaminants dans le milieu marin est fréquente, quelque soit la matrice (eau, biote, sédiment), mais particulièrement dans l'eau de mer. En effet, les apports continentaux sont rapidement dilués et/ou font l'objet de processus biogéochimiques favorisant leur élimination de la matrice « eau », vers les autres matrices (biote et/ou sédiment).

### II.1.2 Dans le sédiment

L'interprétation des résultats des analyses chimiques dans le sédiment est basée prioritairement sur les travaux de la commission OSPAR ([www.ospar.org](http://www.ospar.org)). L'évaluation de la contamination utilise des critères d'évaluation avec lesquels il est possible de construire une grille de lecture.

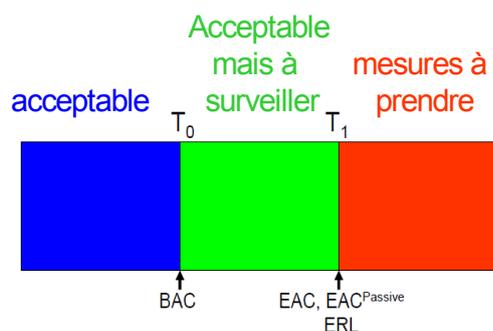
Afin d'utiliser cette grille, une normalisation des concentrations est nécessaire afin d'homogénéiser les résultats en fonction des propriétés du sédiment. Ainsi, les métaux sont normalisés à une teneur de 5 % d'aluminium, les organiques à une teneur de 2,5 % de Carbone Organique Particulaire (COP), selon les formules suivantes :

- **Pour les métaux :** Concentration normalisée = Concentration mesurée  $\times \frac{5\%}{\text{Teneur en Al } (\%)}$
- **Pour les organiques :** Concentration normalisée = Concentration mesurée  $\times \frac{2,5\%}{\text{Teneur en COP } (\%)}$

La grille de lecture d'OSPAR utilise pour le sédiment 3 critères :

- **EAC** (Environmental Assessment Criteria) : Concentration au-dessous de laquelle aucun effet chronique n'est attendu pour les espèces marines ;
- **ERL** (Effects Range Low) : Niveau défini comme le plus bas 10<sup>ème</sup> percentile des données qui seraient associées à des effets biologiques ;
- **BAC** (Background Assessment Concentration) : Niveau au niveau duquel les concentrations sont dites « proches du bruit de fond ».

Cette grille peut être schématisée de la façon suivante :



**Couleur rouge :** Etat inacceptable / Mesures à mettre en place et suivi des tendances.

**Couleur Vert :** Etat acceptable mais suivi nécessaire pour évaluer la tendance.

**Couleur Bleu :** Etat acceptable car proche du bruit de fond.

L'interprétation par rapport aux EACs doit cependant être effectuée avec prudence en fonction de la fraction dans laquelle les analyses chimiques ont été effectuées : fraction tamisée (< 63 µm) ou sédiment total (< 2 mm). En effet, les EACs définis par OSPAR ne prennent pas en compte les caractéristiques physico-chimiques des sédiments testés, mais sont basés sur des bioessais sur du sédiment entier et non sur une fraction donnée (ICES, 2012). En outre, ces EACs ne prennent pas en compte les effets biologiques spécifiques à long-terme, comme la carcinogénotoxicité, la génotoxicité, et la perturbation endocrinienne, et n'inclut pas les effets cumulés. Enfin, la procédure par laquelle les critères ERL sont dérivés est très différente de la méthode de dérivation des EACs, aussi une équivalence précise entre ces deux séries de critères ne doit pas être attendue (OSPAR, 2009-2).

Lorsque la composition du sédiment dévie largement des recommandations d'OSPAR (fraction fine inférieure à  $63 \mu\text{m} < 20\%$ ), comme pour des sédiments sableux, l'extrapolation plus large requise peut causer une incertitude inacceptable. La mesure de concentrations dans des fractions fines de sédiments tamisés demandant peu d'extrapolation (ou interpolation) dans le processus de normalisation fournit des sets de données plus puissants (OSPAR, 2014). Cependant, la proportion de sédiment grossier n'affecte pas la distribution des métaux traces dans la fraction fine, si celle-ci reste supérieure à 5 % (Cauwet, 1987).

Enfin, lorsque les résultats sont inférieurs à la LQ et que des critères OSPAR existent, celle-ci est normalisée par rapport à la fraction fine comme présenté ci-dessus. Cette étape permet d'identifier un risque potentiel de dépassement du critère EAC ou ERL si la LQ ainsi normalisée est supérieure à ce critère.

Lorsqu'aucun critère OSPAR n'existe à ce jour, les données sont comparées à la concentration prévisible dite sans effets (PNEC, *Predicted No Effect Concentration*) définie pour les sédiments. Cette valeur a été estimée sur la base de résultats de bio-essais monospécifiques aigus et/ou chroniques sur différentes espèces représentatives d'au moins 3 niveaux trophiques (algues, crustacés, poissons) pour les milieux aquatiques, auxquels des facteurs d'extrapolation sont appliqués en fonction de la nature des données disponibles. Cette valeur correspond donc à la plus forte concentration sans risque pour l'environnement.

Dans tous les cas où les critères d'OSPAR ou la PNEC sédiments ont été pris comme référence, ces éléments d'interprétation n'ont pas de valeur réglementaire, et ne peuvent donc être utilisés que dans l'objectif de qualifier la qualité environnementale d'un sédiment. Les critères validés ou provisoires utilisés pour l'interprétation des données dans le sédiment sont résumés dans l'Annexe I.

### **II.1.3 Dans l'eau de mer**

L'interprétation des résultats des analyses chimiques dans l'eau de mer est basée prioritairement sur la réglementation dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE, <http://wwz.ifremer.fr/dce>). L'évaluation chimique des masses d'eau littorales repose sur deux Normes de Qualité Environnementale (NQE) établies pour les substances prioritaires :

- NQE-CMA : Concentration Maximale Admissible (en  $\mu\text{g/L}$ ). Ce seuil ne doit pas être dépassé par une seule des mesures effectuées pendant le plan de surveillance (mesures réalisées 1 fois par mois pendant 12 mois) ;
- NQE-MA : Moyenne Annuelle (en  $\mu\text{g/L}$ ). La moyenne des 12 mesures effectuées pendant le plan de surveillance (1 fois par mois pendant 12 mois) ne doit pas dépasser ce seuil.

Les NQE sont définies comme la « *concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement* » (DCE 2000/60/CE, § 35.2). Elles prennent donc en compte à la fois la dangerosité du composé vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine, et correspondent donc à la fois à des seuils sanitaires et environnementaux réglementaires.

De même que pour les sédiments, lorsqu'aucun seuil DCE n'a été défini pour une substance, les données ont été comparées à la concentration prévisible dite sans effets (PNEC, *Predicted No Effect Concentration*) définie pour les eaux marines. Cette valeur a été estimée sur la base de résultats de bio-essais monospécifiques aigus et/ou chroniques sur différentes espèces représentatives d'au moins 3 niveaux trophiques (algues, crustacés, poissons) pour les milieux aquatiques, auxquels des facteurs d'extrapolation sont appliqués en fonction de la nature des données disponibles. Cette valeur correspond donc à la plus forte concentration sans risque pour l'environnement, et n'a pas de fonction réglementaire.

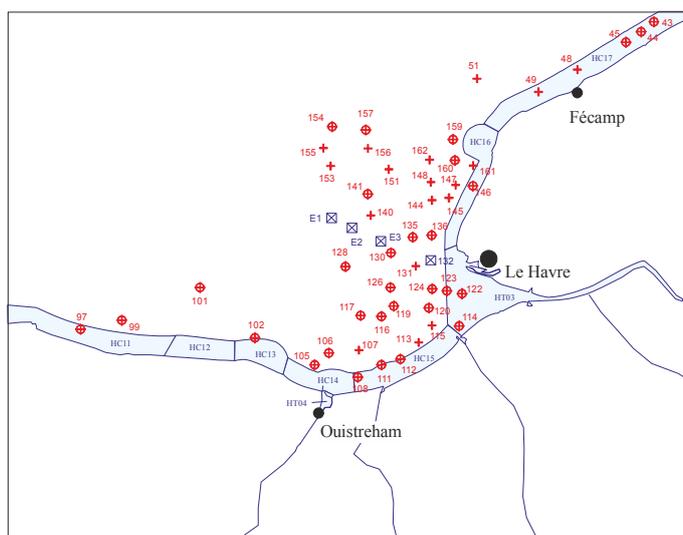
Les critères validés ou provisoires utilisés pour l'interprétation des données dans l'eau de mer sont résumés dans l'Annexe I.

## II.2 Campagne ROCCHSED-GMH 2013

### II.2.1 Présentation de la campagne

La baie de Seine est périodiquement échantillonnée (tous les 6 ans), pour évaluer le niveau de contamination des sédiments dans le cadre de la campagne ROCCHSED (Réseau d'Observation de la Contamination Chimique dans le SEDiment) opérée par Ifremer et financée par l'Agence de l'Eau Seine Normandie.

Effectuée sur le N/O *Thalia* entre les 2 et 17 juin 2013, cette campagne a permis d'échantillonner 53 stations entre Port-en-Bessin et Dieppe (**Figure 6**). Parmi celles-ci, la station **132** était située dans la zone du PER GMH, et un échantillonnage supplémentaire à la campagne ROCCH a été effectué à la demande des entreprises LGE et MBS sur 3 stations (**E1, E2 et E3**) afin de couvrir tous les faciès sédimentaires du périmètre du PER GMH.



**Figure 6** : Position des stations de la campagne ROCCHSED 2013 (zoom sur la baie de Seine orientale). Les stations échantillonnées dans la zone du PER GMH sont représentées par un carré avec une croix bleue (E1, E2, E3, 132).

Stations	WGS 84 Coordonnées géographiques	
	Latitudes	Longitudes
<b>132</b>	49° 29,055' N	0° 01,520' E
<b>E3</b>	49° 30,672' N	0° 06,382' O
<b>E2</b>	49° 31,810' N	0° 10,909' O
<b>E1</b>	49° 32,416' N	0° 12,283' O

### II.2.2 Méthode d'échantillonnage

Les prélèvements et échantillonnages ont été effectués selon la méthode Ifremer appliquée pour toutes les campagnes ROCCHSED (Claisse, 2007). Les prélèvements ont été effectués au carottier Reineck de petite taille (**Figure 7**). Sur chaque carotte, une tranche de 1 cm (couche superficielle d'épaisseur 1 cm) était prélevée puis échantillonnée soit au cœur de cette tranche d'1 cm pour les analyses de métaux, soit à la périphérie pour les analyses de contaminants organiques.

Les sous-échantillons ont été conditionnés dans des flacons en verre pour les contaminants organiques, en polystyrène pour les contaminants métalliques, préalablement lavés et congelés aussitôt. Un aliquot était aussi gardé au réfrigérateur pour la mesure de la granulométrie.



**Figure 7** : Mise à l'eau du petit carottier Reineck.

### II.2.3 Analyses

Les analyses ont été effectuées sur les échantillons séchés par lyophilisation et tamisés à 2 mm.

Les analyses de métaux ont été effectuées au laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques (LBCM) de l'Unité RBE/BE (Ifremer, centre de Nantes) par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) après digestion totale, sauf le mercure qui a été analysé directement sur un auto-analyseur par absorption atomique.

Les contaminants organiques ont été analysés au laboratoire IDHESA (actuellement LABOCEA) à Plouzané, par CPG/MS sauf certains pesticides (diuron, isoproturon) analysés par LC/MS/MS.

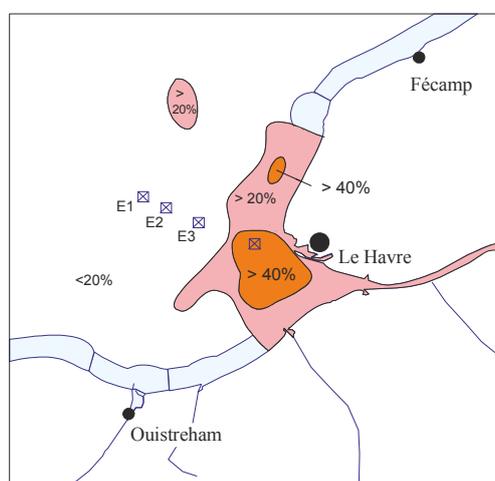
### II.2.4 Résultats

Les données sur les 4 stations (E1, E2, E3, 132) situées dans le périmètre du PER GMH figurent dans l'Annexe II.

Suivant un consensus international, tous les sédiments ont été tamisés à 2 mm pour s'affranchir des particules grossières (débris coquilliers, sables grossiers, graviers) qui faussent considérablement les études des contaminants. Toutefois, à part la station 132, les résidus tamisés à 2 mm restent grossiers puisque les fractions réellement fines (% de fraction < 63 µm) varient entre 2,4 et 11,4 % en E1, E2 et E3 (Annexe II-A). Dans un contexte plus large, la distribution des sédiments fins de surface reste confinée à la sortie de l'estuaire dans une zone qui englobe la station 132 (**Figure 8**).

Cette granulométrie particulière indique une nature de sédiment très grossière dans le périmètre du PER GMH, donc une surface spécifique, siège de la fixation des contaminants, faible également. Par voie de conséquence, la richesse en matière organique représentée par le taux de carbone organique particulaire (COP) est, elle aussi, très faible (Annexe II-A).

Le cas le plus probant est celui de la station E3 (2,4 % de fraction < 63 µm, 0,17 % de carbone organique, 0,83 % d'aluminium), qui présente des teneurs en contaminants le plus souvent non quantifiables. Les sédiments de la station E3 étant particulièrement grossiers, la méthode de normalisation d'OSPAR a été appliquée mais avec quelques réserves et une incertitude beaucoup plus importante que sur les autres stations. Enfin, les sites E1 et E2 présentant respectivement des proportions de fines de 10,0% et 11,4 %, ne remplissent pas non plus les conditions optimales (fines ≤ 20 %), induisant une incertitude modérée lors de la comparaison des données aux niveaux d'OSPAR (cf. § II.1.2).



**Figure 8 :** Distribution des sédiments fins de surface durant la campagne ROCCHSED 2013.

Métaux traces

Le plomb a été choisi pour représenter les métaux car des critères d'évaluation dans la convention OSPAR ont été définis pour ce composé. Les concentrations non normalisées atteignent 30 mg/kg de poids sec dans cette région, et sont relativement homogènes, la station 132 objet de la présente étude dominant la série complète choisie (Figure 9 et Annexe II-B).

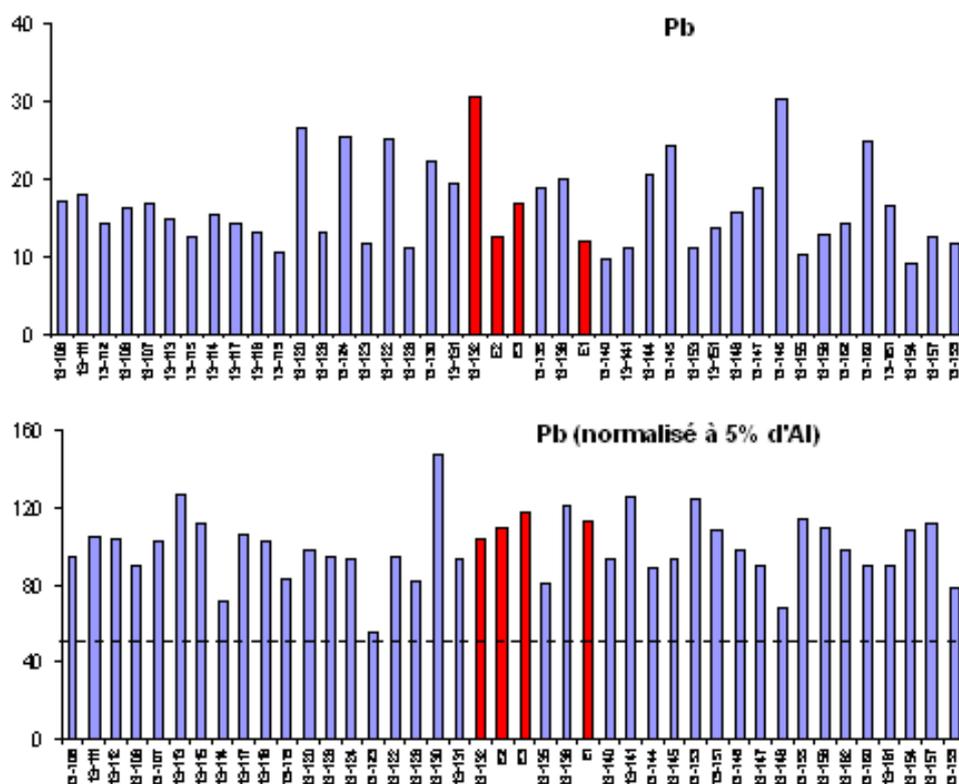


Figure 9 : Distribution du plomb (en mg/kg poids sec) non normalisée (en haut) et normalisée à 5 % d'aluminium (en bas) dans les sédiments de la Baie de Seine Orientale. ERL en pointillés.

La normalisation des concentrations par l'aluminium permet d'observer une homogénéisation de la série de données. Toutefois, toutes les valeurs enregistrées en baie de Seine sont supérieures à l'ERL comme le montre l'application de la grille de lecture OSPAR (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des concentrations normalisées à 5 % Al pour les métaux (Hg, Cd, Pb) sur les stations E1, E2, E3 et 132, avec les niveaux OSPAR.

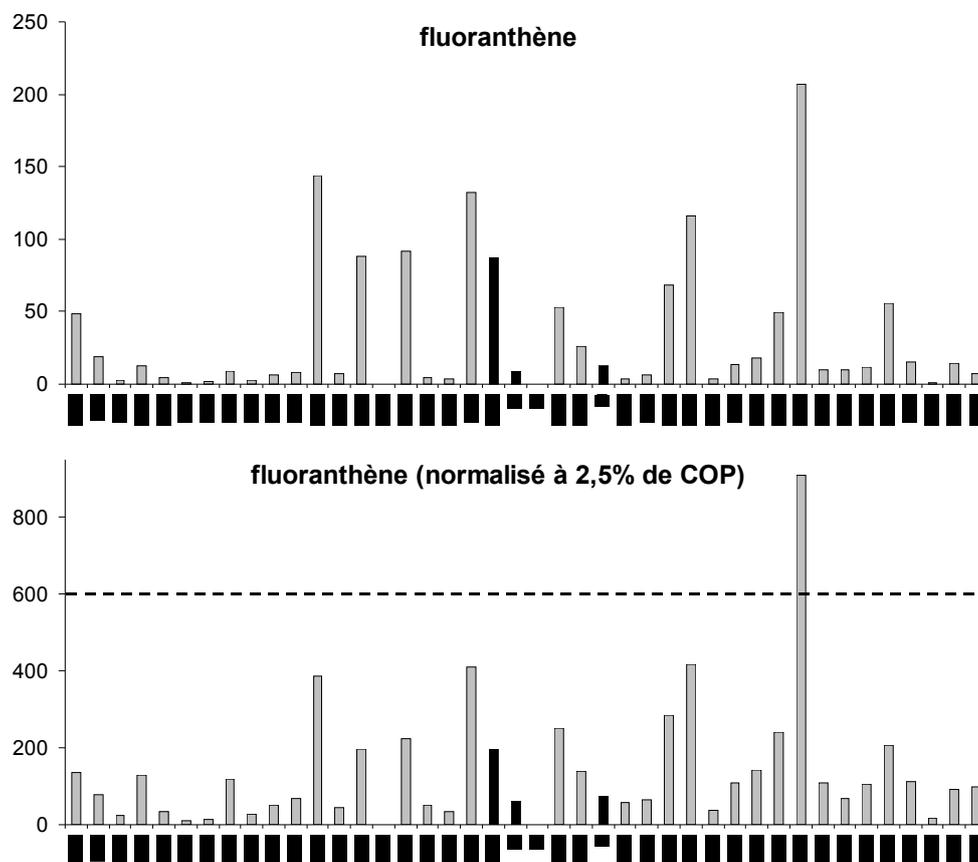
	Unité	BAC	ERL	E1	E2	E3	132
Hg	mg/kg	0,07	0,15	0,20	0,18	<	0,37
Cd	pois sec	0,31	1,20	0,36	0,36	0,27	0,65
Pb	normalisé à 5 % d'Al	38	47	55,9	58,0	100,8	60,3

D'après cette grille de lecture, le plomb dépasse l'ERL pour les 4 stations. Le mercure est pratiquement dans le même cas vu que mise à part la station E3 pour laquelle la normalisation n'est pas cohérente du fait de la grossièreté du sédiment, les 3 autres stations dépassent les ERL de façon faible pour le mercure en E1 et E2 avec toutes les incertitudes déjà mentionnées (§ II.2.4). Seul le cadmium est inférieur à l'ERL.

Parmi les autres métaux recherchés pour lesquels des critères provisoires ont été jusqu'alors proposés, seules les stations E3 et 132 présentent des concentrations supérieures à l'ERL pour le chrome et le zinc, avec les réserves sur l'interprétation des données sur la station E3.

## Distribution des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)

Le fluoranthène a été choisi pour représenter les HAPs car des critères d'évaluation dans la convention OSPAR ont été définis pour cette substance. Les concentrations non normalisées atteignent un maximum de 200 µg/kg de poids sec à la station 146 (**Figure 10**).



**Figure 10** : Distribution du fluoranthène (en µg/kg poids sec) non normalisé (en haut) et normalisé à 2,5 % de COP (en bas) dans les sédiments de la baie de Seine orientale. Niveau ERL en pointillés.

Lorsque les concentrations sont normalisées à 2,5 % de COP, le schéma varie assez peu, mais permet d'effectuer des comparaisons entre les sites. Ainsi, la station 132, qui dans l'absolu faisait partie des plus contaminées du fait de la structure fine de ses sédiments, devient du même ordre de grandeur que les autres une fois normalisée. Les stations E1, E2 et E3 quant à elles ne présentent pas de contamination remarquable (Annexe II-C). En effet, lorsque la grille de lecture OSPAR est appliquée, seule la station 132 dépasse l'ERL pour le benzo(g,h,i)pérylène (**Tableau 2**).

**Tableau 2** : Comparaison des concentrations normalisées à 2,5 % COP pour les HAPs sur les stations 132, E1, E2 et E3 aux niveaux OSPAR.

	Unité	BAC	ERL	E1	E2	E3	132
Naphtalène	µg/kg poids sec normalisé à 2,5 % de COP	8	160	39	<	<	16
Anthracène		5	85	19	19	<	48
Fluoranthène		39	600	75	60	<	195
Phénanthrène		32	240	74	44	<	103
Benzo-a-pyrène		30	430	79	84	115	170
Benzanthracène		16	261	45	51	<	151
Pyrène		24	665	68	71	<	197
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		103	240	59	59	<	119
Benzo(g,h,i)pérylène		80	85	72	79	<	143

Distribution des PolyChloroBiphényls (PCBs)

Le congénère CB 153 a été choisi pour représenter la famille des PCBs car des critères d'évaluation dans la convention OSPAR ont été définis pour cette substance. Les concentrations non normalisées atteignent 5 µg/kg de poids sec en Baie de Seine orientale, notamment à la station 132 objet de la présente étude (Figure 11 et Annexe II-D).

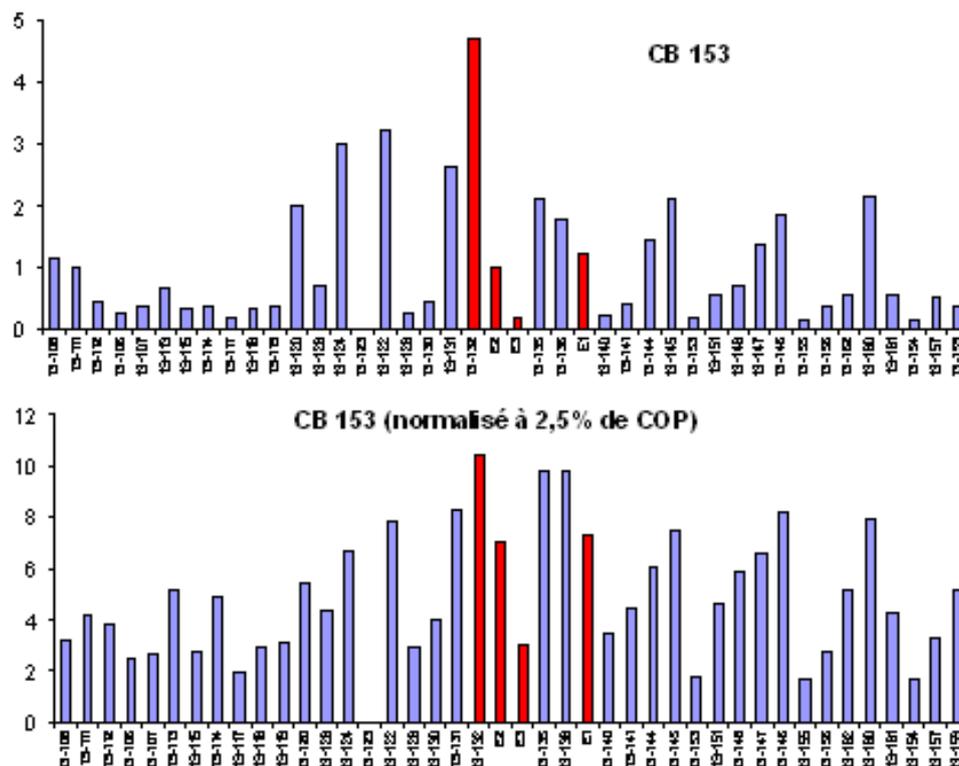


Figure 11 : Distribution du CB 153 (en µg/kg poids sec) non normalisé et normalisé à 2,5 % de COP dans les sédiments de la Baie de Seine Orientale.

La normalisation des concentrations avec les réserves d'usage émises au préalable (cf. § II.1.2), permet d'observer des niveaux en CB 153 beaucoup plus homogènes, les valeurs les plus élevées étant situées au débouché de l'estuaire de Seine.

Tableau 3 : Comparaison des concentrations normalisées à 2,5 % COP pour les PCBs sur les stations E1, E2, E3 et 132 aux niveaux OSPAR.

	Unité	BAC	EAC	ERL	E1	E2	E3	132
CB 28	µg/kg poids sec normalisé à 2,5 % de COP	0,22	1,7		0,79	0,96	<	1,4
CB 52		0,12	2,7		0,94	1,2	<	3,1
CB 101		0,14	3,0		2,6	2,7	<	5,2
CB 118		0,17	0,60		3,3	3,6	<	5,9
CB 138		0,15	7,9		7,1	5,9	2,8	9,5
CB 153		0,19	40		7,3	7,1	3,1	10,5
CB 180		0,10	12		3,0	1,9	<	3,7
Somme 7 CBs		0,46		11,5	25,0	23,3	5,8	39,2

Lorsque la grille de lecture OSPAR est appliquée (Tableau 3), la station 132 pose réellement problème puisqu'elle est classée rouge pour 4 congénères des PCBs et pour la somme des 7 CBs. Ce dernier critère classe d'ailleurs les stations E1 et E2 dans la même catégorie, alors que seul le congénère CB 118 dépassait l'EAC sur les deux stations.

### *Autres substances (PBDE, Organoétains, Pesticides, Chlorobenzènes, Phtalate, Chloroalcanes, Composés volatils)*

Dans le cas des **polybromodiphényléthers (PBDE)**, aucun des 7 congénères recherchés n'a pu être quantifié sur aucune des stations (Annexe II-D). Aucun critère n'existant pour ces substances, il n'est pas possible d'interpréter les résultats.

Pour les **organoétains**, le monobutylétain (MBT), le dibutylétain (DBT) et le tributylétain (TBT) n'ont été quantifiés qu'à la station 132 (Annexe II-E). La concentration en TBT étant donnée en µg Sn/kg alors que la PNEC sédiments est exprimée en concentration totale en TBT, ces données ne sont donc pas comparables. Aucun critère n'a été défini pour le MBT et DBT, principalement des produits de dégradation du TBT.

Sur les 4 **chlorobenzènes** recherchés, seul le 1,2,4-trichlorobenzène a été quantifié à la station 132 (Annexe II-F), cependant la PNEC sédiment définie est 25 fois supérieure à la concentration mesurée.

Parmi les 5 **phénols** recherchés, le pentachlorophénol a été quantifié à E1 et à la station 132, où les nonylphénols isomères ont aussi été mesurés, et le 4-tert-octylphénol a été détecté à E1, E2 et la station 132 (Annexe II-F). Seuls les nonylphénols isomères ont une PNEC sédiment dix fois plus élevée que la concentration enregistrée à la station 132.

Le **diéthylhexylphtalate (DEHP)** a été quantifié aux stations 132, E2 et E1 (Annexe II-F), cependant la PNEC sédiments définie par extrapolation est très largement supérieure aux concentrations mesurées.

Les concentrations en **chloroalcanes** ont toutes été inférieures à la limite de quantification (100 µg/kg ps), cependant la PNEC sédiments (880 µg/kg ps) est très largement supérieure à cette LQ (Annexe II-F).

Enfin, dans la famille des **composés volatils**, seul le dichlorométhane a été quantifié aux stations 132, E3 et E1 (Annexe II-G), cependant aucune PNEC sédiments n'a été définie.

Sur les 20 **pesticides** recherchés, seuls les pp'DDD (E1, E2 et 132) et pp'DDE (132) ont été quantifiés à des concentrations à peine supérieures à la limite de quantification à E1 et E2, et des niveaux un peu plus élevés à la station 132 (Annexe II-H). Ces substances sont les produits de la dégradation de l'isomère DDT pp', interdit de vente depuis 1972 et interdit en agriculture depuis 1987. Aucun critère ne permet cependant d'interpréter ces résultats.

## II.2.5 Conclusion

La réalisation de prélèvements supplémentaires dans le périmètre du PER GMH dans le cadre de la campagne ROCCHSED 2013, a permis d'évaluer le niveau de contamination des sédiments dans chacun des faciès sédimentaires selon un protocole conçu pour cette application, ciblant les sédiments fins.

Les résultats granulométriques ont confirmé la nature « grossière » des sédiments dans les zones prélevées excepté à l'Est (station 132), la fraction fine (< 63 µm) ne dépassant pas 11,4 % des échantillons pour les stations E1 et E2, voir de 2,4 % à la station E3. Les critères d'interprétation d'OSPAR ont été tout de même appliqués, bien que la nature des sédiments à E1, E2 et E3 ait vraisemblablement augmenté l'incertitude des résultats après leur normalisation, notamment pour E3.

Les contaminants qui ont **dépassé les critères EAC ou ERL d'OSPAR** étaient : le **plomb** sur toutes les stations, le **mercure** sur E1, E2 et 132, le **chrome** et le **zinc** sur E3 et 132, le **benzo(g,h,i)pérylène** sur 132, le **congénère CB 118** sur E1, E2 et 132, et **CB52, CB 101, CB 138 et CB 153** sur la station 132. Pour les autres substances ne disposant pas de critères OSPAR même provisoires, aucun n'a dépassé la PNEC sédiments respective.

Cette campagne a donc permis de rendre compte du niveau de contamination des sédiments fins (< 63 µm) présents dans le 1<sup>er</sup> centimètre en surface du fond marin de la zone du PER GMH.

## II.3 Campagne Chimie des sédiments et de l'eau du PER GMH

### II.3.1 Présentation de la campagne

Dans le cadre de la démarche d'état des lieux de la qualité chimique des sédiments et de l'eau dans le périmètre du PER GMH, les entreprises LGE et MBS ont fait appel à un bureau d'étude (Téledétection et Biologie Marine, TBM) pour mettre en œuvre la deuxième phase de cette thématique (TBM, 2014), la campagne PERSED-II. Les principaux résultats sont repris ici avec une interprétation plus complète afin de rassembler toutes les informations relatives à cette thématique dans un seul rapport.

L'objectif était de détecter et quantifier des contaminants dans les sédiments plus en profondeur (10 à 20 cm), déterminer les caractéristiques physico-chimiques de la ressource minérale et de caractériser la qualité chimique de l'eau.

La campagne en mer s'est déroulée le 23 avril 2014 à bord du *Phénix*, un chalutier coquiller, en période de mortes-eaux (coefficient de 53). Au total, 10 stations ont été échantillonnées pour le sédiment : 4 en plongée (CH1 à CH4) et 6 à la benne (CH5 à CH10). Pour de l'eau de mer, 4 stations ont été échantillonnées (CH1 à CH4) à la bouteille Niskin (**Figure 12**). Les stations CH1, CH2, CH3 et CH4 ont été prélevées à la même position que respectivement les stations E1, E2, E3 et 132 de la campagne ROCCHSED 2013 dix mois plus tard. Les prélèvements ont été effectués du large vers la côte afin d'éviter la contamination entre la station la plus riche en contaminants (proche de la côte) et les autres stations.



Stations	WGS 84 Coordonnées géographiques		Plongée	Prélèvement Eau	Sonde CTD	Prélèvement Sédiment
	Latitudes	Longitudes				
CH1	49° 32,416' N	00° 12,283' O	X	X	X	X
CH2	49° 31,810' N	00° 10,909' O	X	X	X	X
CH3	49° 30,672' N	00° 06,382' O	X	X	X	X
CH4	49° 29,037' N	00° 01,547' E	X	X	X	X
CH5	49° 31,969' N	00° 11,743' O			X	X
CH6	49° 31,512' N	00° 08,813' O			X	X
CH7	49° 31,348' N	00° 10,223' O			X	X
CH8	49° 30,732' N	00° 08,970' O			X	X
CH9	49° 31,697' N	00° 07,317' O			X	X
CH10	49° 31,829' N	00° 08,232' O			X	X

**Figure 12** : Localisation des stations de prélèvement de la campagne PERSED-II. ★ Stations eau et sédiment. ▲ Stations sédiment. ≈ Station eau de la campagne DCE.

### II.3.2 Méthode d'échantillonnage

Les échantillons d'eau de mer ont été prélevés à mi-profondeur à l'aide d'une bouteille de type Niskin, afin de s'affranchir des échanges avec la surface (atmosphère, bateau, ...) et avec les sédiments du fond. Ceux-ci ont été ensuite conditionnés dans le flaconnage fourni par le laboratoire d'analyses.

Les prélèvements de sédiment ont été effectués sur une profondeur d'environ 10 à 20 cm :

- A la pelle en plongée sous-marine sur les stations CH1 à CH4 ;
- A la benne Day Grab (benne Smith-McIntire améliorée) sur les stations CH5 à CH10.

### II.3.3 Analyses

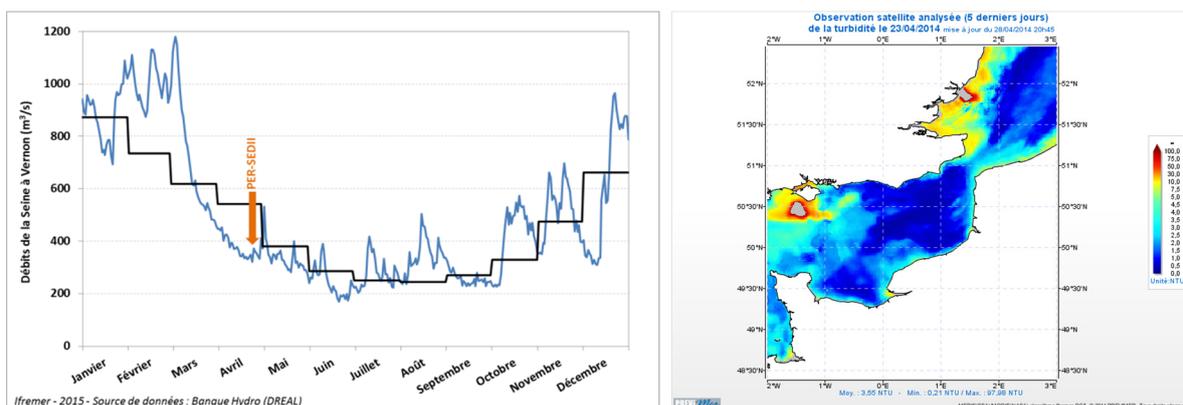
Les mesures physico-chimiques ont été effectuées à l'aide d'une sonde multi-paramètres (température, salinité, oxygène dissous) calibrée avant la campagne.

Les analyses chimiques dans l'eau et le sédiment ont été réalisées par le laboratoire LABOCEA, accrédité par le Cofrac (n°1-1827 et 1-1828, portée disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)). Pour chacune des stations échantillonnées, l'analyse granulométrie a été effectuée par le laboratoire LABOCEA par Méthode Laser. Ce laboratoire est agréé pour les analyses physico-chimiques sur les sédiments marins.

Des observations réalisées en plongée sous-marine (stations CH1 à CH4) ont permis de compléter les résultats de la granulométrie laser. Ainsi, les fractions supérieures à 2 mm ont pu être observées in situ. Les informations suivantes ont également été collectées : courant, visibilité, turbidité, typologie sédimentaire, profondeur de la couche Red-Ox, couleur du sédiment (TBM, 2014).

### II.3.4 Résultats

Lors de la campagne, les débits de la Seine étaient relativement faibles ( $349 \text{ m}^3/\text{s}$  le 23/04/2014) par rapport à la normale du mois d'avril ( $542 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et le panache turbide de la Seine était limité (**Figure 13**).



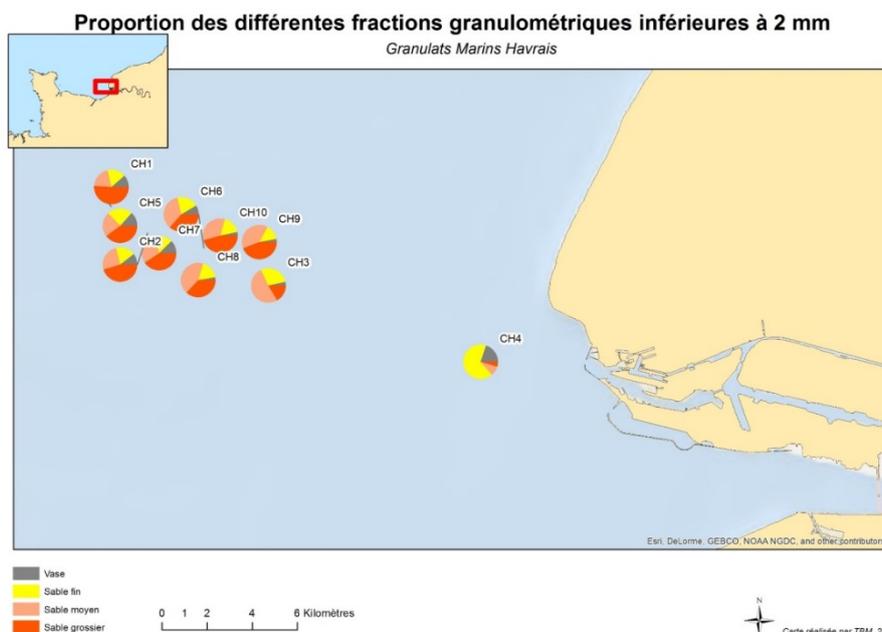
**Figure 13** : Débits journaliers ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) de la Seine à Vernon en 2014 (à gauche, données Banque Hydro DREAL) et observation satellite analysée (5 derniers jours) de la turbidité le 23/04/2014 (à droite, données Prévimer).

Les profils physico-chimiques ont montré un gradient de température et de salinité de CH4 ( $13,2^\circ\text{C}$  et  $29,2$  en surface) aux stations les plus au large ( $11,1^\circ\text{C}$  et  $35,1$  en surface), et une thermocline et une pycnocline marquées sur CH4 à respectivement environ 2 m et 3,5 m de profondeur (TBM, 2014).

La concentration en oxygène dissous dans l'eau dépend de la température et de la salinité, aussi, il est difficile de comparer les profils entre les stations sans convertir les concentrations en saturation. Cela est d'autant plus justifié lorsque les enregistrements des différents paramètres montrent des différences marquées particulièrement entre CH1, CH2, CH4, et les autres stations (TBM, 2014).

Dans le sédiment

L'analyse granulométrique a montré que la fraction fine (< 63 µm) était inférieure à 20 % sur l'ensemble des stations. La station CH4, la plus proche de l'embouchure de la Seine, était dominée par les sables fins (63 - 250 µm, 66 % de la fraction < 2 mm) et constituait la station la plus envasée (19,9 % de la fraction < 63 µm). Les autres stations étaient dominées par des sables moyens (250 - 500 µm) (CH3 et CH8) ou grossiers (500 µm - 2 mm) (CH1, CH2, CH5, CH6, CH7, CH9, CH10) (**Figure 14** et **Tableau 4**) (TBM, 2014).



**Figure 14 :** Proportion des différentes fractions granulométriques inférieures à 2 mm sur les stations échantillonnées dans le périmètre du PER GMH (issu de TBM, 2014).

Les résultats des analyses chimiques dans les sédiments ont d'abord été comparés aux seuils réglementaires N1 et N2 fixés par les arrêtés du 14 juin 2000, du 23 décembre 2009 et du 8 février 2013. Les niveaux des polluants recherchés ne dépassaient les seuils N1 sur aucune des 10 stations (TBM, 2014).

Afin de pousser la réflexion, Ifremer a proposé une analyse en utilisant les critères OSPAR validés ou provisoires, la PNEC sédiments (cf. § II.1.2), et en comparant les résultats à la médiane des concentrations de la baie de Seine orientale de la campagne ROCCHSED 2013 (cf. § II.2). Dans l'interprétation, la priorité des critères retenus sont l'EAC ou l'ERL d'OSPAR, puis la PNEC sédiments, puis d'éventuels autres critères. Cependant, il n'a pas été possible de statuer sur certaines substances par manque de critères et/ou données bibliographiques (argent, para-n-nonylphénol, acénaphthylène, benzo(b)fluoranthène, dibenzo(a)anthracène, monobutylétain et dibutylétain). En outre, la distribution des métaux traces a pu être affectée par la très faible proportion de fines particulièrement sur les stations CH3, CH8, CH9 et CH10 (< 5 % de fines), et les incertitudes augmentées sur les stations CH1, CH2, CH5, CH6 et CH7 (5 % ≤ fines ≤ 10 %) (cf. § II.1.2).

**Pour les métaux**, seul le plomb dépassait le seuil ERL aux stations CH5, CH3 et CH4 (**Tableau 4**). Le mercure et le cadmium présentaient des concentrations inférieures à la limite de quantification aux stations CH3, CH8, CH9 et CH10 pour Hg et sur toutes les stations pour Cd, mais celle-ci était supérieure à l'ERL (**Tableau 4**). Il y a donc un risque sur ces stations que les concentrations soient supérieures à ce seuil, même si, pour le cadmium, le fait que la médiane de la campagne ROCCHSED 2013 dans la baie de Seine orientale soit à un niveau acceptable par rapport aux critères d'OSPAR est rassurant. Les niveaux en chrome étaient proches du bruit de fond géochimique sur toutes les stations alors que la médiane 2013 avait dépassé l'ERL. Les concentrations en arsenic, cuivre, nickel et zinc étaient proches du bruit de fond géochimique.

**Pour nonylphénols isomères et DEHP** les concentrations étaient inférieures à la PNEC sédiments sur toutes les stations, même lorsqu'elles étaient inférieures à la LQ.

Pour  $\gamma$ -HCH (lindane) et TBT, la limite de quantification était supérieure aux EACs provisoires aux stations CH3, CH8, CH9 et CH10 (**Tableau 4**).

**Tableau 4 : Interprétation des résultats chimiques dans le sédiment de la campagne PERSED-II après normalisation à 5 % aluminium pour les métaux, et 2,5 % carbone organique pour les substances organiques.** < = inférieur à la limite de quantification. Rouge = supérieure à l'EAC ou l'ERL d'OSPAR. Jaune = LQ normalisée supérieure à l'EAC ou l'ERL. Vert = inférieur à l'EAC ou l'ERL et supérieure au BAC. Bleu = inférieur au BAC. Violet clair = inférieur à la PNEC sédiments. Violet foncé = LQ normalisée ou valeur mesurée supérieure à la PNEC sédiments. Blanc = Aucun seuil, critère ou PNEC pour comparer les résultats.

Catégories	Paramètres	Unités	LQ	CH1	CH5	CH2	CH7	CH6	CH8	CH10	CH9	CH3	CH4	Médiane 2013
Générale	> 63 $\mu$ m	%		11,7	13,6	10,6	12,5	8,67	2,74	3,49	2,96	3,41	19	
	Matières sèches	%		79,5	75,5	78,2	78,5	77,3	80,1	79,7	80,1	78,8	75,4	
	Carbone organique	%		0,5%	0,5%	0,5%	0,6%	0,4%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,5%	
	Aluminium	%		1,6%	1,6%	1,7%	1,6%	1,4%	1,1%	1,2%	1,1%	1,2%	1,7%	
Métaux	Argent	mg/kg MS	10	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,81
	Arsenic	mg/kg MS	2	16,3	14,7	14,1	17,2	17,1	18,6	21,3	22,7	24,6	16,5	---
	Cadmium	mg/kg MS	0,5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,39
	Chrome	mg/kg MS	2	53,1	53,1	50,0	53,1	46,4	41,4	45,8	40,5	66,7	55,9	82,5
	Cuivre	mg/kg MS	2	13,1	14,1	13,2	11,6	9,6	<	<	<	<	12,6	17,1
	Mercure	mg/kg MS	0,04	0,125	0,125	0,118	0,125	<	<	<	<	<	0,118	0,160
	Nickel	mg/kg MS	2	17,5	17,8	17,4	17,2	14,3	11,4	13,3	13,2	12,5	15,6	24,7
	Plomb	mg/kg MS	2	43,8	78,1	44,1	43,8	39,3	43,6	45,8	42,3	50,0	55,9	58,6
	Zinc	mg/kg MS	4	103,1	106,3	97,1	93,8	78,6	68,2	66,7	72,7	95,8	120,6	129,1
Alkylphénols	Nonylphénols isomères	$\mu$ g/kg MS	0,1	17,8	12,7	14,4	9,0	27,8	<	<	<	<	15,3	10,8
	Para-n-nonylphénol	$\mu$ g/kg MS	10	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	---
Pesticides	HCH gamma (lindane)	$\mu$ g/kg MS	0,25	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Organo-étains	Dibutyl étain (DBT)	$\mu$ g/kg Sn MS	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	3,1
	Monobutyl étain (MBT)	$\mu$ g/kg Sn MS	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	3,5
	Tributyl étain (TBT)	$\mu$ g/kg Sn MS	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	5,1
Phtalates	Diéthylhexylphtalate (DEHP)	$\mu$ g/kg MS	50	143,8	436,3	101,0	125,0	<	<	<	<	<	144,0	246,8
HAP	Acénaphthène	mg/kg MS	0,03	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,067
	Acénaphthylène	mg/kg MS	0,03	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,084
	Anthracène	mg/kg MS	0,01	0,096	<	0,096	<	<	<	<	<	<	<	0,036
	Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	0,01	<	<	0,096	<	0,139	<	<	<	<	0,093	0,063
	Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,144	0,078	0,139	<	<	<	<	0,093	0,103
	Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,096	0,078	0,139	<	<	<	<	0,093	0,135
	Benzo(k)Fluoranthène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,096	0,078	0,139	<	<	<	<	0,093	0,128
	Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,144	0,078	0,139	<	<	<	<	0,139	0,076
	Chrysène	mg/kg MS	0,01	<	<	0,096	<	0,139	<	<	<	<	0,093	0,072
	Dibenzo(a)anthracène	mg/kg MS	0,01	<	<	0,096	<	<	<	<	<	<	<	<
	Fluoranthène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,192	0,078	0,139	<	<	<	<	0,093	0,103
	Fluorène	mg/kg MS	0,03	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,104
	Indénopyrène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,144	0,078	0,139	<	<	<	<	0,139	0,059
	Naphtalène	mg/kg MS	0,05	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,017
	Phénanthrène	mg/kg MS	0,01	0,096	<	0,192	<	0,139	<	<	<	<	<	0,061
	Pyrène	mg/kg MS	0,01	0,096	0,094	0,144	0,078	0,139	<	<	<	<	0,093	0,081
Somme 16 HAP	mg/kg MS		0,865	0,660	1,538	0,547	1,389	<	<	<	<	0,926	0,996	
PCB	PCB 28	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0012
	PCB 52	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0018
	PCB 101	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0023
	PCB 118	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0025
	PCB 138	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0042
	PCB 153	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0045
	PCB 180	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,0020
	PCB TOTAUX	mg/kg MS	0,2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Somme 7 PCB	mg/kg MS	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,016

Malgré le fait que de nombreuses concentrations étaient inférieures à la LQ pour les HAP, il apparaît que les niveaux en anthracène et benzo(g,h,i)pérylène étaient supérieurs à l'ERL aux stations CH1 et CH2 pour ce premier et CH1, CH5, CH2, CH6 et CH4 pour ce dernier (**Tableau 4**). En outre, les LQ étaient supérieures à l'ERL pour ces deux substances aux stations CH8, CH10, CH9 et CH3 et sur toutes les stations pour le naphtalène. Cependant les niveaux de la médiane 2013 de ces substances étant acceptables, cela réduit le risque qu'il y ait un dépassement effectivement sur les stations de cette campagne. Enfin, la LQ était aussi supérieure à la PNEC sédiments pour l'acénaphthène sur toutes les stations.

Enfin, aucun des congénères des PCB recherchés n'a pu être quantifié sur aucune station (**Tableau 4**). En outre, les LQ de chaque substance à chaque station étaient supérieures à l'EAC d'OSPAR, ce qui induit un risque de ne pas détecter un dépassement de ce critère. Ce risque est tout particulièrement fort pour le CB 118 dont l'EAC est très faible, et pour lequel la médiane 2013 dépassait cette valeur.

**Dans l'eau**

Les résultats des analyses chimiques dans l'eau sur les stations CH1, CH2, CH3 et CH4, ont d'abord été comparés aux Normes de Qualité Environnementale provisoires (NQE<sub>p</sub>) issues de la Circulaire du 7 mai 2007. Les concentrations étaient toutes inférieures aux NQE<sub>p</sub>, lorsqu'elles étaient définies, sauf sur CH1 où la NQE<sub>p</sub> a été dépassée par le monobutylétain (MBT) et le dibutylétain (DBT), des produits de dégradation du tributylétain (TBT) (TBM, 2014).

Afin de pousser la réflexion, Ifremer a proposé une analyse en utilisant les seuils DCE (NQE-CMA et NQE-MA) bien que ces seuils soient basés sur un suivi de 12 mois, la PNEC eaux marines (cf. § II.1.2) et en comparant les résultats aux résultats sur la station Seine-1, située à l'exutoire de l'estuaire de la Seine, échantillonnée lors de la campagne DCE/chimie dans l'eau entre mars 2012 et mars 2013. Dans l'interprétation, la priorité des critères retenus sont la NQE-CMA, puis la NQE-MA, puis la PNEC eaux marines, puis la NQE provisoire (NQE<sub>p</sub>) proposée dans la Circulaire 2007-23 du 7 mai 2007. Cependant, il n'a pas été possible de statuer sur certaines substances par manque de critères et/ou données bibliographiques (lithium, presque tous les alkylphénols, endosulfan sulfate, monobutylétain et dibutylétain et indéno(1,2,3-cd)pyrène).

**Pour les métaux**, aucun d'entre eux (et surtout le cadmium, le mercure, le nickel et le plomb) ne dépasse de NQE (NQE-CMA, NQE-MA ou NQE<sub>p</sub>) sur l'ensemble des stations (**Tableau 5**). L'argent, le chrome, le cobalt, le cuivre et le vanadium présentaient des concentrations inférieures à la limite de quantification sur toutes les stations, mais celle-ci était supérieure à la NQE ou la PNEC eaux marines. Il pourrait donc y avoir un risque de dépassement des seuils sur ces stations, un risque un peu plus probable pour le chrome, qui a dépassé le seuil NQE-CMA sur le point Seine-1. Enfin, l'arsenic et le zinc ont présenté des concentrations inférieures à la PNEC eaux marines sur toutes les stations (**Tableau 5**).

Dans les **alkylphénols**, la limite de quantification des nonylphénols isomères était inférieure aux NQE-CMA et NQE-MA.

Dans les **pesticides**, la limite de quantification était supérieure à la NQE-CMA (0,004 µg/L) (somme de l'endosulfan alpha et beta), ce qui induit un risque de dépassement de ce seuil pour toutes les stations. Les résultats sur le point Seine-1 sont cependant rassurants, avec des concentrations inférieures à la LQ de 0,001 µg/L, ce qui suggère que le risque de dépassement sur les stations CH1 à CH4 est négligeable.

Les résultats sur les stations CH1 à CH4 en **dichlorométhane, tributylétain et DEHP** sont inférieurs à la LQ qui est elle-même inférieure à la NQE-CMA de la DCE.

Dans les **16 Hydrocarbure Aromatiques Polycycliques (HAP)** recherchés, quatre d'entre eux (benzo(a)anthracène, benzo(g,h,i)pérylène, chrysène, dibenzo(a)anthracène) n'étaient pas quantifiés alors que leur LQ était supérieure aux seuils NQE-CMA, NQE-MA ou NQE<sub>p</sub>. Il y a d'autant plus un risque de dépassement que dans la campagne DCE ces substances avaient dépassé ces seuils. Par contre, pour les 11 autres HAP pour lesquels un seuil a été défini ou proposé, tous les résultats sont inférieurs à la LQ qui est elle-même inférieure à ces seuils.

Pour les **9 polybromodiphényléthers (PBDE)** recherchés, tous les résultats sont inférieurs à la LQ qui est elle-même inférieure au seuil NQE-CMA défini pour la somme de ces congénères.

Enfin, pour les **7 polychlorobiphényles (PCB)** recherchés, tous les résultats sont inférieurs à la LQ. Aucun seuil n'a été défini pour les congénères individuellement, mais une NQE<sub>p</sub> à 0,001 µg/L a été définie pour les PCB totaux dans le cadre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses. Or, la LQ est supérieure à cette NQE<sub>p</sub>, ce qui induit un risque de dépassement pour ces substances. Cependant, les LQ des mesures effectuées pour les 7 PCB indicateurs sur la station Seine-1 étaient dix fois plus faibles que celles des mesures du PER et seuls les PCB 52 et 153 ont été quantifiables à des niveaux très faibles. Ces substances étant fortement hydrophobes, il paraît donc vraisemblable que le risque de dépassement de la NQE<sub>p</sub> sur les stations CH1 à CH4 soit très faible.

Tableau 5 : Interprétation des résultats chimiques dans l'eau de la campagne PERSED-II.

< = inférieur à la limite de quantification. Rouge = supérieure à la NQE-CMA ou NQE-MA de la DCE. Orange = LQ supérieure à la NQE-CMA, NQE-MA ou NQEp. Bleu = inférieur à la NQE-CMA, NQE-MA ou NQEp. Violet clair = inférieur à la PNEC eaux marines. Violet foncé = Supérieur à la PNEC eaux marines.

Catégories	Paramètres	Unités	LQ	Résultats PER GMH Phase 2				Résultats DCE 2012-2013	
				CH1	CH2	CH3	CH4	Moy.	Max
Générale	Turbidité	NTU	0,1	1,1	1,3	3,1	2,2		
	MES	mg/L	2	<	2,6	4,6	2,9		
	Chlorophylle-a	µg/L		6,7	6	13,8	21,8		
Métaux	Argent	µg/L	10	<	<	<	<		
	Arsenic	µg/L	1	1,9	1,4	1,3	1,1	1,5	2
	Cadmium	µg/L	0,2	<	<	<	<	< 0,1	< 0,1
	Chrome	µg/L	10	<	<	<	<	2,8	24
	Cobalt	µg/L	2	<	<	<	<		
	Cuivre	µg/L	1	<	<	<	<	0,84	1,5
	Lithium	µg/L	1000	<	<	<	<		
	Mercure	µg/L	0,03	<	<	<	<	0,013	0,04
	Nickel	µg/L	1	<	<	<	<	1,5	9,9
	Plomb	µg/L	0,5	<	<	<	<	0,22	0,4
	Vanadium	µg/L	50	<	<	<	<		
Zinc	µg/L	1	3,2	2,9	2,1	1,8	5,1	6,0	
Alkylphénols	4-tert-octylphénol	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,03	< 0,03
	Nonylphénols isomères	µg/L	0,1	<	<	<	<	0,25	1,6
	NP1EO	µg/L	0,1	<	<	<	<	< 0,05	< 0,05
	NP2EO	µg/L	0,1	<	<	<	<	< 0,05	< 0,05
	OP1EO	µg/L	0,1	<	<	<	<	< 0,1	< 0,1
	OP2EO	µg/L	0,1	<	<	<	<		
	Para-n-nonylphénol	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,1	< 0,1
Para-n-octylphénol	µg/L	0,01	<	<	<	<			
Pesticides	Endosulfan alpha	µg/L	0,02	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	Endosulfan beta	µg/L	0,02	<	<	<	<		
	Endosulfan sulfate	µg/L	0,05	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
COHV	Dichlorométhane	µg/L	5	<	<	<	<	8	44,5
HAP	Acénaphène	µg/L	0,03	<	<	<	<	< 0,005	< 0,005
	Acénaphylène	µg/L	0,03	<	<	<	<	< 0,1	< 0,1
	Anthracène	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,005	< 0,005
	Benzo(a)anthracène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0055	0,011
	Benzo(a)pyrène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0056	0,011
	Benzo(b)fluoranthène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0062	0,016
	Benzo(g,h,i)pérylène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0066	0,025
	Benzo(k)fluoranthène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0052	0,007
	Chrysène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,006	0,013
	Dibenzo(a)anthracène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,005	0,011
	Fluoranthène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,007	0,017
	Fluorène	µg/L	0,03	<	<	<	<	< 0,02	< 0,02
	Indénopyrène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,006	0,014
	Naphtalène	µg/L	0,05	<	<	<	<	< 0,02	< 0,02
	Phénanthrène	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,008	0,018
	Pyrène	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,02	< 0,02
	Somme 16 HAP	µg/L	0,05	<	<	<	<		
Hydrocarbures totaux	mg/L	0,01	0,03	<	<	<	<		
Organo-étains	Dibutyl étain (DBT)	µg/L	0,001	0,002	<	<	<	0,004	0,005
	Monobutyl étain (MBT)	µg/L	0,003	0,004	<	<	<	< 0,003	< 0,003
	Tributyl étain (TBT)	µg/L	0,001	<	<	<	<	0,0061	0,017
PBDE	PBDE 100	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 153	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 154	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 183	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 197	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 209	µg/L	0,1	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 28	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 47	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	PBDE 99	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
	SOMME PBDE	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,0001	< 0,0001
Phtalates	Diéthylhexylphtalate (DEHP)	µg/L	0,1	<	<	<	<	0,28	0,70
PCB	PCB 101	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	PCB 118	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	PCB 138	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	PCB 153	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0005	0,001
	PCB 180	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	PCB 28	µg/L	0,01	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001
	PCB 52	µg/L	0,01	<	<	<	<	0,0021	0,006
	PCB TOTAUX	µg/L	0,2	<	<	<	<		
Somme 7 PCB	µg/L	0,01	<	<	<	<			

### **II.3.5 Conclusion**

Cette campagne a permis de détecter et évaluer les niveaux de contaminants dans les sédiments sur 10 à 20 cm de profondeur, en comparaison avec l'échantillonnage effectué 10 mois plus tôt pendant la campagne ROCCHSED 2013 et de rechercher des contaminants dans l'eau brute à mi-profondeur dans le périmètre du PER GMH.

#### ***Dans le sédiment***

L'analyse granulométrique des sédiments a confirmé la nature majoritairement « grossière » des sédiments, excepté à CH4 (la plus proche de la côte), qui était la station présentant la plus grande proportion de particules fines (< 63 µm). Toutes les stations ont présenté une fraction de particule fine inférieure à 20 %, dont quatre (CH3, CH8, CH9, CH10) inférieure à 5 %. L'interprétation des analyses chimiques par normalisation des résultats pour pouvoir les comparer entre eux est donc effectuée avec une réserve, qui est d'autant plus grande pour les quatre stations citées ci-dessus.

Un grand nombre des concentrations étaient inférieures à la limite de quantification (LQ), et particulièrement pour les substances organiques. Il est cependant possible d'interpréter ces données après normalisation afin de vérifier si la LQ était suffisante pour pouvoir écarter la possibilité de dépassement de l'EAC ou de l'ERL d'OSPAR ou de la PNEC sédiments. Cependant, la LQ était supérieure à ces critères sur toutes les stations pour les substances suivantes : cadmium, naphthalène, tous les congénères des PCB recherchés et acénaphthène ; et pour les stations CH3, CH8, CH9 et CH10 pour le mercure, lindane, TBT, anthracène et benzo(g,h,i)pérylène. Il existe donc un risque de dépassement des critères pour ces substances. Ce risque est particulièrement fort pour le mercure et le congénère PCB 118 car leur médiane 2013 dépassait effectivement les critères EAC ou ERL ou la PNEC sédiments.

Les dépassements avérés d'EAC ou ERL constatés concernent donc le **plomb** (CH3, CH4, CH5), l'**anthracène** (CH1, CH2) et le **benzo(g,h,i)pérylène** (CH1, CH2, CH4, CH5, CH6). Le benzo(g,h,i)pérylène avait déjà été quantifié en dépassement de l'ERL à la station 132 (correspondant à CH4) lors de la campagne ROCCHSED 2013.

Pour les autres substances quantifiées ou non, les concentrations retrouvées étaient acceptables vis-à-vis des critères d'OSPAR ou étaient inférieures à la PNEC sédiments.

#### ***Dans l'eau***

Beaucoup de seuils ou de critères n'ont, à ce jour, pas été définis pour les concentrations dans l'eau, dont, ici, pour une majorité des alkylphénols, les produits de dégradation du TBT (MBT et DBT) et les PCB.

Aucune substance n'a présenté de concentration dépassant un seuil DCE fixe ou provisoire sur aucune des stations échantillonnées lors de cette campagne. Même si une majorité des contaminants n'ont pas pu être quantifiés, leur LQ était inférieure aux seuils.

Cependant, les limites de quantifications n'étaient pas toujours suffisamment faibles pour pouvoir statuer sur les niveaux de concentration vis-à-vis des seuils, notamment pour l'argent, le chrome, le cobalt, le cuivre, le vanadium, l'endosulfan, le benzo(a)anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, le chrysène, le dibenzo(a)anthracène et les PCB totaux. Il existe donc un risque de dépassement des NQE pour ces substances. Malgré cela, les données de la campagne DCE sur la station Seine-1 qui est à l'exutoire de l'estuaire de la Seine, ont permis de relativiser ce risque. Ainsi, ce risque reste élevé uniquement pour les HAP cités ci-dessus et le cuivre.

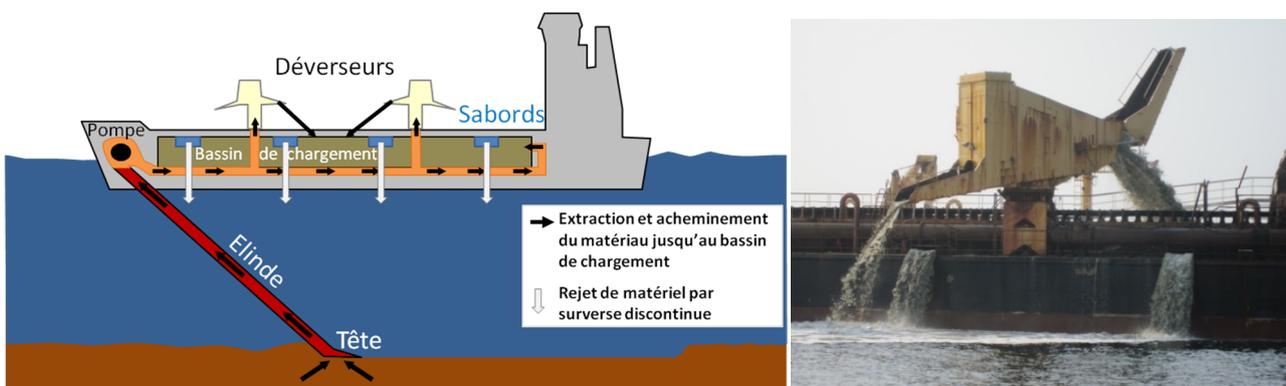
Cette deuxième phase de l'état des lieux chimique de la zone du PER GMH a donc permis de montrer la présence effective de contaminants dans les sédiments, avec un dépassement des critères OSPAR pour le plomb, l'anthracène et le benzo(g,h,i)pérylène, mais qu'aucun d'entre eux n'a été retrouvé en dépassement des seuils NQE dans l'eau brute sur aucune station, bien que les limites de quantifications n'aient pas toujours été suffisamment faibles pour pouvoir statuer (pour 18 % des substances recherchées).

### III. Méthodologie

#### III.1 Extraction des granulats et panache turbide

##### III.1.1 Technique d'extraction des granulats

Lors de l'essai d'extraction réalisé le 23 septembre 2014, le navire extracteur était la *Sand Heron* de pavillon Britannique, de près de 100 m de long. Ce navire est équipé d'un système d'aspiration en marche qui quadrille une partie du site d'extraction à vitesse réduite (2-3 nœuds). Une pompe hydraulique équipée d'un tuyau d'aspiration (élinde) de 0,85 m de diamètre traîne sur le fond un bec d'élinde (de 2 à 3 m de large) qui aspire le mélange eau-granulats déversé ensuite dans la cale du navire de 2 700 m<sup>3</sup> de capacité. Le surplus d'eau (surverse) est restitué à la mer par sabords discontinus (**Figure 15**), ce qui crée un panache turbide particulièrement visible en surface.



**Figure 15** : Schéma explicatif du mode d'extraction des granulats par navire extracteur, déversement, et surverse par sabord discontinu (à gauche), et photographie du déversement et de la surverse par sabord discontinu à bord du Sand Heron (à droite).

##### III.1.2 Comportement du panache turbide

Suite à l'expérimentation SCOOTER effectuée dans la matinée du 23/09/2014, une deuxième étude terrain a été menée dans l'après-midi par le laboratoire M2C (UMR CNRS 6143) de l'Université de Rouen, sur la dynamique du panache turbide dans une zone proche de celle de l'étude chimique présentée ci-après. Cette étude hydrosédimentaire avait pour objectif de déterminer l'extension et la géométrie du panache turbide, de mesurer l'évolution temporelle de la concentration des particules remises en suspension, de définir le temps de dispersion du panache turbide et de déterminer l'impact du rejet sur la température et la salinité de l'eau (Lemoine et Lafite, 2014). Elle a été réalisée dans des conditions de jusant à coefficient de marée moyen (82).

Cette étude a montré que l'extraction (d'une durée de 1h50min) a entraîné l'apparition d'un panache turbide d'une largeur maximale de 150 m sur une longueur maximale de 7 km, qui a suivi le déplacement de la drague. Le panache réalisé par puits a provoqué un panache turbide dont les valeurs maximales de concentration en Matière En Suspension (MES) étaient de 35 mg/L. Le rejet était composé de sables (200 µm de diamètre) et de 95 % de particules plus fines (< 80 µm). Les sables ont décanté rapidement (moins de 11 minutes) alors que les particules fines ont décanté et se sont dispersées en un peu plus d'une heure. Les sables en suspension ont pu parcourir une distance de 400 m lors de leur décantation, alors que cette distance pouvait atteindre 3,3 km pour les particules fines. En sub-surface (- 2 m), le panache n'était plus visible après 45 min et sur la colonne d'eau la dispersion était complète au bout de 1h30min (Lemoine et Lafite, 2014).

## III.2 Echantillonnage

### III.2.1 Stratégie

En baie de Seine, une stratégie de mesures reposant sur des suivis dérivants (lagrangiens) s'est révélée adaptée pour comprendre la dynamique du panache de surverse (Duclos, 2012). Cette méthodologie paraît donc adéquate à l'étude de la dynamique des contaminants contenus dans les sédiments présents dans le panache de surverse. Cependant, la zone du PER GMH est sous l'influence du panache de la Seine et des contaminants qui peuvent y être transportés. Aussi, il était nécessaire d'évaluer la contribution de ces apports hors test d'extraction.

A cet effet, la stratégie expérimentale de l'étude a été basée sur deux phases :

- Phase 1 : évaluation de la qualité des sédiments sur site et de la qualité des eaux sans extraction ;
- Phase 2 : suivi Lagrangien du panache turbide lors d'une opération d'extraction ;

Afin d'être dans des conditions comparables, ces deux phases ont été mises en œuvre sur 2 jours consécutifs. La phase 1 a été mise en œuvre autour de la basse mer afin de caractériser les apports du panache de la Seine. Au contraire, la phase 2 a été effectuée à pleine mer pour éviter l'influence du panache de la Seine et à l'étal pour que le panache reste relativement confiné.

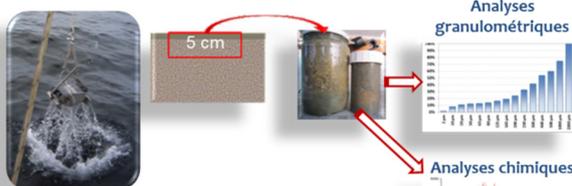
Le site d'extraction pour cette étude chimique dans l'eau fait partie des zones choisies pour les essais d'extraction dans le cadre du PER GMH et a été sélectionné sur la base des résultats de l'étude chimique dans les sédiments – Phase II, en présentant les plus importantes concentrations en contaminants (cf. § II.3).

#### Phase I – Etat initial – Basse mer, coefficient moyen (70 – 80)

#### Phase I : Etat chimique du sédiment et de l'eau sans extraction

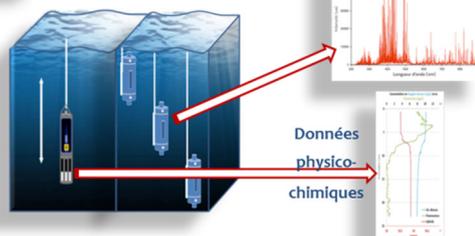
##### ❖ Etape 1 :

- ✓ Prélèvement sédiments



##### ❖ Etape 2 :

- ✓ Profil vertical à la sonde
- ✓ Prélèvement d'eau brute à 3 profondeurs : Surface, Milieu, Fond



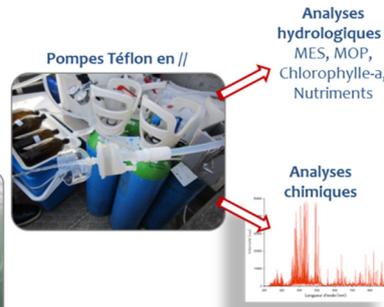
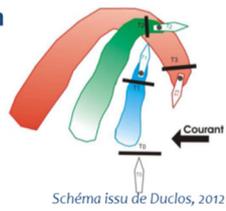
- ✓ Substances chimiques à analyser dans le sédiment : voir Annexe III.
- ✓ Substances chimiques à analyser dans l'eau : voir Annexe III.
- ✓ Paramètres in situ : Température, salinité, oxygène dissous, néphélométrie, fluorimétrie.
- ✓ Paramètres complémentaires : Matière En Suspension (MES) / Matière Organique Particulaire (MOP).

Phase II – Suivi Lagrangien – Pleine mer, coefficient moyen (70 – 80)

Phase II : Etat chimique de l'eau avant/pendant/après extraction

❖ Etape 1 : suivi Lagrangien

- ✓ Prélèvement d'eau brute et eau filtrée en sub-surface à  
 $T_0$        $T_1 = +20'$   
 $T_2 = +1h$      $T_3 = +2h$



❖ Etape 2 :  $T_4 = 1h$  après fin

- ✓ Bouée pour suivre la dérive du panache
- ✓ Prélèvement d'eau brute et eau filtrée en sub-surface
- ✓ Substances chimiques à analyser : voir Annexe III.
- ✓ Paramètres *in situ* : Température, salinité, oxygène dissous, néphélométrie, fluorimétrie.
- ✓ Paramètres complémentaires : MES / MOP, chlorophylle-a, nutriments (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, silicate)

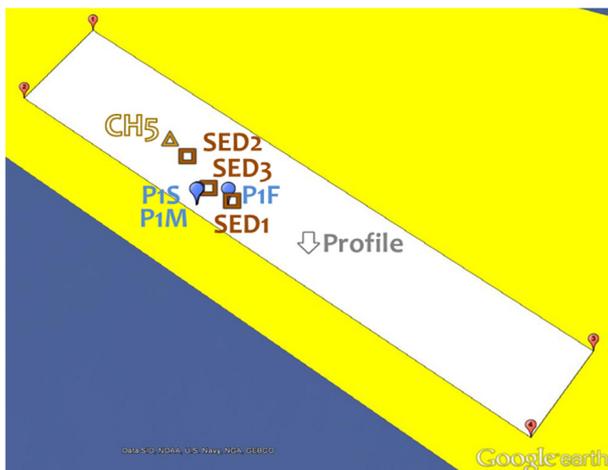


III.2.2 Prélèvements réalisés

III.2.2.1 Phase I

La phase I a été réalisée à bord du *Delphy* le 22/09/2014 entre 17h00 et 19h00, soit autour de la basse mer (coefficient 75, 17h37) afin d'observer les niveaux des contaminants en étant sous l'influence majoritaire du panache de la *Seine*. Le positionnement des stations de prélèvement est présenté dans la **Figure 16**.

Pour le prélèvement de sédiment, une benne Petite Ponar a été descendue manuellement, puis remontée à l'aide du treuil électrique du bateau. Le prélèvement de l'échantillon de sédiments a été compliqué. Les sédiments étant majoritairement grossiers comme attendu. Il a fallu trois déploiements de la benne (points SED1, SED2 et SED3) pour obtenir suffisamment d'échantillons pour remplir le flaconnage.



**Figure 16** : Positionnement des stations de prélèvement lors de la phase I de l'étude SCOOTER dans la zone Ouest du périmètre du PER GMH. Carrés marron : prélèvements de sédiments. Bulles bleu : prélèvements d'eau.

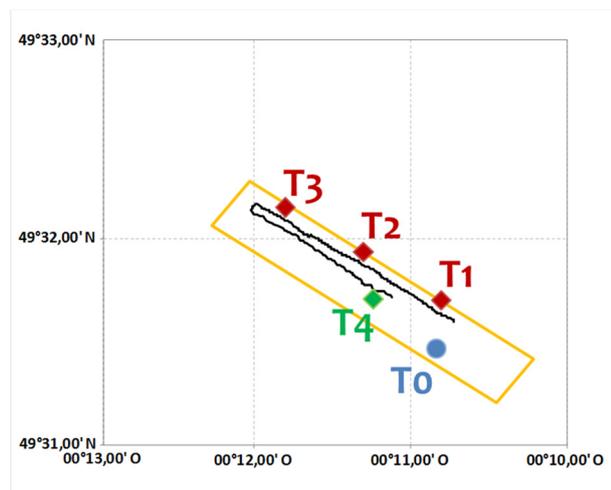
Stations	WGS 84	Coordonnées géographiques		Hauteur d'eau	Profondeur prélèvement	Heure d'arrivée
		Latitudes	Longitudes			
SED1	49° 31,795' N	00° 11,502' O			21,4 m	17h10
SED2	49° 31,919' N	00° 11,675' O				17h25
SED3	49° 31,829' N	00° 11,591' O				17h40
P1S	49° 31,790' N	00° 11,630' O		21,8 m	Sub-surface	17h50
P1M	49° 31,788' N	00° 11,634' O		21,8 m	≈ 10 m	18h20
P1F	49° 31,791' N	00° 11,516' O		22 m	≈ 20 m	18h45
Profile	49° 31,660' N	00° 11,219' O		22,9 m		19h10

Les prélèvements d'eau étant effectués avec une bouteille Niskin recouverte de Téflon de 5 L, il a fallu plusieurs prélèvements à chaque profondeur (P1S : surface ; P1M : milieu, P1F : fond) pour pouvoir remplir tout le flaconnage nécessaire pour les analyses hydrologiques et chimiques, en repositionnant le bateau qui avait dérivé entre deux prélèvements. Seuls des échantillons d'eau brute ont pu être prélevés, la filtration à bord ne pouvant être effectuée sans risque majeur de contamination. La filtration des échantillons a été effectuée par le laboratoire d'analyse à 0,45 µm de porosité.

### III.2.2.2 Phase II

La phase II a été réalisée à bord du *Delphy* le 23/09/2014 entre 09h55 et 14h05, soit autour de la pleine mer (coefficient 79, 11h12) afin que le panache de la *Seine* ait une influence minimale et les conditions permettant un certain confinement du panache. Le positionnement des stations de prélèvement est présenté dans la **Figure 17** et le *Delphy* était à une distance de 90 m à 150 m de la *Sand Heron* au moment de chaque prélèvement.

Les prélèvements d'eau de mer en sub-surface ont été effectués à l'aide de pompes Téflon actionnées par de l'air comprimé, dont les tuyaux de prélèvement ont été accolés de façon à prélever le même échantillon pour la fraction brute et la fraction filtrée à 0,2 µm de porosité.



**Figure 17** : Positionnement des stations de prélèvement lors de la phase II de l'étude SCOOTER dans la zone Ouest du périmètre du PER GMH. T0 = état initial avant extraction, T1, T2, T3 = pendant extraction, T4 = état final après fin extraction. En noir : tracé de la trajectoire de la *Sand Heron*.

Stations	WGS 84 Coordonnées géographiques		Hauteur d'eau	Heure d'arrivée	Distance au navire
	Latitudes	Longitudes			
P2T0	49° 31,478' N	00° 10,869' O	25,8 m	09h50	---
P2T1	49° 31,713' N	00° 10,816' O	27,3 m	10h25	≈ 120 m
P2T2	49° 31,959' N	00° 11,313' O	27,3 m	11h05	≈ 150 m
P2T3	49° 32,171' N	00° 11,872' O	27,5 m	12h05	≈ 90 m
P2T4	49° 31,731' N	00° 11,274' O	25,4 m	14h00	---

Malheureusement, aucun profil à la sonde multi-paramètres n'a pu être effectué lors de cette phase II de l'étude, celle-ci ayant dysfonctionné. Les données physico-chimiques ont été acquises sur des échantillons au laboratoire.

## III.3 Analyses

### III.3.1 Climatologie et observations satellitaires

Les données climatologiques ont été obtenues à partir de la base de données de Météo-France, dans le cadre de la convention 2014-2018 avec Ifremer (n° DIRO/2014/469/00 ou 14/1211029/M). Les données traitées sont les températures moyennes quotidiennes et les précipitations quotidiennes.

Les débits journaliers de la Seine sont issus de la station de référence de Vernon pour le débit à l'entrée de l'estuaire. Ces données sont collectées par la DIREN IDF/Bassin Seine-Normandie et bancarisées dans la base de données Banque Hydro et sont téléchargées à partir du site du GIP Seine-Aval ([www.seine-aval.crihan.fr](http://www.seine-aval.crihan.fr)).

Les cartes satellites ont été obtenues à partir du site internet du projet Previmer ([www.previmer.org](http://www.previmer.org)), un projet en partenariat avec l'Ifremer, le SHOM et Météo-France et cofinancé par l'Union Européenne.

La température de surface présentée est un produit de synthèse pluri-capteurs, à partir des données nocturnes calibrées sur des bouées considérées comme proches de la température moyenne de surface. Les images des anomalies sont obtenues par différence avec l'atlas AVHRR/GAC 1986-2009 calculé à l'Ifremer.

La chlorophylle-*a* et les matières en suspension minérales sont deux paramètres issus des capteurs dits de la « Couleur de l'eau ». La turbidité est obtenue à partir des concentrations en chlorophylle et en matières en suspension par une simple régression. Les images quotidiennes sont des produits interpolés à partir des données des capteurs VIIRS depuis janvier 2012 (NASA-NOAA). L'intérêt de l'interpolation est de fournir des informations même en présence de nuages par la méthode du krigeage appliquée aux données des 5 jours précédant et suivant le jour considéré. La méthode a toutefois ses inconvénients et en présence de situation nuageuse prolongée localement, des artefacts peuvent apparaître car le krigeage tend vers la situation moyenne du jour (climatologie sur 9 ans) (Gohin, 2011).

### III.3.2 Physico-chimie et hydrologie

Les cartes de simulation de la direction et de l'intensité des courants de surface et de l'impact des grands fleuves sur la salinité à la surface de la mer ont été obtenues grâce au modèle MARS3D, sur le site du projet Prévimer ([www.previmer.org](http://www.previmer.org)). Ce modèle de Circulation dans la Manche et Golfe de Gascogne vise à décrire l'évolution des courants, de la température et de la salinité sur l'ensemble de la zone. Le modèle hydrodynamique est tridimensionnel : il fournit des résultats horaires selon une maille de 2,5 km de côté et sur 40 niveaux entre la surface et le fond. Le code informatique MARS 3D (Model for Applications at Regional Scale) développé par l'Ifremer est utilisé pour réaliser ce modèle. Les effets pris en compte sont ceux de la marée, du vent et des gradients de densité (liés aux différences de température et de salinité). Le modèle utilise les résultats d'un modèle général de l'océan Atlantique développé et mis en œuvre par le groupement Mercator, qui révèle l'influence de la circulation à grande échelle et qui prend en compte les débits de l'ensemble des fleuves. Il faut cependant intégrer le fait que ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative.

Les données physico-chimiques *in situ* (température, salinité, oxygène dissous, fluorescence, néphélogétrie) ont été obtenues à l'aide d'une sonde YSI 6600E-V2, contrôlée métrologiquement le 16/09/2014 par l'Unité Métrologie du LER/N. La turbidité en sub-surface a été mesurée de retour au laboratoire à l'aide d'un turbidimètre HACH 2100 IS vérifié une fois par an par l'Unité Métrologie du LER/N, et contrôlé chaque jour d'utilisation.

Les données hydrologiques suivantes ont été acquises par l'Unité Hydrologie du LER/N : matière en suspension (MES), matière organique particulaire (MOP), chlorophylle-*a*, ammonium, nitrate, nitrite, phosphate et silicate. Les prélèvements et les mesures ont été effectuées dans le cadre de l'application du système de management de la qualité selon le référentiel NF EN ISO/CEI 17025 mis en place au LER/N. En outre, l'Unité Hydrologie a effectué les analyses de nutriments sous couvert de l'accréditation par le Cofrac (n°1-2048, portée disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)).

### III.3.3 Chimie

Les analyses des métaux et contaminants organiques ont été sous-traitées à Alpa Chimies (ex-Laboratoire de Rouen). Au moment de la prestation, ce laboratoire était accrédité par le Cofrac pour l'analyse dans l'eau de mer de tous les métaux traces, le lindane, les 7 PCB indicateurs, les 16 HAP et les organoétains, et dans le sédiment de tous les métaux sauf l'argent, le lindane, les 7 PCB indicateurs, et les organoétains (portée disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)).

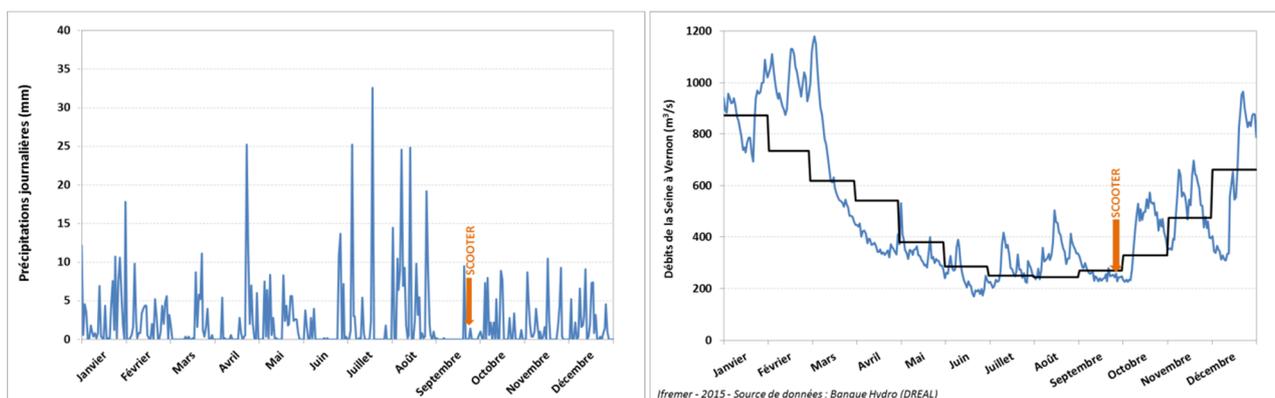
## IV. Résultats et Discussion

### IV.1 Climatologie

L'année 2014 est une année particulièrement chaude, le mois de septembre ayant enregistré au Cap de la Hève une température moyenne supérieure de + 1,5°C à la normale (moyenne de 17,7°C).

Du point de vue des précipitations, les cumuls mensuels du premier semestre 2014 étaient assez proches des normales au Cap de la Hève. Le mois d'août s'est avéré particulièrement pluvieux, équivalent au maximum interannuel depuis 1960. Le mois de septembre a, par contre, été particulièrement sec, le cumul mensuel étant le nouveau record interannuel depuis 1960 avec 12,1 mm, soit 55 mm de moins que la normale (**Figure 18**).

Enfin, les débits de la *Seine* mesurés à Vernon montrent un premier trimestre 2014 plutôt dans l'excédent (en moyenne + 18 % par rapport à la normale), un deuxième trimestre dans le déficit (- 19 % en moyenne), et un mois d'août en excédent (+ 41 %). En cohérence avec les précipitations très faibles mesurées, les débits de la *Seine* étaient en léger déficits au mois de septembre (**Figure 18**). Ceux-ci étaient respectivement de 248 et 251 m<sup>3</sup>/s les 22 et 23 septembre 2014.



**Figure 18** : Précipitations journalières (en mm) en 2014 au Cap de la Hève (à gauche, données MétéoFrance), et débits de la Seine (en m<sup>3</sup>/s) en 2014 à Vernon (à droite, données Banque Hydro).

Ces données climatiques permettent donc de dresser un tableau des conditions contrôlant l'activité biologique, et les apports terrigènes de la *Seine* dans la zone de l'étude.

### IV.2 Observations satellitaires

Les conditions générales en mer peuvent être abordées dans un premier temps d'une façon globale par l'analyse des observations satellitaires des 22 et 23 septembre 2014, dates de la campagne de l'étude.

Les cartes des anomalies de la température de surface observée par satellite confirment les températures exceptionnellement chaudes (+ 1,2 à 1,6°C) de l'eau de mer dans tout la Manche Orientale, avec des zones encore plus touchées (+ 1,8 à 4°C) à l'exutoire des estuaires comme la *Seine* (**Figure 19**).

Ces températures chaudes associées aux récentes recharges du milieu en nutriments grâce à la pluviométrie du mois d'août, ont permis le maintien d'une importante activité biologique à proximité des sources (estuaires), comme à l'exutoire de la *Seine* et sur la côte fleurie (**Figure 19**).

Enfin, les cartes des observations satellitaires de la turbidité montrent que, sur les 5 derniers jours de chaque date, la turbidité est restée faible au niveau de l'estuaire de la Seine et donc de la zone d'étude (**Figure 19**).

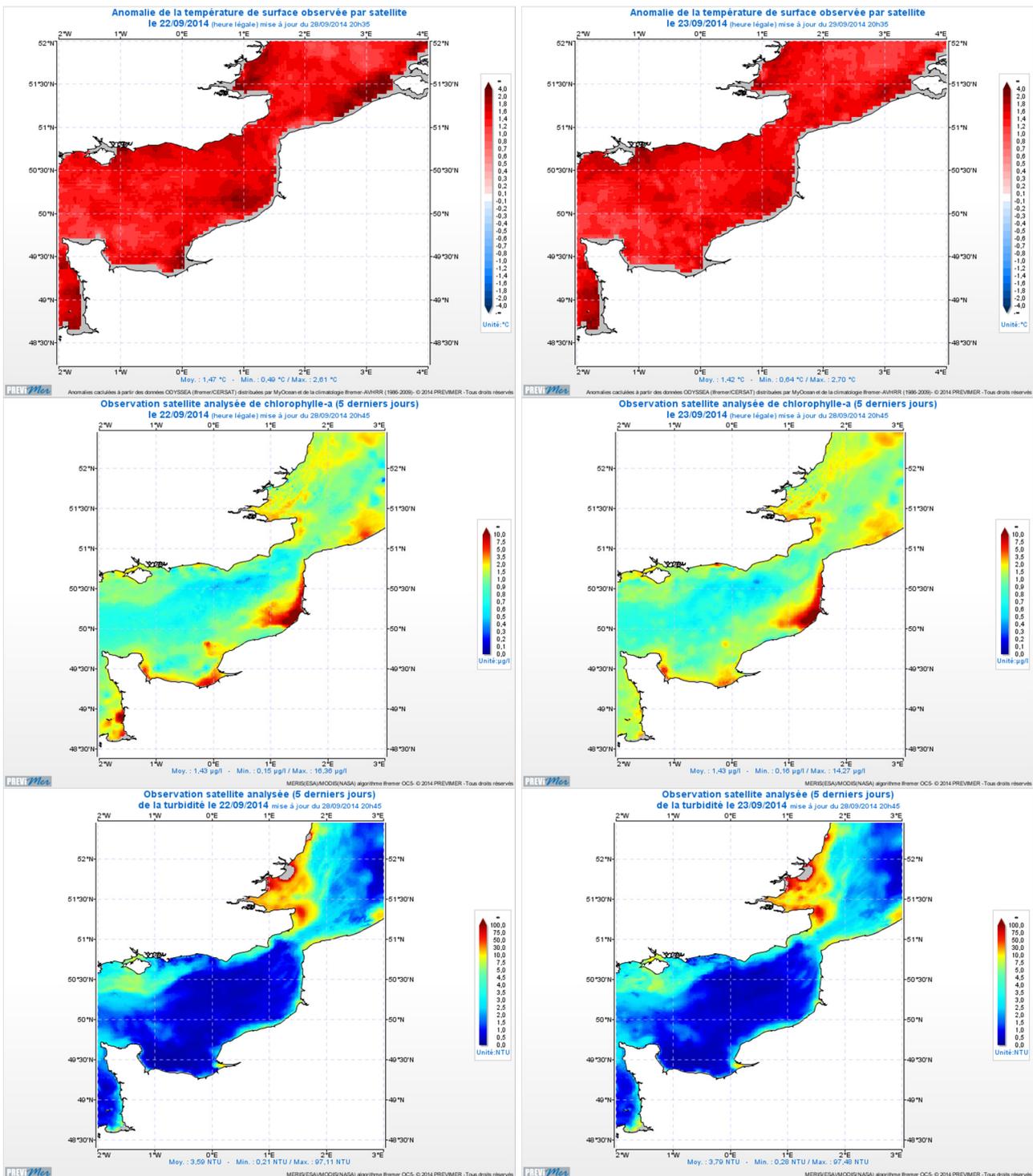


Figure 19 : Anomalie de la température de surface sur 24 h, Chlorophylle-a et Turbidité analysées (5 derniers jours), observées par satellite les 22/09/14 et 23/09/14 (données Prévimer).

## IV.3 Phase I – Influence du panache de la Seine

### IV.3.1 Conditions physico-chimiques et hydrologiques

Pour visualiser la provenance des courants sur la zone d'étude et l'aire d'influence du panache de la Seine au moment de cette phase de l'étude, la modélisation a été utilisée.

Les simulations de salinité montrent qu'au moment de la phase I de l'étude, le 22/09/14 entre 17h00 et 19h00 (heure légale), l'influence du panache de la Seine était bien maximale (**Figure 20**), bien que les débits étaient faibles (cf. § IV.1).

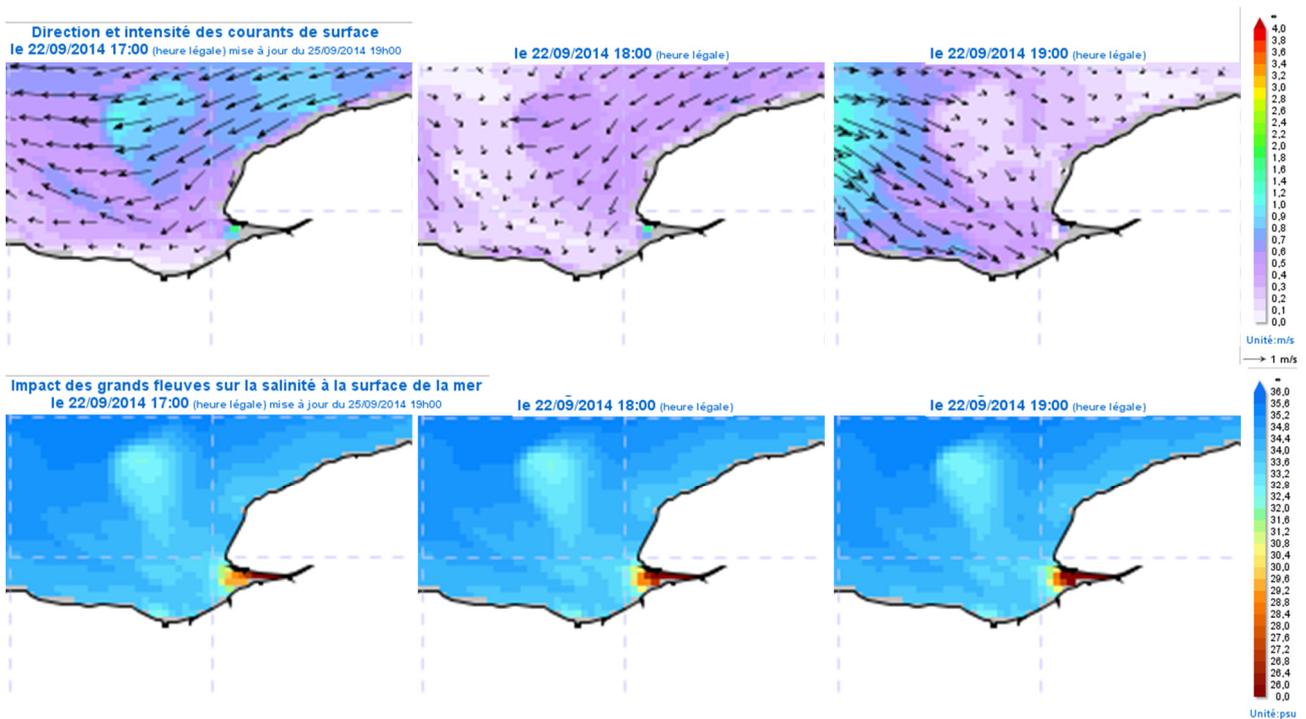


Figure 20 : Simulations des courants et de la salinité le 22/09/14 par le modèle MARS3D (données Prévimer).

Un profil à la sonde multi-paramètres a été effectué de façon à caractériser la structure de la colonne d'eau pendant cette phase d'état avant opération.

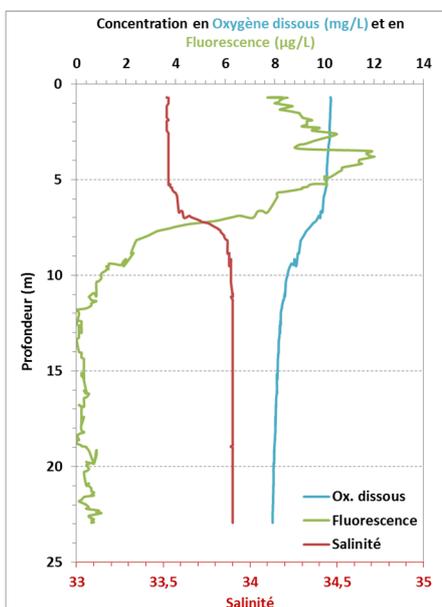
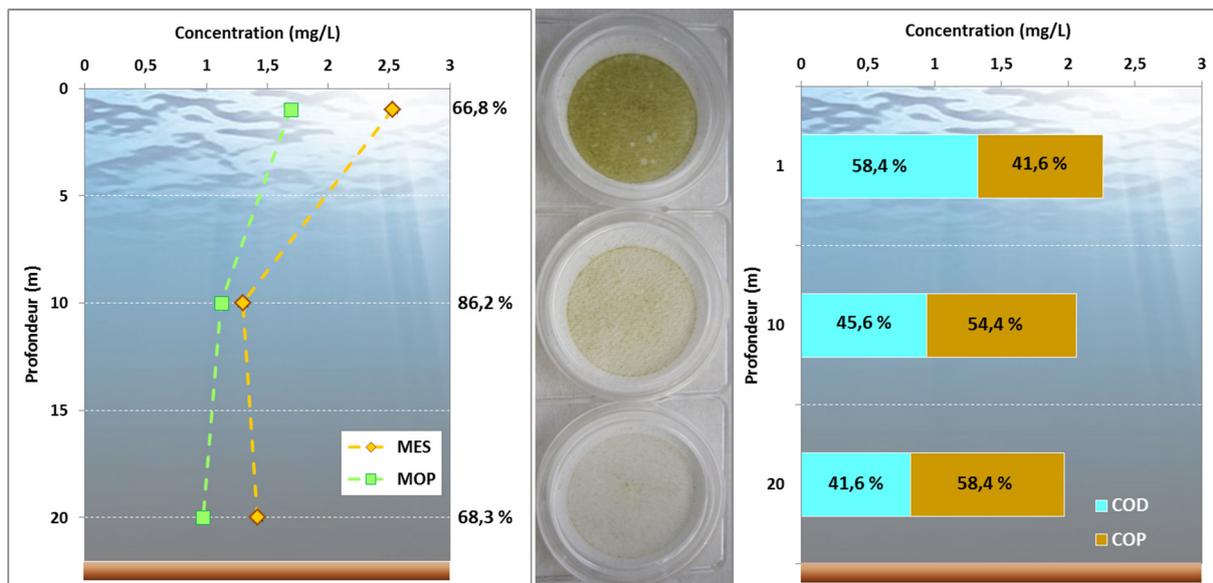


Figure 21 : Profil à la sonde multi-paramètres en salinité (en rouge), concentration en oxygène dissous (en bleu) et en fluorescence (en vert) réalisé à 18h20.

Les données *in situ* montrent une structuration de la colonne d'eau avec une pycnocline (gradient de salinité) à environ 7 m de profondeur, correspondant vraisemblablement à la profondeur d'influence du panache de la Seine, puisque la salinité était d'environ 33,5 en surface pour augmenter à 33,9 en deçà des 7 m (**Figure 21**). Dans cette couche de surface, un pic important de fluorescence (maximum à 11,9 µg/L) à 3,5 m de profondeur a pu être observé, indiquant la présence d'une forte biomasse. Logiquement, cette forte activité phytoplanctonique est accompagnée de la production d'oxygène dissous (maximum 10,2 mg/L en surface), dont la concentration diminue brusquement à l'horizon de la pycnocline à 7 m pour baisser ensuite graduellement de 9,2 mg/L à 7,9 mg/L au fond de la colonne d'eau (**Figure 21**).



**Figure 22** : De gauche à droite : Concentration en Matières en Suspension (MES) et en Matière Organique Particulaire (MOP) en surface, mi-profondeur et fond ; Photographie des filtres avant détermination des MES ; Concentration en Carbone Organique Dissous (COD) et en Carbone Organique Particulaire (COP) en surface, mi-profondeur et fond.

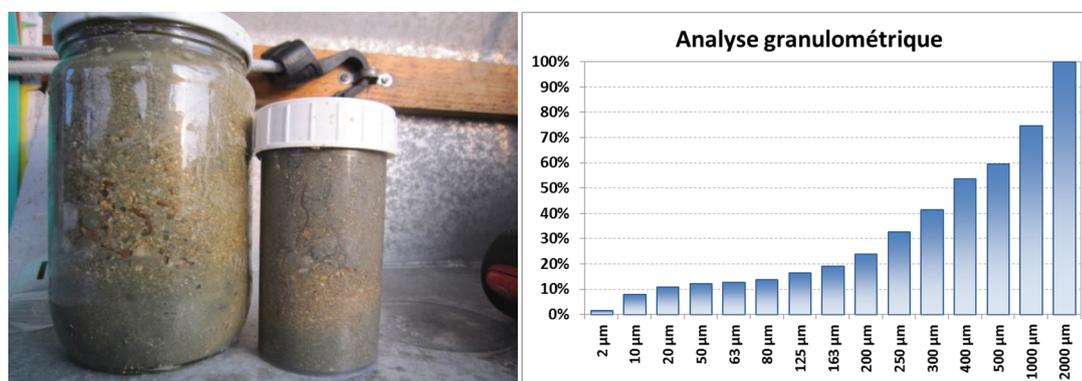
Dans les échantillons prélevés en surface, mi-profondeur et fond, la concentration en Matières En Suspension (MES) en surface s'est avérée conforme aux concentrations typiquement rencontrées en baie de Seine (< 2 – 8 mg/L) (Aminot *et al.*, 1997). A noter, comme le montre la photographie de la Figure 22, la dominance de chlorophylle sur le filtre de surface. A mi-profondeur, la concentration en MES a nettement diminué et augmente légèrement au fond (**Figure 22**). La concentration en Matière Organique Particulaire (MOP) diminue aussi à mi-profondeur et au fond par rapport à la surface. Sa proportion par rapport aux MES est légèrement majoritaire en surface et au fond (*ca.* 67 %), mais est beaucoup plus importante à mi-profondeur (**Figure 22**), juste en deçà du pic de biomasse observé *in situ* (**Figure 21**). Enfin, la concentration en Carbone Organique Total (COT) diminue légèrement de la surface vers le fond, la part de Carbone Organique Particulaire (COP) augmentant (**Figure 22**). En effet, lorsque la MOP se dégrade, elle perd ses fonctions azotées et phosphorées plus rapidement que les éléments du squelette carboné, d'où une augmentation de la proportion de carbone dans la MOP détritique (comme au fond de la colonne d'eau) par rapport à la MOP fraîchement synthétisée (comme en surface) (Aminot et Kérouel, 2004).

Les données physico-chimiques collectées le 22 septembre lors de la Phase I montrent donc que la colonne d'eau était stratifiée, avec, vraisemblablement une influence du panache de la Seine dans les premiers 7 m de profondeur et qu'il y avait une forte activité phytoplanctonique en surface produisant un flux de matière organique vers le fond.

### IV.3.2 Imprégnation chimique des sédiments

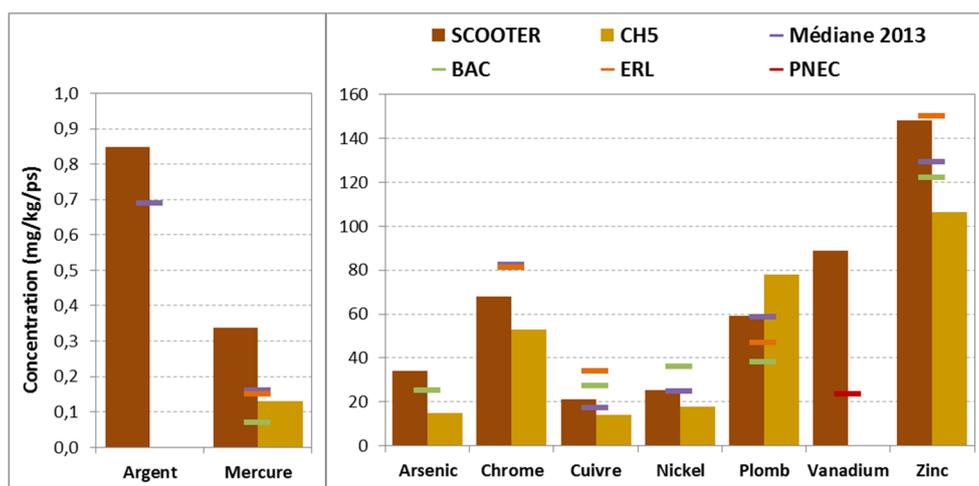
L'échantillon de sédiments a été obtenu après trois prélèvements à la benne, sur environ 5 cm de profondeur, qui ont été mélangés pour obtenir une quantité suffisante (cf. § III.2.2.1) (**Figure 23**).

L'analyse granulométrique a montré que la fraction inférieure à 2 mm représentait 65,8 % de l'échantillon, et celle inférieure à 63 µm (représentant les particules dites « fines » pour la chimie des contaminants) constituait 12,8 % de la fraction brute < 2 mm (**Figure 23**).



**Figure 23** : Photographie de l'échantillon de sédiments prélevé le 22/09/14 pour les analyses chimiques et résultats de l'analyse granulométrique.

Les résultats sont synthétisés dans l'Annexe IV. L'analyse des métaux a montré que seul le **cadmium** n'a pas été quantifié, en effet celui-ci avait été dosé à une médiane de 0,39 mg/kg/ps lors de la campagne ROCCHSED 2013. Une fois normalisée, cette LQ est trop élevée par rapport à l'ERL d'OSPAR et induit donc un risque de dépassement de ce critère. Tous les autres métaux ont pu être quantifiés et ont été comparés aux résultats de la station CH5 de la campagne « Chimie des sédiments – Phase II » du PER GMH du printemps 2014 (cf. § II.3.), et aux critères suivants : BAC, ERL, PNEC sédiments, et/ou Médiane 2013 (Annexe I et **Figure 24**). Seul l'**argent** n'a pas pu faire l'objet d'une interprétation par l'absence de critère et sa concentration était supérieure à la médiane 2013.



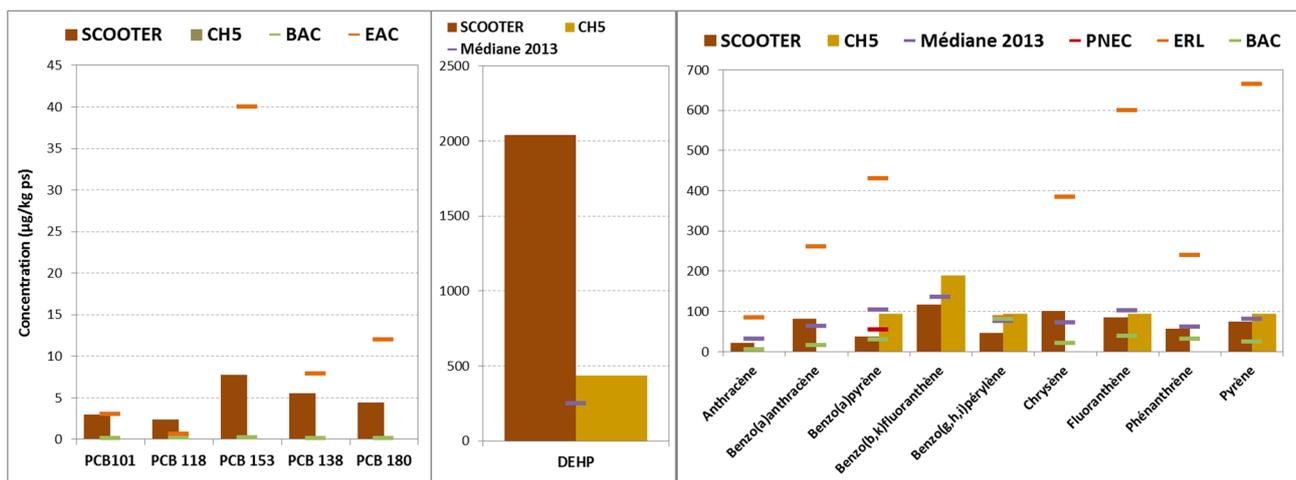
**Figure 24** : Comparaison des niveaux en métaux dans l'échantillon de sédiment et la station CH5 de la campagne Chimie des sédiments – Phase II du PER GMH du printemps 2014. Médiane 2013 = Médiane des résultats de la baie de Seine orientale de la campagne ROCCHSED 2013 ; BAC = Background Assessment Concentration ; ERL = Effects Range Low ; PNEC = Predictive No Effect Concentration dans les sédiments marins.

Les métaux dont les concentrations normalisées dépassent le critère ERL sont le **mercure** et le **plomb** sur la station SCOOTER, alors que seul le plomb le dépassait sur la station CH5.

Tous les autres métaux ont présenté un niveau acceptable, avec des concentrations normalisées inférieures à l'ERL d'OSPAR mais supérieures au critère BAC (**arsenic, zinc**), ou inférieures au BAC (**chrome, cuivre, nickel**). Pour le **vanadium**, pour lequel aucun critère OSPAR n'a été proposé, sa concentration non normalisée est inférieure à la PNEC sédiments.

Ces résultats montrent donc que les niveaux en métaux dans l'échantillon SCOOTER étaient inférieurs au seuil d'effets biologiques attendus d'OSPAR pour le chrome, le cuivre et le zinc, mais étaient supérieurs pour le mercure et le plomb. Le plomb, le vanadium et le zinc ont en outre dépassé les NOEC/PNEC définies pour les organismes benthiques/sédiments.

L'analyse des substances organiques a montré que les concentrations en organoétains (MBT, DBT, TBT), les chloroalcanes C10-C13, les polybromodiphenyléthers (PBDE), une partie des organochlororés (congénères PCB 28, 52, 105 et 156), la majorité des phénols et dérivés et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (acénaphène, acénaphylène, dibenzo(a,h)anthracène, fluorène, indéno(1,2,3-cd)pyrène et naphthalène) recherchés étaient inférieurs à la limite de quantification dans l'échantillon SCOOTER (Annexe IV). Ces résultats ont été comparés aux résultats de la station CH5 de la campagne « Chimie des sédiments – Phase II » du PER GMH du printemps 2014, et aux seuils suivants : BAC, ERL/EAC, PNEC sédiments, et Médiane 2013 (Annexe I et **Figure 25**).



**Figure 25** : Comparaison des niveaux en métaux dans l'échantillon SCOOTER et la station CH5 de la campagne Chimie des sédiments – Phase II du PER GMH du printemps 2014. Médiane 2013 = Médiane des résultats de l'est de la baie de Seine de la campagne ROCCHSED 2013 ; BAC = Background Assessment Concentration ; ERL/EAC = Effects Range Low/Environmental Assessment Criteria ; PNEC = Predictive No Effect Concentration dans les sédiments marins.

Un seul contaminant organique a présenté une concentration normalisée dépassant le critère ERL d'OSPAR validé : le **congénère PCB 118**, ce qui est régulièrement observé en baie de Seine. Pour le **lindane** ( $\gamma$ -HCH), sa limite de quantification était supérieure à l'ERL provisoire d'OSPAR.

Pour tous les **autres congénères des PCB** (CB 28, CB 52, CB 101, CB 153, CB 138 et CB 180) et les **16 HAP** ayant des critères OSPAR validés ou provisoires, les concentrations ou LQ normalisées sont inférieures au critère ERL.

Pour le **Diethylhexylphtalate (DEHP)** et les **Chloroalcanes C10-C13**, aucun seuil OSPAR n'a été défini. La concentration en DEHP dépasse la médiane 2013, mais reste très inférieure à la PNEC sédiments (100 000  $\mu\text{g}/\text{kg ps}$ ). Elle était près de 5 fois supérieure à celle retrouvée sur la station CH5. La concentration en chloroalcanes C10-C13 était inférieure à la LQ et très inférieure à la PNEC sédiments (880  $\mu\text{g}/\text{kg ps}$ ).

Ainsi, 33 % des substances recherchées ont été quantifiées et seul le PCB 118 a dépassé le seuil EAC d'OSPAR.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus pendant la campagne ROCCHSED 2013 sur la station E1.

### IV.3.3 Etat chimique de la colonne d'eau

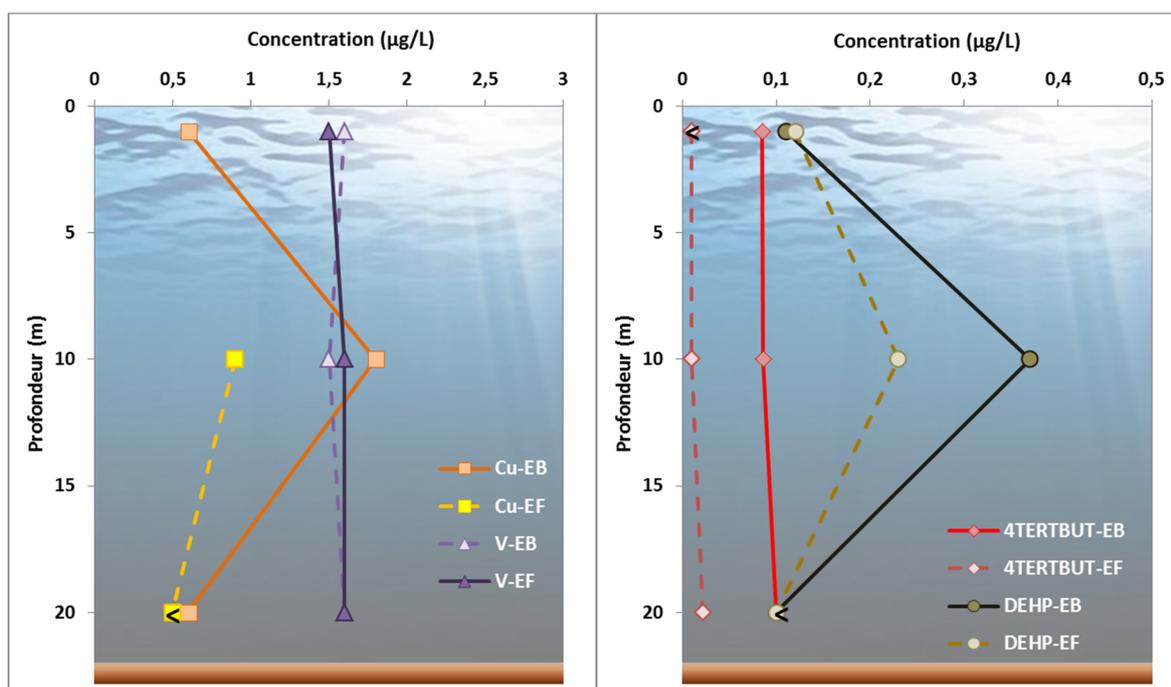
Pour observer l'état chimique de la colonne d'eau, trois prélèvements ont été effectués à trois profondeurs (surface, milieu, fond) (cf. § III.2.2.1).

Parmi les métaux, les concentrations en **cadmium**, **mercure** et **nickel** étaient inférieures à la limite de quantification (respectivement 0,1 µg/L, 0,005 µg/L et 0,5 µg/L) du laboratoire (Annexe IV et **Figure 24**). En effet, les concentrations mesurées dans la zone II d'OSPAR étant respectivement de 0,006 à 0,034 µ/L pour Cd, de 0,00005 à 0,0013 µg/L pour Hg et de 0,1 à 0,4 µg/L pour Ni (OSPAR Commission, 2004), les performances analytiques étaient insuffisantes pour les quantifier. Néanmoins, aucun de ces métaux n'ont dépassé de seuil DCE, ou de critères OSPAR, ou PNEC eaux marines.

Des analyses ayant été effectuées sur eau brute et eau filtrée à chaque profondeur, les concentrations dans l'eau filtrée devraient toujours être inférieures à celles dans l'eau brute. Or cela n'a pas été le cas pour l'**argent**, le **chrome**, et le **cuivre** dans P1S (Annexe IV). L'origine de ces résultats pourrait être due au fait que l'échantillonnage a été effectué à partir de différents prélèvements (*i.e.* plusieurs déploiements de bouteilles à une même profondeur) ou à une contamination de l'échantillon. Aussi, devant ces incertitudes, ceux-ci n'ont donc pas été pris en compte dans l'interprétation. Pour le plomb à P1M, la valeur mesurée (0,2 µg/L) dans l'eau filtrée correspondait à la limite de quantification, sa concentration dans l'eau brute devant alors être très proche en deçà de la LQ. Ces concentrations sont restées bien inférieures à la NQE-CMA de la DCE ou la PNEC eaux marines.

Les concentrations mesurées pour l'**arsenic** étaient relativement constantes, avec une légère diminution au fond et similaires dans l'eau brute et l'eau filtrée. Ces valeurs correspondent aux concentrations rapportées dans l'est de la baie de Seine, soit environ 1,8 µg/L (Michel *et al.*, 1999).

Les concentrations en **cuivre** dans l'eau brute montraient un maximum (1,8 µg/L) à environ 10 m, qui dépassait la PNEC eaux marines (0,8 µg/L) et pourrait correspondre aux niveaux déjà observés à Honfleur (2 – 4 µg/L) (données du Service de Navigation de la Seine entre 1995 et 2005, AESN, 2008). En outre, le cuivre a été mesuré dans l'eau filtrée à hauteur de 50 % de la concentration brute à mi-profondeur, ce métal étant communément rencontré dissous, sous forme de colloïdes ou adsorbé sur les particules.



**Figure 26** : Concentrations en surface, mi-profondeur (ca. 10 m) et au fond (ca. 20 m) en cuivre (Cu), du vanadium (V), du 4-tert-butylphénol (4TERTBUT) et du Diéthylhexylphthalate (DEHP) dans l'eau brute (EB) et l'eau filtrée (EF). <= inférieur à la limite de quantification.

Le **vanadium** a été quantifié à la fois dans les échantillons d'eau brute et d'eau filtrée à peu près au même niveau (moyenne 1,6 µg/L), suggérant que celui-ci se trouvait principalement dans la phase dissoute. Ces niveaux étaient proches de ceux déjà rapportés dans la Manche (max. 1,4 µg/L) (Auger *et al.*, 1999).

Enfin le **zinc** a été quantifié à quatre fois la LQ à mi-profondeur, comme le cuivre et le DEHP et dépasse donc largement la NQE provisoire correspondant au bruit de fond géochimique + 3,1 µg/L, sachant que des concentrations d'environ 0,5 µg/L ont été rapportées dans la Manche (Tappin *et al.*, 1993).

Pour ce qui est des substances organiques, à peine **7 % des mesures ont été quantifiées**. Les dosages en γ-HCH (lindane), organoétains (MBT, DBT, TBT), chloroalcanes C10-C13, Polybromodiphényléthers (PBDE) étaient tous inférieurs à la limite de quantification dans l'eau brute et/ou filtrée (Annexe V), leur concentration dans l'eau de mer étant très faible.

Dans la famille des **Polychlorobiphényles (PCB)**, sur les 9 congénères recherchés dans l'eau brute, seul le **CB 52** a été quantifié à mi-profondeur (0,005 µg/L) et au fond (0,002 µg/L) à des concentrations faibles. Les PCB sont relativement insolubles dans l'eau et leur solubilité décroît avec l'augmentation du nombre d'atomes de chlore. Aussi, ces mesures sont vraisemblablement dues à une adsorption sur les particules en suspension dans l'eau. Aucun seuil ou critère ne permet de relativiser ces concentrations.

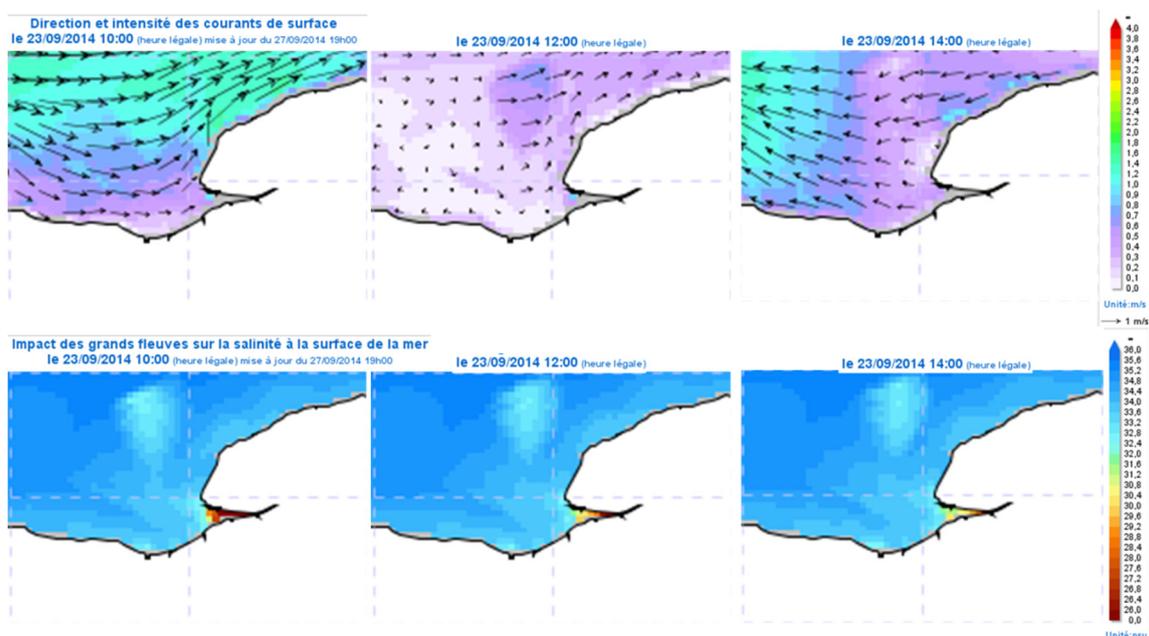
Dans la famille des **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**, sur les 16 substances recherchées dans l'eau brute, seuls le **phénanthrène** a été quantifié en surface (0,006 µg/L) et fond (0,005 µg/L) et l'**acénaphène** au fond (0,007 µg/L), à des concentrations proches de la limite de quantification. Comme pour les PCB, le phénanthrène est assez peu soluble dans l'eau, aussi celui-ci était vraisemblablement adsorbé sur de la matière en suspension dans l'eau brute. L'acénaphène a tendance à se volatiliser à partir de l'eau, et des demi-vies de 31 à 43 jours ont été mesurées dans des sédiments sous des conditions dénitrifiantes (INERIS, 2005). Aussi, cette faible concentration pourrait être issue d'une remobilisation de sédiments dans lequel cette substance était piégée. Enfin, ces concentrations étaient inférieures aux NQE provisoires de ces deux substances.

Ainsi, parmi toutes les substances recherchées, seuls les **4-tert-butylphénol** et **Diéthylhexylphtalate (DEHP)** ont été quantifiés dans presque tous les échantillons (eau brute ou eau filtrée) en surface, mi-profondeur et fond (sauf DEHP dont les concentrations sont inférieures à la LQ) (**Figure 26**). Pour le 4-tert-butylphénol, ses concentrations sont similaires aux trois profondeurs dans l'eau brute, avec une proportion d'environ 12 à 22 % dans la phase dissoute. Pour le DEHP, il apparaît essentiellement mesuré dans l'eau filtrée en surface et sa concentration augmente significativement à mi-profondeur, avec une proportion de 62 % en phase dissoute.

## IV.4 Phase II – Influence de l'extraction de granulats

### IV.4.1 Conditions physico-chimiques et hydrologiques

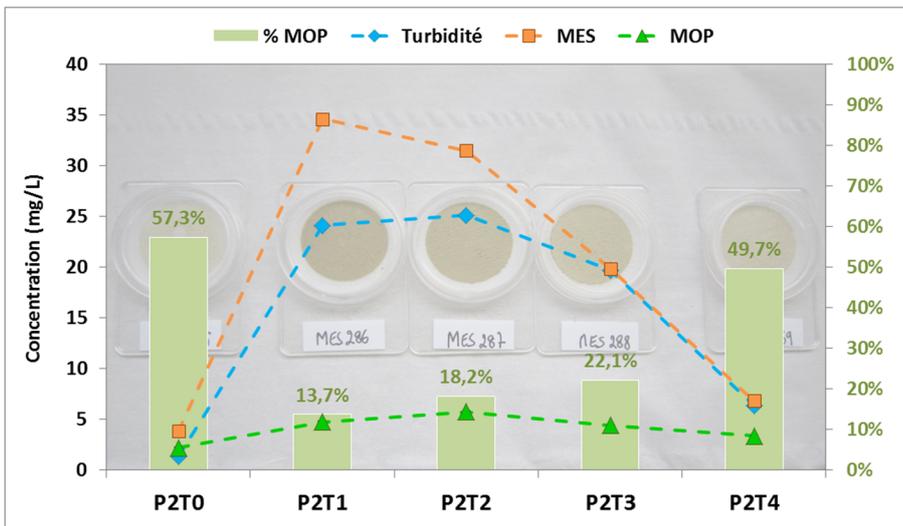
La phase II a été réalisée le 23/09/2014 entre 10h00 et 14h00, soit autour de la pleine mer (coefficient 79, 11h12) afin d'observer les niveaux des contaminants en étant sous l'influence minoritaire du panache de la Seine et de pouvoir étudier l'influence de l'extraction des granulats sur ces niveaux par la création d'un panache turbide. Pour visualiser la provenance des courants sur la zone d'étude et l'aire d'influence du panache de la Seine au moment de cette phase de l'étude, la modélisation a été utilisée. Les simulations de salinité montrent qu'au moment de la phase II de l'étude, le 23/09/14 entre 10h00 et 14h00 (heure légale), l'influence du panache de la Seine était bien minimale (**Figure 27**).



**Figure 27** : Simulations des courants et de la salinité le 23/09/14 par le modèle MARS3D (données Prévimer).

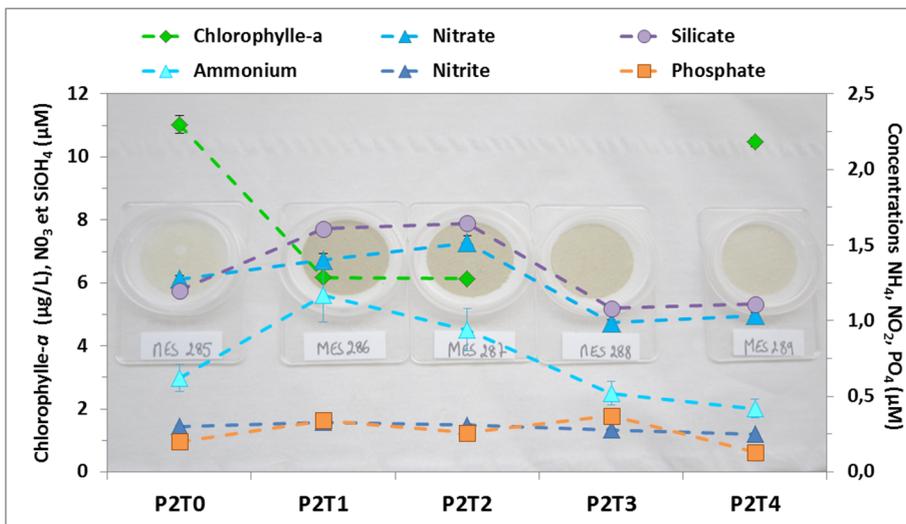
Les données disponibles sur la charge particulaire dans l'eau de surface pendant la Phase II sont : la turbidité, la Matière en Suspension (MES) et la Matière Organique Particulaire (MOP). Ces résultats mettent bien en évidence le développement du panache turbide lors de l'extraction de granulats (P2T1 à P2T3) puis son déclin (P2T4) (**Figure 28**). En effet, les données à l'état avant extraction (P2T0) sont logiquement similaires à celles de la Phase I (P1S) (voir **Figure 22**), respectivement : 1,3 vs. 1,5 FNU de turbidité, 3,8 vs. 2,5 mg/L de MES, 2,2 vs. 1,7 mg/L de MOP, soit 57,3 % vs. 66,8 % de MOP/MES.

Seulement 20 minutes après le début de l'extraction des granulats (P2T1), la charge particulaire a été multipliée par 10 en turbidité et en MES, avec une diminution de la proportion en MOP de plus de 40 % (**Figure 28**). En effet, la majorité des particules remises en suspension étaient principalement de nature inorganique. La charge particulaire était relativement stable à P2T2, soit 1h10 après le début de l'extraction, avec une légère diminution en MES. Puis 2h10 après le début de l'extraction (P2T3), la charge particulaire inorganique a commencé à diminuer d'environ 20 % en turbidité et de près de 40 % en MES, alors que la part de MOP augmentait (+ 4 %). Ces résultats suggèrent qu'une partie des particules inorganiques les plus denses de la matière en suspension rejetée par le navire extracteur avait commencé à re-sédimer. Enfin, le déclin du panache turbide a pu être observé avec un retour proche de l'état initial 1h10 après la fin de l'extraction (P2T4), avec, respectivement P2T0 : 6,4 vs. 1,8 FNU de turbidité, 6,8 vs. 3,8 mg/L de MES, 3,4 vs. 2,2 mg/L de MOP, soit 49,7 % vs. 57,3 % de MOP/MES (**Figure 28**).



**Figure 28** : Données physico-chimiques collectées lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction. Matière Organique Particulaire (MOP) en mg/L et en % de la Matière En Suspension (MES) et Turbidité (FNU).

Les données de l'état initial confirment, pour la chlorophylle- $\alpha$ , les données issues de la sonde multi-paramètres lors de la Phase I qui donnaient une fluorescence de 11,5  $\mu\text{g/L}$  à 3,5 m de profondeur (**Figure 21**) et à P2T0 une concentration de 11,0  $\mu\text{g/L}$  en sub-surface (**Figure 29**). Lors du développement du panache (P2T1 et P2T2), cette concentration a chuté de plus de 40 % et est revenue à un niveau proche du T0 au déclin du panache (P2T4), à 10,5  $\mu\text{g/L}$  (**Figure 29**). Ces résultats suggèrent soit une dispersion de la biomasse lors du rejet de l'eau de surverse par le navire extracteur, soit une inhibition de la production primaire due à la charge particulaire.



**Figure 29** : Données hydrologiques collectées lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction avec leurs incertitudes de mesures.

Pour les nutriments, le nitrate, l'ammonium, le silicate et dans une moindre mesure le nitrite, les résultats montrent une évolution similaire aux MES, avec une augmentation nette dès la formation du panache à P2T1 (de + 10 % à près de + 90 % pour l'ammonium) et une diminution à P2T3 (de - 10 % à - 45 % pour l'ammonium) (**Figure 29**). Le phosphate a montré un comportement légèrement différent, avec une nette augmentation à P2T1 (+ 70 %), une légère régression à P2T2 (-24 %), puis une nouvelle augmentation à P2T3 (+ 42 %) à l'inverse des autres nutriments, pour finir par une nette diminution à P2T4 (- 65 %). Ce résultat obtenu à P2T3 est difficilement interprétable avec les données disponibles.

## IV.4.2 Evolution de l'état chimique de l'eau en sub-surface

Les résultats des analyses chimiques dans l'eau avant (P2T0), pendant (P2T1 à P2T3) et après (P2T4) l'extraction, montrent qu'une fois encore les limites de quantification (LQ) n'étaient pas suffisamment basses pour pouvoir quantifier les substances recensées dans le **Tableau 6**, où les LQ sont comparées à des données bibliographiques. Ainsi, sur les 449 mesures réalisées, seules 61, soit **13,6 % des données étaient quantifiées** (voir Annexe V).

**Tableau 6 : Recensement des substances chimiques non quantifiables pendant la Phase II de la campagne SCOOTER.**  
LQ = Limite de Quantification du laboratoire.

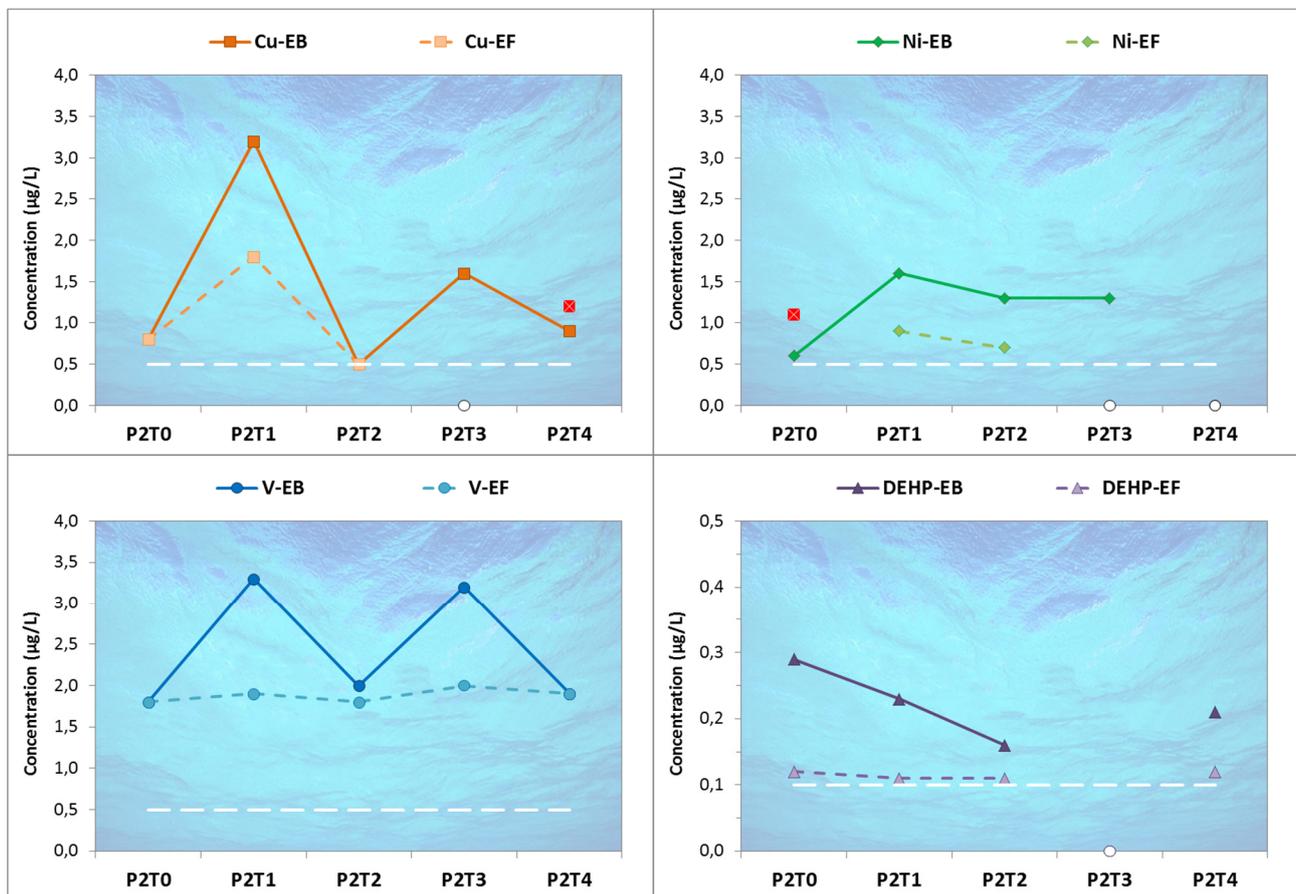
Substances	LQ	Données bibliographiques	Localisation	Référence
<b>METAUX</b>				
Argent	0,1 µg/L	0,002-0,004	Baie de Seine	Guide AESN 2008
Cadmium	0,1 µg/L	0,005-0,2	Estuaire Seine	Guide AESN 2008
<b>ORGANOCHLORES ET APPARENTES</b>				
gamma-HCH (Lindane)	0,001 µg/L	< 0,000070-0,000894	Océan Arctique	Weber et al., 2006
PCB 28	0,001 µg/L	0,0000038-0,0000059	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 52	0,001 µg/L	0,0000075-0,0000109	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 101	0,001 µg/L	0,0000045-0,0000103	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 105	0,001 µg/L			
PCB 118	0,001 µg/L	0,0000035-0,0000062	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 138	0,001 µg/L	0,0000026-0,0000081	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 153	0,001 µg/L	0,0000025-0,0000077	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
PCB 156	0,001 µg/L			
PCB 180	0,001 µg/L	0,0000024	Atlantique Nord	OSPAR - Reference Concentration
<b>ORGANOETAINS</b>				
Monobutylétain (MBT)	0,002 µg Sn/L	< 0,0003	Large Ouistreham	Rapport Ifremer Michel & Averty, 1997
Dibutylétain (DBT)	0,002 µg Sn/L	< 0,0004	Large Ouistreham	Rapport Ifremer Michel & Averty, 1997
Tributylétain (TBT)	0,002 µg Sn/L	< 0,0006	Large Ouistreham	Rapport Ifremer Michel & Averty, 1997
<b>PHENOLS ET DERIVES</b>				
Nonylphénol (mélange technique)	1 µg/L	< 0,001	Mer du Nord	Bester et al., 2001
4-tert-octylphénol	0,01 µg/L			
4-n-octylphénol	0,01 µg/L			
Octylphénol	0,01 µg/L			
4-n-nonylphénol	0,01 µg/L			
OP10E	0,1 µg/L			
OP20E	0,1 µg/L			
NP10E	0,1 µg/L	< 0,01	Estuaire Elbe	Bester et al., 2001
NP20E	0,1 µg/L	< 0,01	Estuaire Elbe	Bester et al., 2001
<b>CHLOROALCANES</b>				
Chloroalcanes C10-C13	10 µg/L	0,4		DCE 2013/39/UE - NQE-MA
<b>POLYBROMODIPHENYLETERS</b>				
BDE 28	0,01 µg/L			
BDE 77	0,01 µg/L			
BDE 47	0,01 µg/L			
BDE 99	0,01 µg/L			
BDE 100	0,01 µg/L			
BDE 153	0,01 µg/L	∑ < 0,000004 µg/L	Côtes françaises	Guide AESN 2008
BDE 154	0,01 µg/L			
BDE 181	0,01 µg/L			
BDE 209	0,1 µg/L			
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>				
Acénaphène	0,005 µg/L	0,000039-0,000130	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Acénaphthylène	0,1 µg/L	0,000000-0,000036	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Anthracène	0,005 µg/L	0,000000-0,000004	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Benzo(a)anthracène	0,005 µg/L	0,000001-0,000004	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Benzo(b)fluoranthène	0,005 µg/L	0,000003-0,000009	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Benzo(k)fluoranthène	0,005 µg/L	0,000009-0,000059	Mer Baltique	Manoli & Samara, 1999
Benzo(g,h,i)peryène	0,005 µg/L	0,000001-0,000008	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Benzo(a)pyrène	0,005 µg/L	0,000002-0,000004	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Chrysène	0,005 µg/L	0,000037-0,000459	Mer Baltique	Manoli & Samara, 1999
Dibenzo(a,h)anthracène	0,005 µg/L	0,000002-0,000017	Mer Baltique	Manoli & Samara, 1999
Fluoranthène	0,005 µg/L	0,000104-0,000264	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Fluorène	0,02 µg/L	0,000364-0,000805	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,005 µg/L	0,000006-0,000012	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Naphtalène	0,02 µg/L	0,000416-0,002678	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Phénanthrène	0,005 µg/L	0,000262-0,000636	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration
Pyrène	0,02 µg/L	0,000011-0,000024	Atlantique Nord	OSPAR - Background Concentration

Tout comme lors de la Phase I, certaines valeurs obtenues pour l'échantillon d'eau filtrée étaient supérieures à celle pour l'échantillon d'eau brute. Il est vraisemblable que cette différence soit due au fait que ces faibles valeurs soient très proches de la limite de quantification pour les résultats P2T2 et P2T3 de l'arsenic, P2T0, P2T1 et P2T2 du 4-tert-butylphénol et P2T1 et P2T2 du 4-para-nonylphénol, ainsi qu'à la faible précision des résultats rendus pour l'arsenic. Ces résultats P2T4 du cuivre et P2T0 du nickel sont difficilement explicables. Tous ces résultats ne seront donc pas interprétés.

A l'état initial de la Phase II (P2T0, avant l'extraction), les substances quantifiées étaient l'arsenic, le cuivre, le nickel, le vanadium et le DEHP (Annexe V).

Les concentrations en **arsenic** sont restées à peu près constantes tout au long de la Phase II, se retrouvent principalement dans la phase dissoute et correspondent aux niveaux déjà mesurés lors de la Phase I (cf. § IV.3.3) et lors de précédentes études (Michel *et al.*, 1999).

Comme lors de la Phase I, le **cuivre** a été quantifié à une concentration similaire dans l'eau brute et l'eau filtrée lors de l'état initial de la Phase II (sans extraction), suggérant que celui-ci était sous forme dissoute. Dès le début de l'essai d'extraction (P2T1), du cuivre a vraisemblablement été remis en suspension des sédiments avec une fraction sous forme dissoute (**Figure 30**). En effet, celui-ci avait été mesuré à un niveau supérieur au critère BAC provisoire d'OSPAR dans le sédiment de la zone (cf. § IV.3.2). Cela n'a cependant pas été tout à fait le même cas en fin d'extraction (P2T3), où du cuivre a été remis en suspension mais sans desorption des particules puisque sa concentration dans la phase dissoute est restée inférieure à la limite de quantification. Environ 1 heure après la fin de l'extraction (P2T4), les concentrations sont revenues au niveau de l'état initial. Les niveaux mesurés étaient cependant supérieures aux concentrations rapportées en moyenne dans la Manche (ca.  $0,2 \pm 0,06 \mu\text{g/L}$  (Tappin *et al.*, 1993)).



**Figure 30 :** Résultats dans l'Eau Brute (EB) et l'Eau Filtrée (EF) pour le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le vanadium (V) et le Diéthylhexylphtalate (DEHP) lors de la phase II à T0 avant extraction, T1 = T0 + 30 min, T2 = T0 + 1 h, T3 = T0 + 2 h et T4 = 1 h après la fin d'extraction. Lignes pointillées blanches = Limites de quantification (LQ) respectives. Points blancs = résultat < LQ. Points rouges = résultats EF > EB.

Alors qu'aucun résultat n'était quantifiable lors de la Phase I, le **nickel** a été mesuré à plusieurs reprises lors de la Phase II à des concentrations supérieures aux niveaux rapportés dans la Manche (ca.  $0,22 \pm 0,17 \mu\text{g/L}$  (Tappin *et al.*, 1993)). Cela a été le cas à P2T0, même si la concentration était très proche de la limite de quantification, puis celle-ci a plus que doublée en P2T1, P2T2 et P2T3 dans l'eau brute, avec environ 50 % présente sous forme dissoute (**Figure 30**). Enfin, sa teneur est revenue à un niveau inférieur à la limite de

quantification après la fin de l'extraction, lors de la dissipation du panache en P2T4. Dans l'échantillon de sédiment de la Phase I, le nickel avait été retrouvé à une concentration proche des concentrations dans un milieu pas ou peu impacté (cf. § IV.3.2). Enfin, les concentrations en nickel retrouvées lors de cette Phase II sont restées très largement inférieures à la NQE-CMA (34 µg/L) définie dans la DCE.

Le **vanadium** a été quantifié à la fois dans l'eau brute et dans la fraction dissoute à une concentration très légèrement supérieure lors du prélèvement P2T0 que lors des prélèvements de la Phase I (voir § IV.3.3). Son niveau a presque doublé dans l'eau brute à P2T1 et P2T3 (maximum 3,3 µg/L), alors que sa présence sous forme dissoute a à peine augmentée (**Figure 30**). Sa concentration dans les deux fractions est pratiquement revenue à l'état initial après l'arrêt de l'extraction (P2T4). Le vanadium présenterait une affinité particulière pour les particules d'oxyhydroxydes ferriques qui favoriseraient son adsorption (Auger *et al.*, 1999). L'opération d'extraction des granulats a donc pu permettre de remettre en suspension ces particules qui ont resédimenté lorsque celle-ci s'est arrêtée. Les concentrations quantifiées sont supérieures à la PNEC eaux marines (0,41 µg/L).

Alors que le **chrome**, le **mercure**, le **plomb** et le **zinc** n'ont pas été détectés à l'état initial de la Phase II, ceux-ci ont été quantifiés dans l'eau brute à deux reprises dans le panache : à P2T1 et P2T3 (à quatre reprises pour le plomb avec P2T2 et P2T4), à des concentrations légèrement supérieures à la limite de quantification. N'ayant pas été mesuré dans l'eau filtrée, il est vraisemblable que ces métaux soient adsorbés sur les particules remises en suspensions présentes en quantité importante dans le panache. En effet, ceux-ci avaient été mesurés dans le sédiment de la zone (cf. § IV.3.2), à un niveau supérieur au critère EAC d'OSPAR pour le mercure et le plomb. Les concentrations mesurées en chrome restent dans la moyenne des concentrations typique de la Manche (Auger *et al.*, 1999). Par contre, les concentrations en mercure (0,006 et 0,011 µg/L), en plomb (0,4 à 2,0 µg/L) et en zinc (5 et 6 µg/L) sont supérieures aux maxima rapportés dans les eaux de la Manche, soit, respectivement 0,0041 µg/L pour Hg, 0,045 µg/L pour Pb et 0,5 µg/L pour Zn (Tappin *et al.*, 1993). Presque tous (sauf pour le plomb) sont cependant revenus à des niveaux inférieurs aux limites de quantification après la fin de l'extraction (P2T4). En outre, ces concentrations sont restées inférieures à la PNEC eaux marines définies pour le chrome (3 µg/L), le mercure (0,036 µg/L) et le plomb (5,4 µg/L) et inférieures à la NQE-CMA définie pour le mercure (0,07 µg/L) et le plomb (14 µg/L) dans la DCE.

Le **4-tert-butylphénol** a pu être quantifié uniquement dans l'échantillon P2T3 de la Phase II, à plus de 50 % sous forme dissoute, alors qu'il n'avait pas été quantifié à P2T0. Cette substance avait cependant été mesurée lors de la Phase I, dans des conditions hydrodynamiques favorisant l'influence de la *Seine* (cf. § IV.3.3). Aucun seuil ou critère, ni aucune donnée comparative n'a pu être recensée pour l'environnement marin à part une PNEC chronique pour les eaux marines par extrapolation de 6,4 µg/L (INERIS, 2014), ce qui est très élevé par rapport aux concentrations mesurées ici.

Le **Diéthylhexylphtalate (ou DEHP ou DOP)** a été quantifié lors de la Phase I (cf. § IV.3.3), et dans presque tous les échantillons d'eau brute et filtrée de la Phase II (sauf P2T3) (**Figure 30**). L'évolution de ses concentrations en eau brute et en phase dissoute montre une diminution entre P2T1 et P2T3, puis une augmentation en P2T4. Dans tous les cas, ces niveaux n'ont pas dépassé la NQE-MA définie pour la DCE. Les seules données publiées sont issues de l'estuaire de Seine (de Poses à Honfleur), où les concentrations s'étendaient de 0,160 à 0,314 µg/L (Dagnat *et al.*, 2009). Les concentrations quantifiées dans l'eau brute pendant la Phase II (0,16 – 0,29 µg/L) correspondent bien à cet intervalle (**Figure 30**). La diminution observée en présence du panache turbide pourrait s'expliquer par l'affinité de cette substance pour les particules, notamment la matière organique, qui a augmenté entre P2T1 et P2T3 (**Figure 29**).

## V. Conclusion

### V.1 Synthèse des résultats

L'interprétation des paramètres physico-chimique et hydrologique des deux phases expérimentales de l'étude a permis de caractériser la colonne d'eau sous l'influence maximale du panache de la Seine (Phase I) et d'observer le développement d'un panache turbide 20 minutes après le début de l'extraction des granulats, le maintien d'un certain niveau de charge particulaire pendant toute la durée de l'extraction malgré une diminution 2 heures après son début et la disparition progressive du panache 1 heure après la fin de l'extraction. Les résultats des analyses chimiques sont synthétisés dans le **Tableau 7**.

**Tableau 7** : Synthèse des substances quantifiées dans les échantillons de sédiment, d'eau brute ou d'eau filtrée.

	Phase I : 22/09	Phase I : 22/09	Phase II (influence de l'extraction) : 23/09				
	≈ 5 cm	Surf, Mil, Fond	Subsurface				
	<b>SEDIMENT</b>	<b>EAU BRUTE = Fraction particulaire + dissoute</b>					
Métaux	Tous sauf Cd	As, Cu, V, Zn	As, Cu, Ni, V	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn	As, Cu, Ni, Pb, V	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn	As, Cu, Pb, V
Organochlorés & apparentés	CB101, 118, 153, 138, 180	CB52					
Organoétains							
Phénols & dérivés	4-tert-butylphénol	4-tert-butylphénol				4-tert-butylphénol	
Phtalates	DEHP	DEHP	DEHP	DEHP	DEHP		DEHP
Chloroalcanes PBDE							
HAP	10/16	Acénaphthène Phénanthrène					
		<b>EAU FILTRÉE : Fraction dissoute</b>					
Métaux		As, Cu, V	As, Cu, Ni, V	As, Cu, Ni, V	As, Cu, Ni, V	As, V	As, Cu, V
Organoétains							
Phénols & dérivés		4-tert-butylphénol				4-tert-butylphénol	
Phtalates		DEHP		DEHP	DEHP		DEHP
Chloroalcanes							

Lors de la Phase I, les substances quantifiées dans l'échantillon de sédiment incluent tous les métaux traces sauf le cadmium, 5 congénères des PCB, un alkylphénol, le DEHP et 10 HAP sur les 16 recherchés (**Tableau 7**). Leur concentration a été normalisée afin de les comparer aux critères d'OSPAR validés ou provisoires. Parmi ceux-ci, seuls le mercure, le plomb et le congénère CB 118 ont dépassé les critères OSPAR EAC ou ERL. Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus lors des campagnes ROCCHSED 2013 et de l'état des lieux de la chimie des sédiments du PER GMH.

L'état chimique de la colonne d'eau sans extraction dans des conditions favorisant l'influence maximale du panache de la Seine (**Phase I de l'étude**), a montré la présence de certains métaux traces ou contaminants de façon « bruit de fond » : arsenic, cuivre, vanadium, zinc, 4-tert-butylphénol et le DEHP. La distribution verticale des concentrations en cuivre, zinc et DEHP présente un maximum à mi-profondeur. Enfin, trois substances organiques (CB52, phénanthrène et acénaphthylène) ont été quantifiées à des concentrations proches des limites de quantification dans des échantillons d'eau brute, suggérant que celles-ci étaient adsorbées à de la Matière En Suspension (MES). Il n'est cependant pas possible d'associer de façon certaine les substances quantifiées dans la colonne d'eau à la présence du panache de la Seine avec la stratégie d'échantillonnage mise en oeuvre. En effet, il aurait probablement été préférable d'effectuer un échantillonnage plus fin dans la colonne d'eau avec une méthode de prélèvement permettant d'obtenir un

## Conclusion

échantillon en un seul prélèvement (type mini-rosette), et d'effectuer plusieurs profils avant, pendant, et après la basse mer, mais cela ne correspondait pas au dimensionnement de l'étude.

La **Phase II de l'étude** consistait à observer l'état chimique de l'eau avant le début de l'extraction (T0), dans le panache turbide pendant l'extraction (T1 à T3) et dans le panache turbide après la fin de l'extraction (T4). Les résultats ont montré une remise en suspension de sédiment par l'augmentation nette de la concentration en matière en suspension en sub-surface, à laquelle sont associés des métaux traces (chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, vanadium, zinc) notamment à T1 et T3, avec peu de transfert de ces éléments dans la phase dissoute.

La fin de l'expérimentation a permis d'observer une **nette tendance au retour à l'état initial dans l'eau brute et l'eau filtrée une heure après l'arrêt de l'extraction.**

Cette étude a donc montré que :

- l'extraction de granulats par le navire extracteur a bien créé un panache turbide ;
- des contaminants étaient associés aux particules remises en suspension mais seuls des métaux traces ont pu être quantifiés ;
- une très faible fraction de ces métaux traces semblait avoir été désorbée vers la phase dissoute ;
- une heure après la fin de l'extraction, les concentrations en métaux traces dans la phase particulaire et la phase dissoute tendent vers leur niveau initial d'avant le début de l'extraction.

**L'essai d'extraction de granulats dans la Zone Ouest du PER GMH a donc bien eu une influence sur l'état chimique de l'eau dans le panache turbide pendant la durée de subsistance de ce panache turbide, mais ne semble pas montrer d'influence à long terme (après la disparition du panache) sur la qualité globale de l'eau sur le site de l'étude.**

## V.2 Recommandations

Un des objectifs de cette étude était de soumettre des recommandations par rapport à la nécessité de mettre en œuvre un suivi à long terme de la qualité chimique de l'eau dans l'hypothèse de l'attribution d'une autorisation d'exploitation industrielle sur une partie du périmètre du PER GMH. Le programme de recherche du Permis Exclusif de Recherche des Granulats Marins Havrais a pris fin en décembre 2014. Celui-ci a permis d'effectuer un état des lieux sur différentes thématiques (Géologie, Biologie, Hydrosédimentologie et Chimie) dont les résultats ont permis de retenir un périmètre favorable à une exploitation d'environ 10 km<sup>2</sup>. Trois zones de ce périmètre favorable ont fait l'objet d'essais d'extraction, dont une dans la Zone Ouest, site de la présente étude. Cette bande a été choisie pour faire l'objet de cette étude finale sur l'état des lieux chimique suite aux résultats obtenus lors des campagnes ROCCHSED de juin 2013 et PERSED-II d'avril 2014. Ces campagnes avaient en effet montré que cette zone avait la plus grande concentration de métaux traces et contaminants dans le sédiment par rapport aux autres zones.

Suite aux conclusions de l'étude (voir § V.1), **un suivi à long terme de la qualité de l'eau afin d'évaluer l'impact des extractions de granulats dans le périmètre du PER GMH ne semble pas pertinent**. Les raisons de cette recommandation sont les suivantes :

- Les résultats de l'étude SCOOTER ont montré une tendance nette au retour des concentrations en métaux traces vers l'état initial avant extraction, et peu de transfert de ces éléments dans la phase dissoute, suggérant que l'impact chimique à long terme de l'extraction serait négligeable dans le périmètre retenu ;
- L'hypothétique impact chimique des extractions dans le périmètre retenu serait mélangé aux apports du panache de la *Seine* à chaque marée basse, et particulièrement pendant les vives-eaux, et en période de crue de la *Seine*. Le suivi aurait donc tendance à refléter la qualité des eaux diluées du panache de la *Seine* plutôt que celui des extractions.
- Il existe des réseaux d'observation et de surveillance de la qualité chimique du littoral normand coordonnés par l'Ifremer, qui devraient permettre d'identifier tout problème à long terme s'il devait y en avoir un.

## Bibliographie

- AESN, 2008.** Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie. *Ed. AESN, 271 p.*
- Aminot A.,** Guillaud J-F., Kérouel R., **1997.** La baie de Seine : hydrologie, nutriments, chlorophylle (1978-1994). *Ifremer*
- Aminot A.** et Kérouel R., **2004.** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. *Ed. Ifremer, 336 p.*
- Arrêté du 14 juin 2000** relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.
- Arrêté du 23 décembre 2009** complétant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.
- Arrêté du 8 février 2013** complémentaire l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.
- Auger Y.,** Bodineau L., Leclercq S. et Wartel M., **1999.** Some aspects of vanadium and chromium chemistry in the English Channel. *Cont. Shelf Res., 19: 2003-2018.*
- Cauwet G., 1987.** Influence of sedimentological features on the distribution of trace metals in marine sediments. *Mar. Chem., 22 : 221-234.*
- Claisse D., 2007.** Surveillance chimique : Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants chimiques. *Rapport Ifremer R.INT.DCN-BE/2007.05/Nantes.*
- Dagnat C.,** Blanchard M., Chevreuil M., and Teil M.J., **2009.** Occurrence of phthalate esters in the Seine River estuary (France). *Hydrol. Process., 23 : 1192-1201.*
- 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.
- Duclos P.-A., 2012.** Impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats marins – Application au bassin oriental de la Manche. *Thèse de Doctorat de l'Université de Rouen, 273 pp.*
- Gohin F., 2011.** Annual cycles of chlorophyll-*a*, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters, *Ocean Sci., 7, 705-732.*
- ICES, 2012.** Report of the Working Group on Marine Sediments in Relation to Pollution (WGMS), 12-16 March 2012, Lisbon, Portugal. *ICES CM 2012/SSGHIE:06, 37 pp.*
- Ifremer, 2006.** Inventaire des ressources en matériaux marins, Façades « Manche-Est » et « Loire-Gironde ». *Rapport Ifremer, 165 p.*
- INERIS, 2005.** Acénaphthène. *Fiche INERIS-DRC-02-25590-02DR49, version n°2-1, 39 p.*
- INERIS, 2014.** 4-tert-butylphénol. *Fiche mise à jour le 15/09/14, 15 p.*
- Lemoine M.** et Lafite R., **2014.** PER GMH : Caractéristiques et dynamique du panache turbide dues à l'extraction de granulats marins. *Rapport de synthèse, 25 p.*
- Michel P.,** Chiffolleau J.F., Averty B., Auger D. et Chartier E., **1999.** High resolution profiles for arsenic in the Seine Estuary. Seasonal variations and net fluxes to the English Channel. *Cont. Shelf Res., 19: 2041-2061.*
- OSPAR Commission, 2004.** OSPAR/ICES Workshop on the evaluation and update of background reference concentrations (B/RCS) and ecotoxicological assessment criteria (EACs) and how these assessment tools should be used in assessing contaminants in water, sediment and biota. *Rapport de workshop, 167 p.*
- OSPAR Commission, 2009.** Agreement on CEMP Assessment Criteria for the QSR 2013. *Agreement n° 2009-2.*
- OSPAR Commission, 2014.** Levels and trends in marine contaminants and their biological effects – CEMP Assessment Report 2013. *Publication n°631/2014.*
- Tappin A.D.,** Hydes D.J., Burton J.D. and Statham P.J., **1993.** Concentrations, distributions and seasonal variability of dissolved Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn in the English Channel. *Continental Shelf Research, 13 (8/9): 941-969.*
- Téledétection et Biologie Marine** (bureau d'étude), **2014.** Programme de recherches PER-GMH : Etudes sur la chimie des sédiments et de l'eau. *Rapport de synthèse, 21 p.*

## Annexes

- Annexe I :** Synthèse des critères OSPAR et seuils DCE validés ou provisoires et PNEC dans le sédiment et les eaux marines.
- Annexe II :** Résultats chimiques non normalisés des stations 132, E1, E2 et E3 situées dans le périmètre du PER GMH lors de la campagne ROCCHSED 2013.
- Annexe III :** Liste des substances recherchées dans le sédiment et l'eau de mer dans le cadre de l'étude SCOOTER.
- Annexe IV :** Résultats chimiques non normalisés et normalisés dans le sédiment lors de l'étude SCOOTER.
- Annexe V :** Résultats chimiques dans l'eau de mer pendant la phase I et la phase II de l'étude SCOOTER.
- Annexe VI :** Modélisation hydrodynamique du panache turbide

# Annexe I : Synthèse des critères OSPAR et seuils DCE validés ou provisoires et PNEC dans le sédiment et les eaux marines.

## I-A – Dans le sédiment

Sustances	Unités	Critères OSPAR (avec normalisation)					PNEC sédiment	Source	
		BC	LC	BAC	EAC	ERL			
Argent	mg/kg ps								
Arsenic	mg/kg ps	15		25	1 - 10 (p)			OSPAR (1997-15-1) pour EAC et OSPAR (2005-6)	
Cadmium	mg/kg ps	0,2		0,31	0,60 *	1,2	2,3	OSPAR (631/2014), OSPAR (461/2009), et AESN (2008)	
Chrome	mg/kg ps	60		81	10 - 100 (p)	81		OSPAR (1997-15-1) pour EAC et OSPAR (2005-6)	
Cobalt	mg/kg ps	Fourchette 7 - 23							
Cuivre	mg/kg ps	20		27	5 - 50 (p)	34	0,8	OSPAR (1997-15-1) pour EAC, OSPAR (2005-6), et Fiche INERIS	
Lithium	mg/kg ps	Fourchette 22 - 44							
Mercure	mg/kg ps	0,05		0,07	0,22 *	0,15	1,1 (o) / 9,3 (i)	OSPAR (631/2014), OSPAR (461/2009), et Fiche INERIS	
Nickel	mg/kg ps	30		36	5 - 50 (p)	---	4	OSPAR (1997-15-1) pour EAC, OSPAR (2005-6), et Fiche INERIS	
Plomb	mg/kg ps	25		38	2,2 *		6,8	OSPAR (631/2014), OSPAR (461/2009), et Fiche INERIS	
Vanadium	mg/kg ps	Fourchette 60 - 110						23,6	OSPAR (2005-6) et Fiche INERIS
Zinc	mg/kg ps	90		122	50 - 500 (p)	150	37	OSPAR (1997-15-1) pour EAC, OSPAR (2005-6), et Fiche INERIS	
Monobutylétain (MBT)									
Dibutylétain (DBT)									
Tributylétain (TBT)	µg/kg ps				0,005 - 0,05 (p)		0,0046	OSPAR, 1997-15-1 et Fiche INERIS	
Nonylphénol (isomères)	µg/kg ps						39	Fiche INERIS	
4-tert-butylphénol									
4-tert-octylphénol									
4-n-octylphénol									
4-para-nonylphénol									
Octylphénol									
4-n-nonylphénol									
OP1OE									
OP2OE									
NP1OE									
NP2OE									
Diéthylhexylphtalate (DEHP)	µg/kg ps						100000	Fiche INERIS	
Chloroalcanes C10-C13	µg/kg ps						880	Fiche INERIS	
BDE 28									
BDE 47									
BDE 77									
BDE 99									
BDE 100									
BDE 153									
BDE 154									
BDE 181									
BDE 209									
γ-HCH (Lindane)	µg/kg ps	0,0	0,05		3,0 (p)		0,43	OSPAR, 2014-631 et Fiche INERIS	
PCB 28	µg/kg ps	0,0	0,05	0,22	1,7			OSPAR (461/2009)	
PCB 52	µg/kg ps	0,0	0,05	0,12	2,7			OSPAR (461/2009)	
PCB 101	µg/kg ps	0,0	0,05	0,14	3,0			OSPAR (461/2009)	
PCB 118	µg/kg ps	0,0	0,05	0,17	0,6			OSPAR (461/2009)	
PCB 138	µg/kg ps	0,0	0,05	0,15	7,9			OSPAR (461/2009)	
PCB 153	µg/kg ps	0,0	0,05	0,19	40			OSPAR (461/2009)	
PCB 180	µg/kg ps	0,0	0,05	0,10	12			OSPAR (461/2009)	
Somme 7 PCB	µg/kg ps	0,0	0,20	0,46		11,5		OSPAR (461/2009)	
PCB 105									
PCB 156									
Acénaphène	µg/kg ps	12 (p)					44,4	OSPAR (2005-6) et Fiche INERIS	
Acénaphylène	µg/kg ps	8 (p)						OSPAR (2005-6)	
Anthracène	µg/kg ps	3		5	78	85	81,1	OSPAR (461/2009) et Fiche INERIS	
Benzo(a)anthracène	µg/kg ps	9		16	1,5	261		OSPAR (461/2009)	
Benzo(b)fluoranthène	µg/kg ps	Σ 272 (p)						1800	OSPAR (2005-6) et Fiche INERIS
Benzo(k)fluoranthène	µg/kg ps								
Benzo(g,h,i)pérylène	µg/kg ps	45		80	2,1	85		OSPAR (461/2009)	
Benzo(a)pyrène	µg/kg ps	15		30	625	430	543	OSPAR (461/2009) et Fiche INERIS	
Chrysène	µg/kg ps	11		20		384		OSPAR (461/2009)	
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/kg ps	16 (p)						OSPAR (2005-6)	
Fluoranthène	µg/kg ps	20		39	250	600	129-37700	OSPAR (461/2009) et Fiche INERIS	
Fluorène	µg/kg ps	29 (p)					48,2	OSPAR (2005-6) et Fiche INERIS	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	µg/kg ps	50		103	1,5	240		OSPAR (461/2009)	
Naphtalène	µg/kg ps	5		8	43	160	53	OSPAR (461/2009) et Fiche INERIS	
Phénanthrène	µg/kg ps	17		32	1250	240		OSPAR (461/2009)	
Pyrène	µg/kg ps	13		24	350	665		OSPAR (461/2009)	

\* Normalisé à 1% COT

(i) phase inorganique (o) phase organique

## I-B – Dans l'eau de mer

Sustances	Unités	Seuils DCE			Critère OSPAR EAC provisoire	PNEC eaux marines	Source
		NQE-MA	NQE-CMA	NQEp			
Argent	µg/L			BFG + 0,05			Circulaire 2007-23
Arsenic	µg/L			BFG + 4,2	1-10 (f)	2,5	Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Cadmium	µg/L	0,2	1,5		0,01 - 0,1 (f)	0,2	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Chrome	µg/L			BFG + 3,4	1 - 10 (f)	3	Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Cobalt	µg/L			BFG + 0,3			Circulaire 2007-23
Cuivre	µg/L			BFG + 1,4	0,005 - 0,05 (f)	0,8	Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Lithium	µg/L						
Mercure	µg/L		0,07		0,005 - 0,05 (f)	0,036	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Nickel	µg/L	8,6	34		0,1 - 1 (p)	0,5	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Plomb	µg/L	1,3	14		0,5 - 5 (f)	5,4	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Vanadium	µg/L			BFG + 0,8		0,41	Circulaire 2007-23, Fiche INERIS
Zinc	µg/L			BFG + 3,1	0,5 - 5 (f)		Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Monobutylétain (MBT)	µg/L						
Dibutylétain (DBT)	µg/L						
Tributylétain (TBT)	µg/L	0,0002	0,0015		0,00001 - 0,0001 (f)		Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Nonylphénol (isomères)	µg/L	0,3	2			0,17 (CT), 0,039 (LT)	Directive 2013/39/UE, Fiche INERIS
4-tert-butylphénol	µg/L						
4-tert-octylphénol	µg/L						
4-n-octylphénol	µg/L						
4-para-nonylphénol	µg/L						
Octylphénol	µg/L	0,01					Directive 2013/39/UE
4-n-nonylphénol	µg/L						
OP10E	µg/L						
OP20E	µg/L						
NP10E	µg/L						
NP20E	µg/L						
Diéthylhexylphtalate (DEHP)	µg/L	1,3					Directive 2013/39/UE
Dichlorométhane	µg/L	20				1650	Directive 2013/39/UE, Fiche INERIS
Chloroalcanes C10-C13	µg/L	0,4	1,4				Directive 2013/39/UE
BDE 28	µg/L						
BDE 47	µg/L						
BDE 77	µg/L						
BDE 99	µg/L						
BDE 100	µg/L		Σ 0,014				Directive 2013/39/UE
BDE 153	µg/L						
BDE 154	µg/L						
BDE 181	µg/L						
BDE 209	µg/L						
γ-HCH (Lindane)	µg/L	0,002	0,02		0,0005 - 0,005 (f)	0,002	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Endosulfan alpha	µg/L	0,0005	0,004			0,0005	Directive 2013/39/UE, Fiche INERIS
Endosulfan beta	µg/L						
Endosulfan sulfate	µg/L						
PCB 28	µg/L						
PCB 52	µg/L						
PCB 101	µg/L						
PCB 118	µg/L						
PCB 138	µg/L						
PCB 153	µg/L						
PCB 180	µg/L						
Somme 7 PCB	µg/L						
PCB 105	µg/L						
PCB 156	µg/L						
PCB totaux (dont PCT)	µg/L			0,001			Circulaire 2007-23
Acénaphthène	µg/L			0,7			Circulaire 2007-23
Acénaphthylène	µg/L			0,4			Circulaire 2007-23
Anthracène	µg/L	0,1	0,1		0,001 - 0,01 (p)		Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Benzo(a)anthracène	µg/L			0,005			Circulaire 2007-23
Benzo(b)fluoranthène	µg/L		0,017				Directive 2013/39/UE
Benzo(k)fluoranthène	µg/L		0,017				Directive 2013/39/UE
Benzo(g,h,i)pérylène	µg/L		0,00082				Directive 2013/39/UE
Benzo(a)pyrène	µg/L	0,00017	0,027		0,01 - 0,1 (p)		Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Chrysène	µg/L			0,006			Circulaire 2007-23
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/L			0,00006			Circulaire 2007-23
Fluoranthène	µg/L	0,0063	0,12		0,01 - 0,1 (p)		Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Fluorène	µg/L			0,3			Circulaire 2007-23
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	µg/L						
Naphtalène	µg/L	2	130		5 - 50 (f)	8,0 (CT), 1,2 (LT)	Directive 2013/39/UE, OSPAR (1997-15-1-Annex6), Fiche INERIS
Phénanthrène	µg/L			0,11	0,5 - 5 (p)		Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6)
Pyrène	µg/L			0,024	0,05 - 0,5 (p)		Circulaire 2007-23, OSPAR (1997-15-1-Annex6)

BFG = Bruit de fond géochimique f = fixe, p = provisoire CT = Court-Terme, LT = Long-Terme

## Annexe II : Résultats chimiques non normalisés des stations 132, E1, E2 et E3 situées dans le périmètre du PER GMH lors de la campagne ROCCHSED 2013.

### II-A - Paramètres généraux

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
Identifiant point Q2					010-P-062
Libellé point		PER GMH	PER GMH	PER GMH	Bouée Carosse
Latitude point		49°32,416 N	49°31,810 N	49°30,672 N	49°29,11 N
Longitude point		00°12,283 W	00°10,909 W	00°06,382 W	00°01,60 E
Matières sèches	%	73,7	75,1	77,6	57,9
fraction fine	% <63µm	10,03	11,35	2,36	69,16
Carbonates	gC/kg sec	53,5	55,3	28,4	34,6
CACO <sub>3</sub>	%	44,6	46,1	23,7	28,8
Carbone Organique	%	0,42	0,36	0,17	1,12
Al	%	1,06	1,08	0,83	2,55
Fe	%	0,53	0,57	0,72	1,49

### II-B - Métaux traces

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
Hg		0,043	0,039	<0,015	0,186
Li		13	10	8	24
V		17	19	20	42
Cr		13	15	15	47
Mn		149	151	202	244
Co	mg/kg poids sec	3,1	3,5	4,6	6,4
Ni		5,8	6,2	5,4	13,7
Cu		<2,5	<2,5	<2,5	14,1
Zn		24	23	35	77
Ag		0,20	0,20	0,11	1,11
Cd		0,08	0,08	0,05	0,33
Pb		11,9	12,6	16,8	30,7

### II-C – Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAP réglementés)

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
naphtalene	µg/kg poids sec	6,5	<2	<2	7,0
anthracene		3,1	2,8	<0,5	21,6
fluoranthene		12,6	8,7	<1	87,5
acenaphtylene		0,87	0,83	<0,5	5,2
acenaphtene		<0,5	<0,5	<0,5	3,4
fluorene		0,94	0,83	<0,5	6,5
phenanthrene		12,4	6,3	<0,5	45,9
benzoapyrene		13,3	12,1	7,8	76,2
benzantracene		7,6	7,3	<1	67,7
chrysene		9,7	8,4	1,4	67,1
pyrene		11,5	10,3	<1	88,2
dibenzanthracene		4,8	4,1	<2	23,8
benzo(b)fluoranthene		15,2	14,0	2,01	65,6
benzo(k)fluoranthene		14,1	13,0	1,69	61,6
indenopyrene		10,0	8,5	<2	53,1
benzoghiperylene		12,0	11,3	<2	63,8

## II-D – Polychlorobiphényles (PCBs) et PolyBromoDiphénylEthers (PBDEs)

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
CB 28	µg/kg poids sec	0,13	0,14	<0,1	0,65
CB 52		0,16	0,17	<0,1	1,4
CB 101		0,43	0,38	<0,1	2,3
CB 105		0,12	0,13	<0,1	0,63
CB 118		0,55	0,51	<0,1	2,6
CB 138		1,2	0,85	0,19	4,3
CB 153		1,2	1,0	0,21	4,7
CB 156		0,13	<0,1	<0,1	0,29
CB 180		0,51	0,27	<0,1	1,7
BDE 47	µg/kg poids sec	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
BDE 77		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
BDE 99		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
BDE 100		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
BDE 153		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
BDE 181		<2	<2	<2	<2
BDE 209		<25	<25	<25	<25

## II-E - Composés organo-stanniques

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
MBT	µg Sn/kg poids sec	<1	<1	<1	1,7
DBT		<0,8	<0,8	<0,8	1,8
TBT		<0,6	<0,6	<0,6	1,4

## II-F - Chlorobenzènes, Phénols, Phtlates et Chloro-alcanes

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
hexachlorobenzene	mg/kg poids sec	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pentachlorobenzene		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,2,4-trichlorobenzene		<2	<2	<2	3,6
hexachlorobutadiene		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
pentachlorophenol	mg/kg poids sec	0,55	<0,1	<0,1	0,19
nonylphenols isomères		<2	<2	<2	3,9
4-tert octylphenol		0,12	0,13	<0,1	0,25
4-n octylphenol		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
para-n-nonylphenol		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
dehp	mg/kg poids sec	52,3	28,6	<10	191,7
chloroalcane	mg/kg poids sec	<100	<100	<100	<100

## II-G - Composés volatils

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
Chloroforme	mg/kg poids sec	<5	<5	<5	<5
Benzène		<2	<2	<2	<2
1.2 Dichloroethane		<5	<5	<5	<5
Dichlorométhane		8,37	<5	10,56	45,36
CCl4		<2	<2	<2	<2
Tétrachloroéthylène		<1	<1	<1	<1
Trichloroéthylène		<1	<1	<1	<1

## II-H - Pesticides

N° station	unité	E1	E2	E3	13-132
atrazine	mg/kg poids sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
alachlore		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
chlorfenvinphos		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
chlorpyrifos ethyl		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
endosulfan sulfate		<1	<1	<1	<1
endosulfan alpha		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
endosulfan beta		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
alpha HCH		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Lindane		<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
simazine		<1	<1	<1	<1
trifluraline		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
pp'ddd		0,11	0,10	<0,1	0,22
pp'dde		<0,1	<0,1	<0,1	0,27
pp'ddt		<1	<1	<1	<1
Diuron		<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Isoproturon		<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
aldrine		mg/kg poids sec	<0,25	<0,25	<0,25
dieldrine	<0,5		<0,5	<0,5	<0,5
endrine	<0,25		<0,25	<0,25	<0,25
isodrine	<0,5		<0,5	<0,5	<0,5

## Annexe III : Liste des substances recherchées dans le sédiment et l'eau de mer dans le cadre de l'étude SCOOTER.

Substances	Code SANDRE	Sédiments	Eau brute	Eau filtrée	Substances	Code SANDRE	Sédiments	Eau brute	Eau filtrée
<b>PARAMETRES GENERAUX</b>					<b>HYDROCARBURES</b>				
Granulométrie		S			Chloroalcanes C10-C13	1955	X	EB	EF
Matières sèches		S			<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)</b>				
Carbonates		S	EB		Acénaphène	1453	X	EB	
Carbone organique total		S	EB		Acénaphthylène	1622	X	EB	
Hydrogencarbonates			EB		Anthracène	1458		EB	
Carbone organique dissous			EB		Benzo (a) anthracène	1082	X	EB	
Titre Hydrométrique TH			EB		Benzo (a) pyrène	1115	X	EB	
NK (Azote Kjeldahl)			EB		Benzo (b) fluoranthène	1116	X	EB	
Phosphore total			EB		Benzo (g,h,i) périlène	1118	X	EB	
Matière en suspension			EB		Benzo (k) fluoranthène	1117	X	EB	
<b>METAUX</b>					Chrysène	1476	X	EB	
Aluminium	1370	X			Dibenzo (a,h) anthracène	1621	X	EB	
Argent	1368	X	EB	EF	fluoranthène	1191	X	EB	
Arsenic	1369	X	EB	EF	fluorène	1623	X	EB	
Cadmium	1388	X	EB	EF	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	1204	X	EB	
Chrome	1389	X	EB	EF	naphtalène	1517	X	EB	
Cuivre	1392	X	EB	EF	phénanthrène	1524	X	EB	
Mercure	1387	X	EB	EF	pyrène	1537	X	EB	
Nickel	1386	X	EB	EF	<b>ORGANOETAIS</b>				
Plomb	1382	X	EB	EF	Dibutylétain (DBT)	1771	X	EB	EF
Vanadium	1384	X	EB	EF	Monobutylétain (MBT)	2542	X	EB	EF
Zinc	1383	X	EB	EF	Tributylétain (TBT)	2879	X	EB	EF
<b>ALKYLPHENOLS</b>					<b>PESTICIDES</b>				
Nonylphenol	1957	X	EB	EF	γ-HCH	1203	X	EB	
4-Nonylphénol	5474	X	EB	EF	<b>PHTALATES (DEHP)</b>				
4-nonylphenol diethoxylate	6369	X	EB	EF	Diéthylhexylphthalate (DEH)	6616	X	EB	EF
4-nonylphenol monoethoxylate	6366	X	EB	EF	<b>POLYCHLOROBIPHENYLS (PCB)</b>				
4-nonylphenols ramifiés	1958	X	EB	EF	PCB 28	1239	X	EB	
Octylphénols	2904	X	EB	EF	PCB 52	1241	X	EB	
4-tert-octylphénol	1959	X	EB	EF	PCB 101	1242	X	EB	
<b>DIPHENYLEETHERS BROMES (PBDE)</b>					PCB 105		X	EB	
BDE 28	2920	X	EB		PCB 118	1243	X	EB	
BDE 47	2919	X	EB		PCB 138	1244	X	EB	
BDE 99	2916	X	EB		PCB 153	1245	X	EB	
BDE 100	2915	X	EB		PCB 156		X	EB	
BDE 153	2912	X	EB		PCB 180	1246	X	EB	
BDE 154	2911	X	EB						
BDE 181		X	EB						
BDE 209		X	EB						
BDE 77		X	EB						

## Annexe IV : Résultats chimiques non normalisés et normalisés dans le sédiment lors de l'étude SCOOTER.

Station	Méthodes	COFRAC	LQ	Unités	SEDIMENT	NORMALISE
Latitude					49° 31,919 N	
Longitude					0° 11,675 O	
Date					22/09/2014	
Heure					17h30	
Hauteur d'eau			m		21,4	
Profondeur			m		fond	
<b>PARAMETRES GENERAUX</b>						
Carbone organique	NF ISO 14235	✓	0,1	% m/m	0,45%	
Matières sèches (105°C)	NF ISO 11465	✓	0,01	% m/m	78,8%	
Carbonates	NF ISO 10693 mod.		0,1	% CO3	35,5%	
Fraction inférieure à 2 mm	Tamissage	✓	0,1	%	65,8%	
Fraction inférieure à 63 µm	NF ISO 13320-1	✓	0,01	%	12,8%	
<b>METAUX</b>						
Aluminium	NF EN ISO 11885		0,005	%/sec	1,18%	
Argent	NF EN ISO 17294-2		0,1	mg/kg/sec	0,2	0,85
Arsenic	NF EN ISO 11885	✓	2	mg/kg/sec	8	33,9
Cadmium	NF EN ISO 11885	✓	1	mg/kg/sec	<	<
Chrome	NF EN ISO 11885	✓	2	mg/kg/sec	16	67,8
Cuivre	NF EN ISO 11885	✓	3	mg/kg/sec	5	21,2
Mercure	NF EN ISO 17852	✓	0,02	mg/kg/sec	0,08	0,34
Nickel	NF EN ISO 11885	✓	2	mg/kg/sec	6	25,4
Plomb	NF EN ISO 11885	✓	1	mg/kg/sec	14	59,3
Vanadium	NF EN ISO 11885	✓	2	mg/kg/sec	21	89,0
Zinc	NF EN ISO 11885	✓	5	mg/kg/sec	35	148,3
<b>ORGANOCHLORES ET APPARENTES</b>						
gamma-HCH (Lindane)	XP X 33-012	✓	1	µg/kg/sec	<	<
PCB 28	XP X 33-012	✓	0,2	µg/kg/sec	<	<
PCB 52	XP X 33-012	✓	0,2	µg/kg/sec	<	<
PCB 101	XP X 33-012	✓	0,2	µg/kg/sec	0,53	2,9
PCB 118	XP X 33-012	✓	0,1	µg/kg/sec	0,43	2,4
PCB 153	XP X 33-012	✓	0,1	µg/kg/sec	1,40	7,8
PCB 105	XP X 33-012	✓	0,1	µg/kg/sec	<	<
PCB 138	XP X 33-012	✓	0,1	µg/kg/sec	1,00	5,6
PCB 156	XP X 33-012	✓	1	µg/kg/sec	<	<
PCB 180	XP X 33-012	✓	0,1	µg/kg/sec	0,80	4,4
<b>ORGANOETAINS</b>						
Monobutylétain (MBT)	XP T 90-250 mod.	✓	2,0	µg Sn/kg/sec	<	<
Dibutylétain (DBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	2,0	µg Sn/kg/sec	<	<
Tributylétain (TBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	2,0	µg Sn/kg/sec	<	<
<b>PHENOLS ET DERIVES</b>						
Nonylphénol (mélange technique)	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
4-tert-butylphénol	GC/MS		100	µg/kg/sec	75,4	418,9
4-tert-octylphénol	GC/MS		10	µg/kg/sec	<	<
4-n-octylphénol	GC/MS		10	µg/kg/sec	<	<
4-para-nonylphénol	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
Octylphénol	GC/MS		50	µg/kg/sec	<	<
4-n-nonylphénol	GC/MS		10	µg/kg/sec	<	<
OP10E	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
OP20E	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
NP10E	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
NP20E	GC/MS		100	µg/kg/sec	<	<
<b>PHTALATES</b>						
Diéthylhexylphthalate (DEHP ou DOP)	GC/MS		100	µg/kg/sec	367	2038,9
<b>CHLOROALCANES</b>						
Chloroalcanes C10-C13	GC/MS-Clnégative		10	mg/kg/sec	<	<
<b>POLYBROMODIPHENYLETERS</b>						
BDE 28	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 47	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 77	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 99	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 100	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 153	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 154	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 181	GC/MS-Clnégative		1	µg/kg/sec	<	<
BDE 209	GC/MS-Clnégative		25	µg/kg/sec	<	<
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>						
Acénaphthène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	<	<
Acénaphthylène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	<	<
Anthracène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	4,01	22,3
Benzo(a)anthracène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	14,7	81,7
Benzo(b)fluoranthène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	16,1	89,4
Benzo(k)fluoranthène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	4,8	26,7
Benzo(g,h,i)pérylène	NF EN ISO 17993		5	µg/kg/sec	8,5	47,2
Benzo(a)pyrène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	6,8	37,8
Chrysène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	18,2	101,1
Dibenzo(a,h)anthracène	NF EN ISO 17993		5	µg/kg/sec	<	<
Fluoranthène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	15,2	84,4
Fluorène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	<	<
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	NF EN ISO 17993		5	µg/kg/sec	<	<
Naphtalène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	<	<
Phénanthrène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	10,3	57,2
Pyrène	NF EN ISO 17993		1	µg/kg/sec	13,4	74,4

# Annexe V : Résultats chimiques dans l'eau de mer pendant la phase I et la phase II de l'étude SCOOTER.

Station	Méthodes	COFRAC	LQ	Unités	P1S	P1M	P1F
Latitude					49° 31,79 N	49° 31,788 N	49° 31,791 N
Longitude					0° 11,63 O	0° 11,634 O	0° 11,516 O
Date					22/09/2014	22/09/2014	22/09/2014
Heure					17:50	18:20	19:00
Hauteur d'eau			m		21,8	21,8	22
Profondeur			m		1	10	20
					EB	EF	EB
					0,45 µm	0,45 µm	0,45 µm
<b>PARAMETRES GENERAUX</b>							
Matières en suspension	NF EN 872	✓	0,5	mg/L	6,8	10,8	7,2
Azote Kjeldahl	NF EN 25663		0,2	mg/L	0,61	0,46	0,51
Phosphore total	NF EN ISO 6878	✓	0,02	mg/L P	0,06	0,09	0,07
Carbonates	NF EN ISO 9963-1		2	mg/L	<	<	<
Carbone organique dissous (COD)	NF EN 1484	✓	0,5	mg/L	1,32	0,94	0,82
Carbone organique total (COT)	NF EN 1484	✓	0,5	mg(C)/L	2,26	2,06	1,97
T.H.T. (Dureté)	Flux séquentiel	✓	1	°F	583	618	552
Hydrogénocarbonates	Flux séquentiel	✓	12,2	mg/L	96,5	88,6	94,4
<b>METAUX</b>							
Argent	NF EN ISO 17294-2		0,1	µg/L	<	1,0	<
Arsenic	NF EN ISO 17294-2	✓	1	µg/L	2	2	1
Cadmium	NF EN ISO 17294-2	✓	0,1	µg/L	<	<	<
Chrome	NF EN ISO 17294-2	✓	1	µg/L	<	13,8	<
Cuivre	NF EN ISO 17294-2	✓	0,5	µg/L	0,6	1,3	0,6
Mercurure	NF EN ISO 17852	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Nickel	NF EN ISO 17294-2	✓	0,5	µg/L	<	<	<
Plomb	NF EN ISO 17294-2	✓	0,2	µg/L	<	<	0,2
Vanadium	NF EN ISO 17294-2	✓	0,5	µg/L	1,6	1,5	1,6
Zinc	NF EN ISO 17294-2	✓	5	µg/L	<	22	<
<b>ORGANOCHLORES ET APPARENTES</b>							
gamma-HCH (Lindane)	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 28	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 52	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	0,005	0,002
PCB 101	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 118	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 153	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 105	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 138	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 156	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
PCB 180	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<
<b>ORGANOETAINS</b>							
Monobutylétain (MBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<
Dibutylétain (DBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<
Tributylétain (TBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<
<b>PHENOLS ET DERIVES</b>							
Nonylphénol (mélange technique)	GC/MS		1	µg/L	<	<	<
4-tert-butylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	0,085	0,086	0,100
4-tert-octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<
4-n-octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<
4-para-nonylphénol	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<
Octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<
4-n-nonylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<
OP1OE	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<
OP2OE	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<
NP1OE	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<
NP2OE	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<
<b>PHTALATES</b>							
Diéthylhexylphthalate (DEHP ou DOP)	GC/MS		0,1	µg/L	0,11	0,12	0,37
<b>CHLOROALCANES</b>							
Chloroalcanes ClO-C13	GC/MS-Clnégative		10	µg/L	<	<	<
<b>POLYBROMODIPHENYLETERS</b>							
BDE 28	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 47	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 99	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 100	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 153	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 154	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 77	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 181	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<
BDE 209	GC/MS-Clnégative		0,1	µg/L	<	<	<
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>							
Acénaphthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	0,007
Acénaphthylène	NF EN ISO 17993	✓	0,1	µg/L	<	<	<
Anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Benzo(a)anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Benzo(b)fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Benzo(k)fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Benzo(g,h,i)pérylène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Benzo(a)pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Chrysène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Dibenzo(a,h)anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Fluorène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<
Naphtalène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<
Phénanthrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	0,006	<	0,005
Pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<

Valeur aberrante

# Annexes

Station	Méthodes	COFRAC	LQ	Unités	P2T0	P2T1	P2T2	P2T3	P2T4	
Latitude					49° 31,178 N	49° 31,713 N	49° 31,959 N	49° 32,171 N	49° 31,731 N	
Longitude					0° 10,869 O	0° 10,816 O	0° 11,313 O	0° 11,872 O	0° 11,274 O	
Date					23/09/2014	23/09/2014	23/09/2014	23/09/2014	23/09/2014	
Heure					09:55	10:25	11:05	12:05	14:00	
Hauteur d'eau				m	25,8	27,3	27,3	27,5	25,4	
Profondeur				m	1	1	1	1	1	
					EB EF					
					0,20 µm					
<b>PARAMETRES GENERAUX</b>										
Matières en suspension	NF EN 872	✓	0,5	mg/L	7,2	56,8	23,2	54,4	8,4	
Azote Kjeldahl	NF EN 25663		0,2	mg/L	0,65	0,89	0,57	0,62	0,57	
Phosphore total	NF EN ISO 6878	✓	0,02	mg/L P	0,05	0,12	0,06	0,10	0,06	
Carbonates	NF EN ISO 9963-1		2	mg/L	<	<	<	<	<	
Carbone organique dissous (COD)	NF EN 1484	✓	0,5	mg/L	0,90	0,91	0,92	0,98	1,21	
Carbone organique total (COT)	NF EN 1484	✓	0,5	mg(C)/L	2,34	2,07	2,08	2,21	2,18	
T.H.T. (Dureté)	Flux séquentiel	✓	1	°F	609	590	592	611	575	
Hydrogencarbonates	Flux séquentiel	✓	12,2	mg/L	93,1	98,8	83,6	87,1	88,9	
<b>METAUX</b>										
Argent	NF EN ISO 17294-2		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
Arsenic	NF EN ISO 17294-2	✓	1	µg/L	2	2	2	1	2	
Cadmium	NF EN ISO 17294-2	✓	0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
Chrome	NF EN ISO 17294-2	✓	1	µg/L	<	<	1,1	<	<	
Cuivre	NF EN ISO 17294-2	✓	0,5	µg/L	0,80	0,80	3,2	1,8	0,5	
Mercurure	NF EN ISO 17852	✓	0,005	µg/L	<	<	0,006	<	0,011	
Nickel	NF EN ISO 17294-2	✓	0,5	µg/L	0,6	1,1	0,9	1,3	0,7	
Plomb	NF EN ISO 17294-2	✓	0,2	µg/L	<	<	1,5	<	0,4	
Vanadium	NF EN ISO 17294-2		0,5	µg/L	1,8	1,8	3,3	1,9	2	
Zinc	NF EN ISO 17294-2	✓	5	µg/L	<	<	6	<	<	
<b>ORGANOCHLORES ET APPARENTES</b>										
gamma-HCH (Lindane)	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 28	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 52	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 101	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 118	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 153	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 105	NF EN ISO 6468		0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 138	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 156	NF EN ISO 6468		0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
PCB 180	NF EN ISO 6468	✓	0,001	µg/L	<	<	<	<	<	
<b>ORGANOETAINS</b>										
Monobutylétain (MBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<	<	<	
Dibutylétain (DBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<	<	<	
Tributylétain (TBT)	NF EN ISO 17353 mod.	✓	0,002	µg Sn/L	<	<	<	<	<	
<b>PHENOLS ET DERIVES</b>										
Nonylphénol (mélange technique)	GC/MS		1	µg/L	<	<	<	<	<	
4-tert-butylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	0,016	<	0,017	<	
4-tert-octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<	0,031	0,065	
4-n-octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<	<	0,036	
4-para-nonylphénol	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	0,18	<	0,12	
Octylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
4-n-nonylphénol	GC/MS		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
OP10E	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
OP20E	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
NP10E	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
NP20E	GC/MS		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
<b>PHTALATES</b>										
Diéthylhexylphtalate (DEHP ou DOP)	GC/MS		0,1	µg/L	0,29	0,12	0,23	0,11	0,16	
					0,11	0,16	0,11	<	<	
					<	<	<	<	0,21	
					<	<	<	<	0,12	
<b>CHLOROALCANES</b>										
Chloroalcanes C10-C13	GC/MS-Clnégative		10	µg/L	<	<	<	<	<	
<b>POLYBROMODIPHENYLETERS</b>										
BDE 28	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 47	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 99	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 100	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 153	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 154	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 77	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 181	GC/MS-Clnégative		0,01	µg/L	<	<	<	<	<	
BDE 209	GC/MS-Clnégative		0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>										
Acénaphène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Acénaphthylène	NF EN ISO 17993	✓	0,1	µg/L	<	<	<	<	<	
Anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Benzo(a)anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Benzo(b)fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Benzo(k)fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Benzo(g,h,i)peryène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Benzo(a)pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Chrysène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Dibenzo(a,h)anthracène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Fluoranthène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Fluorène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<	<	<	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Naphtalène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<	<	<	
Phénanthrène	NF EN ISO 17993	✓	0,005	µg/L	<	<	<	<	<	
Pyrène	NF EN ISO 17993	✓	0,02	µg/L	<	<	<	<	<	

Valeur aberrante

## Annexe VI : Modélisation hydrodynamique du panache turbide.

### Introduction

La modélisation hydrodynamique est un outil très pertinent communément utilisé en matière d'aide à la décision et en gestion de la bande littorale. Elle permet de produire une information / un diagnostic spatialisé(e). Des scénarios réalistes, schématiques voire prédictifs peuvent être simulés.

L'objectif de cette phase du projet SCOOTER, était d'évaluer schématiquement le devenir du panache turbide engendré par l'extraction expérimentale de granulat dans la Zone Ouest du PER-GMH à l'aide d'un modèle hydrodynamique 3D.

### Matériel et Méthodes

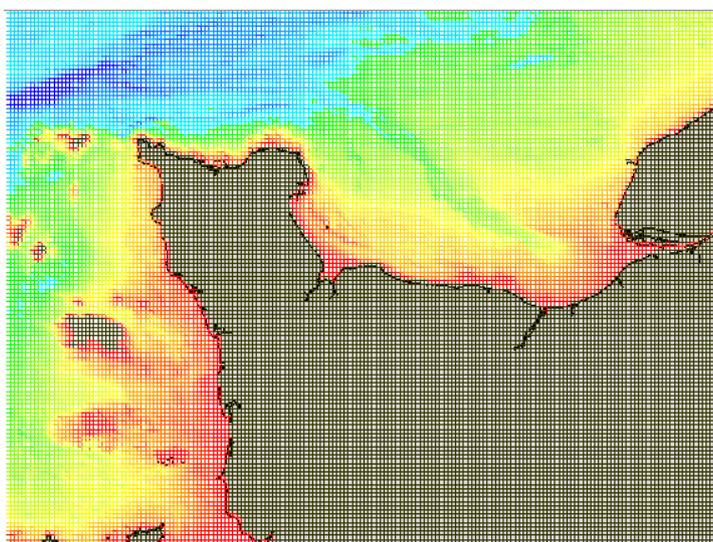
#### Description du modèle

Un modèle hydrodynamique est un programme informatique qui résout selon certaines conditions et approximations l'équation de la mécanique des fluides :

$$\vec{F} = m\vec{\gamma}$$

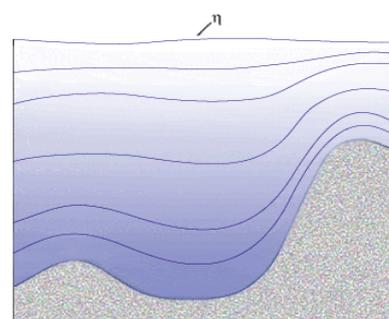
Avec F = force, m = masse,  $\gamma$  = accélération

Pour ce faire, cette équation est discrétisée (découpage dans le temps et dans l'espace) et des calculs sont réalisés pour chaque pas de temps et chaque pas géographique. L'emprise géographique du modèle est ainsi découpée et au sein de chaque maille est effectué un calcul de courant (U, V et Z), de hauteur d'eau et de dispersion d'un traceur potentiel. Pour réaliser ce calcul, des informations sont nécessaires, en l'occurrence, la bathymétrie, la marée, les conditions météorologiques et enfin les apports issus des bassins versants.



**Figure 1 :** Emprise géographique du modèle NORM.

**Figure 2 :** Coupe schématique et principe des niveaux bathymétriques



A partir du code MARS3D (Lazure et Dumas, 2008<sup>1</sup>), un modèle hydrodynamique NORM, dont l'emprise géographique est représentée sur la Figure 1, a été utilisé. La dimension (en mètre) des mailles est de 200x200, la résolution horizontale est de 1100x900 mailles, et la résolution verticale est de 10 niveaux (Figure 2).

Le modèle a par ailleurs été validé par comparaison avec des mesures in situ de courant (courantomètre ADCP Doppler), de dessalure (bouée SMATCH) et de trajectoire (bouée iridium) (Figure 3)<sup>2</sup>.



Figure 3 : Courantomètre Doppler point fixe (à gauche), bouée SMATCH (au centre), et bouée iridium (à droite).

### Scénarios réalisés et conditions de simulation

Dans le cadre de cette étude, trois scénarios ont été modélisés. Les deux premiers sont des simulations réalistes du panache turbide engendré par les opérations expérimentales du 23/09/14 de 08:05 à 10:50 (S1) et de 13:40 à 15:30 (S2) (en TU). Le troisième scénario est une simulation de la situation S2 mais avec un vent force 7 afin de tester l'impact potentiel de cette condition environnementale. Par ailleurs, les rejets issus des bassins versants ont été pris en compte. Pour chacun des trois scénarios, le comportement de deux types de particule a été simulé, celles-ci ayant des vitesses de chutes différentes. Il s'agit de sable (0,03 m/s) et vase (0,003 m/s) (vitesses de chute fournies par les travaux de Lemoine et al (2014)<sup>3</sup>).

Sur la zone d'extraction, les particules sont lâchées selon un seul transect NW-SE (Figure 4).

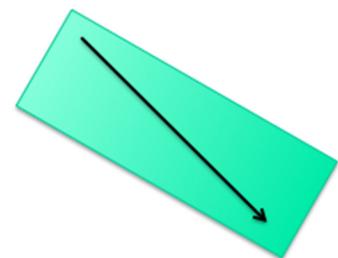


Figure 4 : Processus de largage.

L'ensemble des informations est repris dans le tableau suivant :

Scénarios	Périodes (jour et heure TU)	Vents	Types de particules
S1	23/09/14 08:05 - 10:50	Réaliste de septembre	Fines et sables
S2	23/09/14 13:40 - 15:30	Réaliste de septembre	Fines et sables
S3	23/09/14 08:05 - 10:50	Force 7	Fines et sables

Enfin, la charge particulaire arrivant au fond disparaît ce qui ne permet pas de tester de potentiel effet d'accumulation et de remise en suspension en fonction des courants.

<sup>1</sup> Lazure P. et Dumas F., 2008. An external-internal mode coupling for 3D hydrodynamical model for applications at regional scale MARS. *Adv. Wat. Res.* 31, 233-250.

<sup>2</sup> Le Gendre R., Morin J., Maheux F., Fournier F., Simon B., Cochard M-L., Pierre-Duplessix O., Dumas F., Harmel B., Paul C. et Riou P., 2014. DILEMES – Dispersion Larvaire de *Mytilus edulis* en baie de seine. *Rapport final Ifremer*, 75 p.

<sup>3</sup> Lemoine M. et Lafite R., 2014. Caractéristiques et dynamique du panache turbide dues à l'extraction de granulats marins. *Note technique*, 28p.

## Principaux résultats

La direction des courants de marée en baie de Seine est orientée principalement W/SW au moment du flot (Figure 5 a, b, c, d), et N/NE au moment du jusant (Figure 5 e, f, g, h). Les cartes de la Figure 5 permettent de constater que :

- les scénarios S1 et S2 se sont déroulés à deux moments différents de la marée, S1 au flot et S2 au jusant ;
- durant les scénarios S1 et S2, la colonne d'eau reste homogène avec des courants proches en intensité et en direction entre la surface et le fond. En fin d'extraction S1, on note un début de renversement des courants de marée.

Sur les planches de la Figure 6, la forme et l'extension des panaches turbides des deux types de particules sont proches pour un même scénario, mais sont par contre différentes en les comparant entre les scénarios S1 et S2. Les courants de marée (intensité et direction), différents lors des deux opérations, ont structuré l'orientation du panache. En effet, concernant le scénario S1 (Figure 6a et b), le panache est orienté SW/NE, alors que dans le scénario S2 (Figure 6c et d), le panache est orienté E/W. Ces résultats sont en adéquation avec les observations *in situ* réalisées lors des travaux de Lemoine et Lafite (2014). Par ailleurs, les figures 6e et 6f permettent de constater que le vent a très peu d'impact sur le panache turbide des deux types de particules simulés. On remarque simplement une très légère différence dans les taux de dilution entre les deux situations.

Enfin, afin de mieux discriminer l'extension du panache turbide, une analyse supplémentaire a été réalisée. En effet, la Figure 7 présente l'évolution d'une coupe transversale opérée dans le panache correspondant au scénario S3, considéré comme le plus pénalisant. Cette figure montre très clairement que les particules tombent rapidement au fond. Ce résultat rejoint les éléments apportés par Lemoine et Lafite (2014) avec un temps de chute calculé allant de 11 à 110 minutes en fonction de la taille des particules et avec une extension maximale estimée 3,3 km pour les particules les plus fines. Les résultats issus du modèle confirment cette hypothèse avec une zone d'impact de l'ordre de quelques kilomètres au maximum.

Au final, au vu des résultats des simulations ainsi que des données acquises *in situ*, il semblerait opportun de définir une zone de 3 km autour du site d'extraction en périphérie de laquelle des points de référence pourraient être disposés pour le suivi de l'impact potentiel du panache turbide.

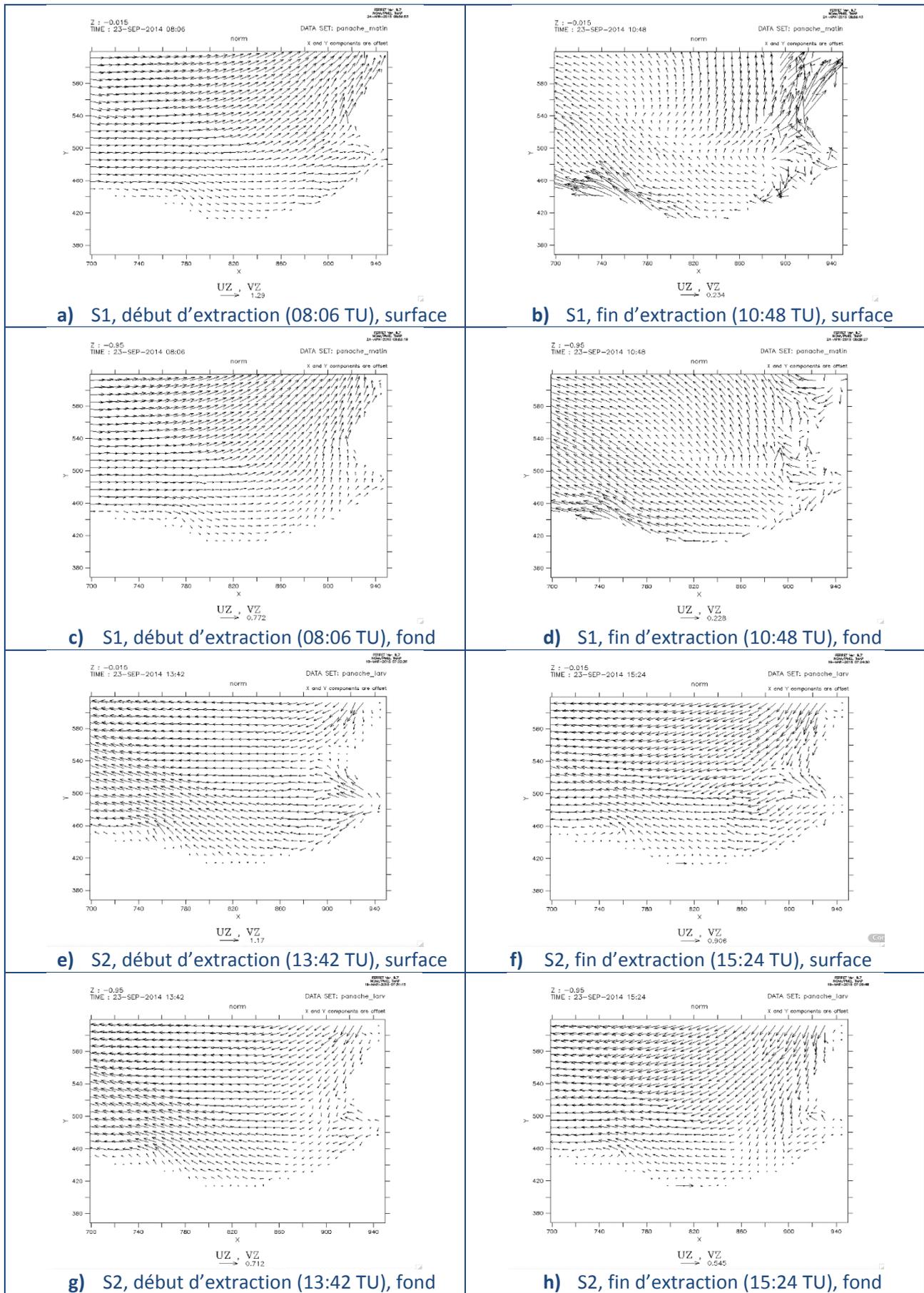


Figure 5 : Représentation spatialisée des courants de marée en début et en fin d'extraction au fond et en surface.

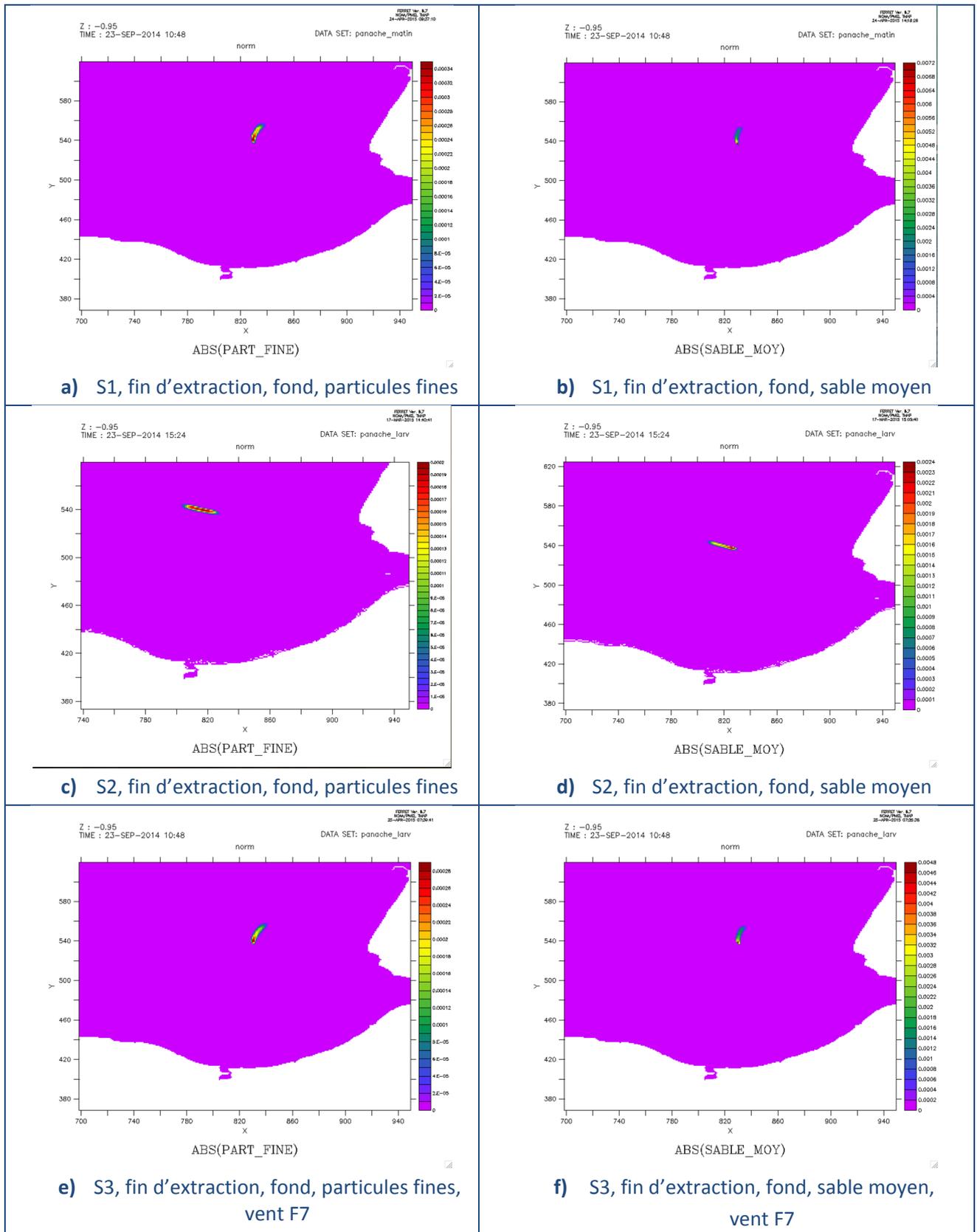


Figure 6 : Représentation spatialisée des panaches turbides en fin d'extraction et au fond.

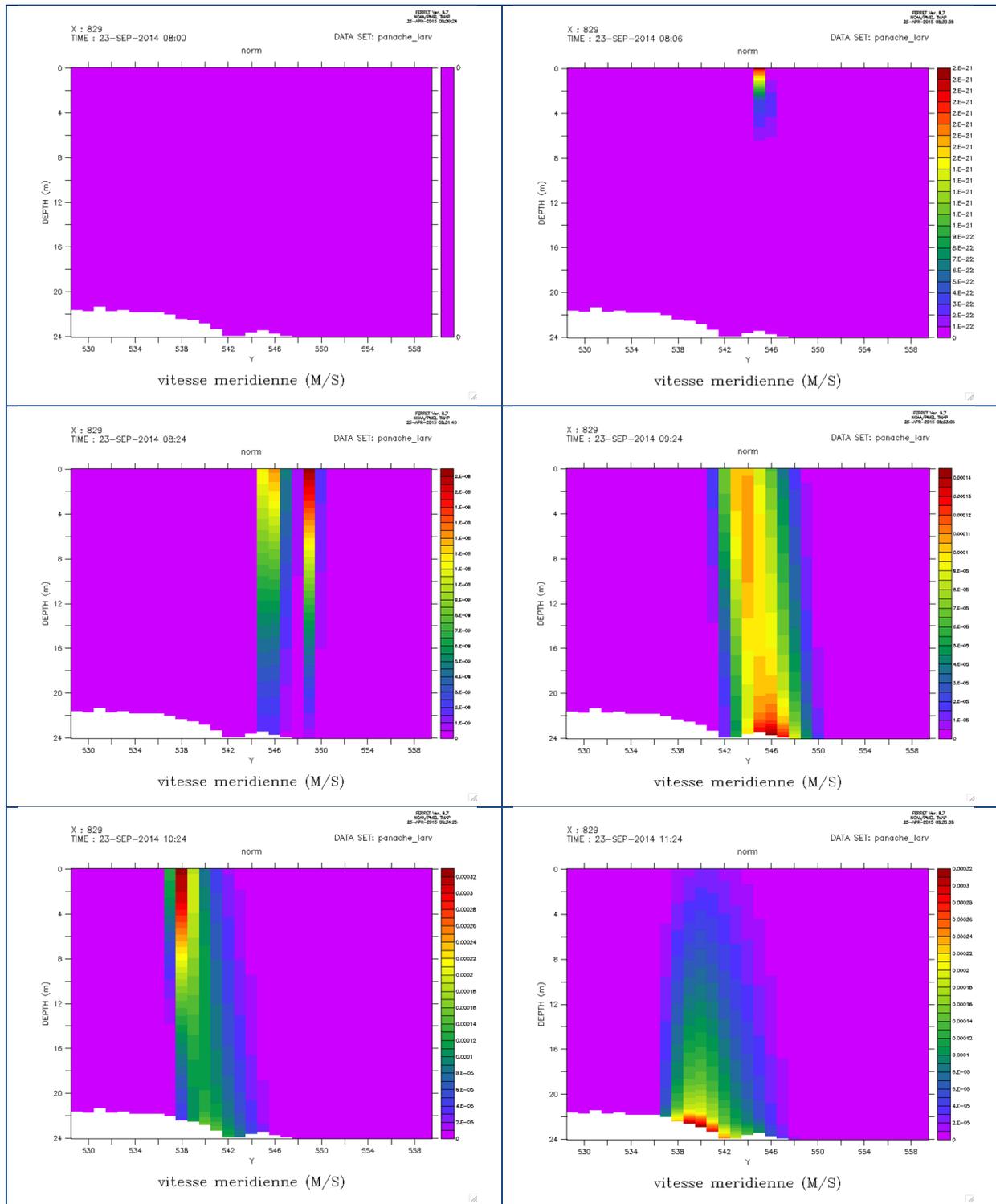


Figure 7 : Coupe schématique du panache à différents moments du scénario S3.