

Florence MENET-NEDELEC

Jean-François CHIFFOLEAU (RBE/BE)

Anne GROUHEL-PELLOUIN (RBE/BE)

Rapport Ifremer RST.ODE/UL/LERN 16-09

Décembre 2016

## Rapport de synthèse de la campagne d'évaluation de la qualité chimique des sédiments (ROCCHSED) 2013 du littoral du bassin Seine-Normandie







# SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES .....	5
LISTE DES TABLEAUX .....	6
<b>I. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>7</b>
<b>II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>9</b>
II.1 Stratégies d'échantillonnage .....	9
II.2 Analyses.....	10
II.3 Méthode d'interprétation des résultats .....	11
<b>III. CARACTERISATION DES SEDIMENTS .....</b>	<b>13</b>
III.1 Carbonates.....	13
III.2 Granulométrie.....	15
III.3 Matière organique .....	16
III.4 Evolution temporelle des sédiments.....	17
<b>IV. DISTRIBUTION SPATIALE DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE EN 2013 .....</b>	<b>18</b>
IV.1 Métaux .....	18
IV.2 Substances organiques.....	24
IV.3 Synthèse par secteur .....	28
IV.3.1 Ouest Cotentin (HC01, HT05, HC02, HC03).....	28
IV.3.2 Nord Cotentin (HC60, HC61) .....	28
IV.3.3 Est Cotentin (HC09).....	28
IV.3.4 Baie des Veys (HC10, HT06).....	29
IV.3.5 Calvados (HC11, 012, 013, HT04, HC14, HC15, 010).....	29
IV.3.6 Seine - Amont (HT01, HT02, HT07).....	30
IV.3.7 Seine - Estuaire (HT03) .....	30
IV.3.8 Seine - Panache (010) .....	30
IV.3.9 Nord-Est baie de Seine (010, 003).....	31
IV.3.10 Octeville - Antifer (010, HC16) .....	31
IV.3.11 Pays de Caux (HC17, 009, HC18) .....	32
IV.4 Synthèse globale.....	32
<b>V. EVOLUTION TEMPORELLE .....</b>	<b>35</b>
V.1 Métaux.....	35
V.1.1 Cadmium (Figure 16) .....	35
V.1.2 Mercure (Figure 17) .....	35
V.1.3 Plomb (Figure 18) .....	37
V.1.4 Zinc (Figure 19).....	38
V.1.5 Cuivre (Figure 20).....	39
V.2 Contaminants organiques .....	40
V.2.1 PCB <sub>i</sub> (Figure 21).....	40
V.2.2 Fluoranthène (Figure 22) .....	41
V.2.3 Benzo(a)pyrène (Figure 23).....	42
<b>VI. CONCLUSION .....</b>	<b>43</b>
BIBLIOGRAPHIE .....	47
ANNEXE : CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE ROCCHSED 2013. ....	48

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Localisation des stations échantillonnées lors des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013. ....	8
<b>Figure 2</b> : Carottier-boîte « petit Reineck » (à gauche), et prélèvement du centimètre supérieur du sédiment (à droite). 9	9
<b>Figure 3</b> : Distribution des concentrations en carbonate de calcium (%) dans les sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	14
<b>Figure 4</b> : Distribution de la fraction inférieure à 63 µm (%) (en haut) et des concentrations en aluminium (%) (en bas) des sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	15
<b>Figure 5</b> : Correlation entre la teneur en aluminium (%) et la fraction inférieure à 63 µm (%) lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	16
<b>Figure 6</b> : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (%) dans les sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	16
<b>Figure 7</b> : Correlation entre la teneur en carbone organique particulaire (%) et en aluminium (%) lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	17
<b>Figure 8</b> : Evolution temporelle de la distribution des particules fines (< 63 µm) dans la baie de Seine orientale lors des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013. ....	17
<b>Figure 9</b> : Correlations entre les concentrations en mercure (mg/kg poids sec) et la teneur en aluminium (%) (à gauche), et en carbone organique particulaire (%) (à droite) lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	19
<b>Figure 10</b> : Distribution des concentrations en Hg dans le sédiment normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir) (en haut), et à 5 % d'aluminium comparée aux critères d'OSPAR (en bas). ....	19
<b>Figure 11</b> : Distribution des concentrations en Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn normalisées à 5 % d'aluminium dans le sédiment, comparée aux critères d'OSPAR. ....	21
<b>Figure 12</b> : Distribution des concentrations en Ag, Co, Fe, Li, Mn et V normalisées à 5 % d'aluminium dans le sédiment, comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir). ....	23
<b>Figure 13</b> : Distribution des concentrations en benzo(a)pyrène, fluoranthène, CB 153 et CB 118 normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans le sédiment, comparée aux critères d'OSPAR, et en DEHP et 4-tert-octylphénol normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire, comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir). ....	27
<b>Figure 14</b> : Concentrations moyennes et écart-types en métaux (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) normalisées à 5 % d'aluminium (en haut) et en contaminants organiques (benzo(a)pyrène, fluoranthène, DEHP, CB 153 et 4-tert-octylphénol) et mercure normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans le sédiment des différents secteurs échantillonnés lors de la campagne ROCCHSED 2013. ....	33
<b>Figure 15</b> : Distribution des concentrations en métaux (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn) et en contaminants organiques (benzo(a)pyrène, fluoranthène, DEHP, CB 118, CB 153 et 4-tert-octylphénol) dans l'Est de la baie de Seine. ....	34
<b>Figure 16</b> : Evolution des concentrations en cadmium normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. ....	36
<b>Figure 17</b> : Evolution des concentrations en mercure normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. ....	36
<b>Figure 18</b> : Evolution des concentrations en plomb normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. ....	37
<b>Figure 19</b> : Evolution des concentrations en zinc normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. ....	38
<b>Figure 20</b> : Evolution des concentrations en cuivre normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. ....	39
<b>Figure 21</b> : Evolution des concentrations en PCB, (somme des congénères CB28, CB52, CB101, CB118, CB138, CB153 et CB180) normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire entre 1993 et 2013. ....	40
<b>Figure 22</b> : Evolution des concentrations en fluoranthène normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire entre 1993 et 2013. ....	41
<b>Figure 23</b> : Evolution des concentrations en benzo(a)pyrène normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire entre 1993 et 2013. ....	42
<b>Figure 24</b> : Carte de l'état chimique des sédiments en 2013 selon les critères OSPAR dans les masses d'eau côtières, de transition et des zones marines du littoral normand. ....	46

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Liste des substances prioritaires de la DCE définies dans la Directive 2000/60/CE recherchées dans les sédiments lors des campagnes ROCCHSED 2007-2009 et ROCCHSED 2013. ....	10
<b>Tableau 2:</b> Organisation des campagnes de surveillance de la qualité chimique des sédiments marins. ....	11
<b>Tableau 3:</b> Caractéristiques globales des sédiments de la campagne ROCCHSED 2013. ....	13
<b>Tableau 4:</b> Moyennes ( $\pm$ écarts-types) des concentrations (mg/kg poids sec) en métaux normalisées à 5 % d'aluminium dans les sédiments de la campagne ROCCHSED 2013. ....	18
<b>Tableau 5:</b> Synthèse du taux de quantification des substances organiques recherchées lors de la campagne ROCCHSED 2013 et secteurs concernés. ....	24
<b>Tableau 6:</b> Moyennes ( $\pm$ écarts-types) des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec) en contaminants organiques normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans les sédiments de la campagne ROCCHSED 2013. ....	25
<b>Tableau 7:</b> Tableau récapitulatif des évolutions significatives ( $p < 0,05$ ) en linéarité pour le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), la somme des 7 PCB indicateurs (PCB <sub>i</sub> ), le congénère CB153 et les HAP benzo(a)pyrène et fluoranthène aux stations historiques des campagnes de suivi des contaminants dans le sédiment. ....	44

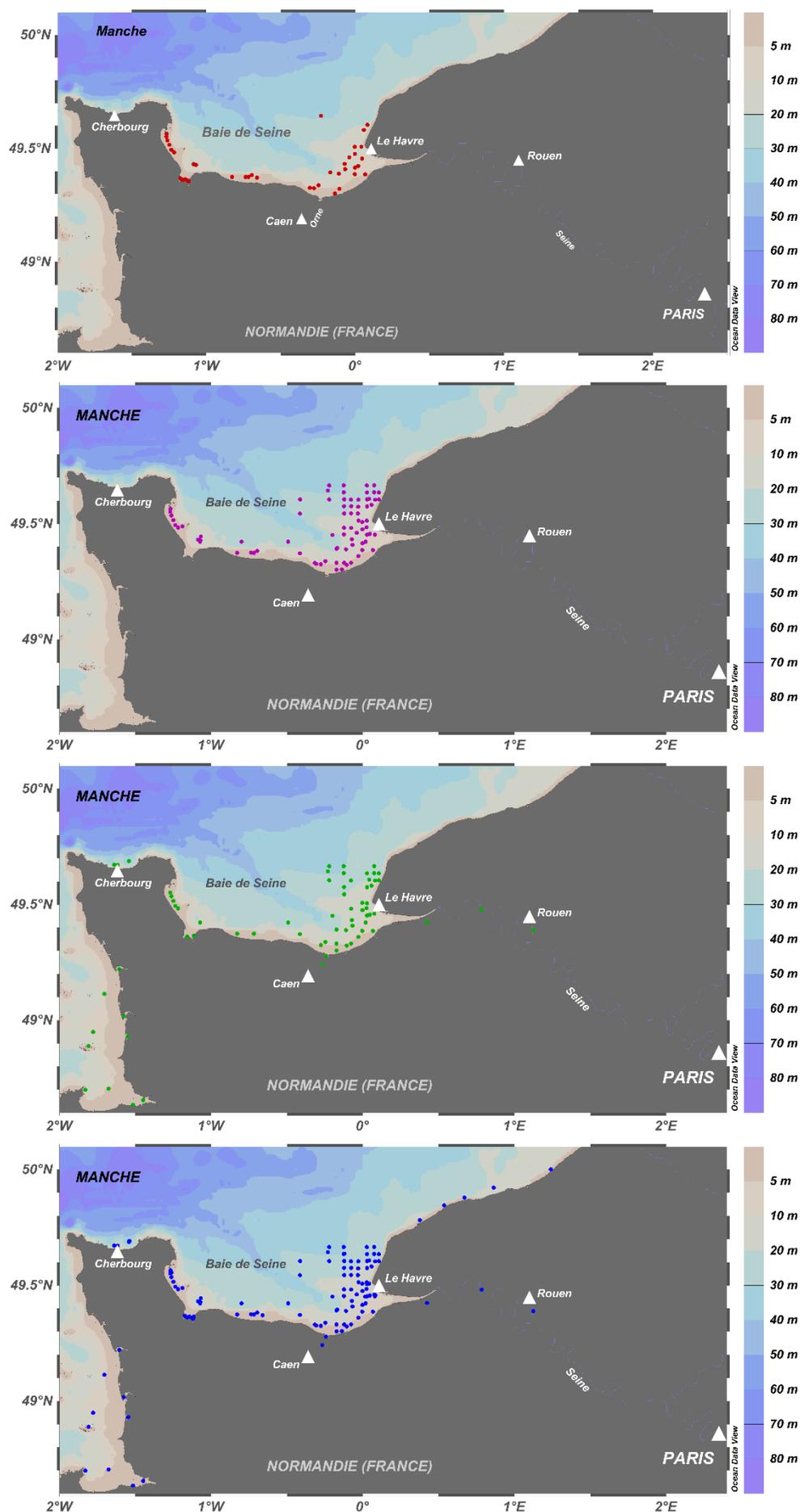
## I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral (ROCCH) a pour objectif de répondre aux obligations nationales, communautaires et internationales de surveillance chimique. La colonne vertébrale du ROCCH est l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE) et la réponse aux obligations de la Convention OSPAR (1992). Compte-tenu des difficultés de collecte d'échantillons valides pour des analyses de traces dans l'eau et de la faible représentativité spatiale et temporelle de ceux-ci, le ROCCH (ex-RNO, Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin) et la Convention OSPAR avaient basé la surveillance du milieu marin sur les matrices intégratrices (biote et sédiment).

La plupart des polluants chimiques sont facilement adsorbés sur les matières en suspension et ont par conséquent tendance à sédimenter. De ce fait, le sédiment de surface peut constituer un bon indicateur de pollution. Il a l'avantage d'être bien représenté dans le milieu marin côtier et estuarien. Son analyse permet généralement de bien situer les apports de pollution et de déterminer les tâches de dispersion. Mais à l'inverse de l'eau et des mollusques filtreurs, le sédiment ne peut prétendre constituer un indicateur immédiat de la pollution du milieu aquatique. Il représente un indicateur d'intégration de la pollution chimique sur plusieurs années. Son analyse ne peut permettre de suivre l'évolution de la qualité du milieu face aux apports chroniques à l'échelle annuelle, mais plus raisonnablement à l'échelle de la décennie. En outre, la contamination du sédiment peut constituer une source secondaire de pollution pour les organismes benthiques et pour le milieu en général par la remise en suspension du matériel sédimentaire pendant les tempêtes et les périodes de crues en zones estuariennes (RNO, 1988), et par les activités anthropiques (par exemple : clapages en mer).

En fonction des vitesses de sédimentation, des remises en suspension, de la bioturbation, etc., le premier centimètre superficiel des sédiments peut intégrer plusieurs années de contamination. Dans ces conditions, il n'est pas nécessaire de revenir tous les ans sur un même lieu. Jusqu'en 2006, une campagne était réalisée tous les dix ans. A partir de 2007, dans le cadre du ROCCH, la fréquence du suivi est passée à une fois tous les six ans, correspondant ainsi à un plan de gestion de la DCE. Les contaminants recherchés sont les mêmes que dans la matière vivante, accompagnés des paramètres descriptifs et normalisateurs propres à cette matrice, tels que la granulométrie, le carbone organique, les carbonates, l'aluminium, le fer, le lithium et le manganèse.

Une première campagne a été réalisée en 1993 dans le but d'acquérir des données récentes et fiables sur les concentrations des principaux contaminants dans le sédiment pour établir une évaluation réaliste de la qualité du littoral (RNO, 1995). La zone prospectée s'étendait de la côte Est de la presqu'île du Cotentin au cap d'Antifer (Figure 1). En 2001, des stations de l'Ouest et Nord Cotentin ont été échantillonnées lors d'une campagne sur le littoral Breton. La campagne mise en œuvre en 2003, soit dix ans plus tard, avait la même emprise géographique, avec cependant une augmentation du maillage de points en sortie de l'estuaire de la Seine et entre Le Havre et Antifer, sans prélèvements en baie des Veys (Figure 1). En 2007, des stations dans le nord de la Seine-Maritime (HC17 et HC18) ont été échantillonnées lors d'une campagne sur le littoral Picard. La campagne mise en œuvre en 2009, soit 6 ans plus tard, a permis de prélever des stations sur la côte Ouest du Cotentin dont 3 havres et la baie du Mont St-Michel, le nord Cotentin, et les estuaires de la baie de Veys, de l'Orne et en amont de la Seine, en sus des stations échantillonnées lors des précédentes campagnes dans la mesure du possible (Figure 1). Enfin, la campagne effectuée en 2013, soit 4 ans plus tard, a permis de prélever sur l'intégralité de la façade normande du Mont St-Michel à Dieppe, en répétant si possible les anciennes stations (Figure 1).



**Figure 1 :** Localisation des stations échantillonnées lors des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013.

Les sédiments ont une composition variable qui influe sur la teneur en contaminants pour une exposition donnée. Ainsi, parmi les facteurs naturels susceptibles de faire varier les concentrations en métaux traces d'un sédiment, la granulométrie est sans doute le plus important. Plus la taille des grains qui composent un sédiment est faible, plus sa surface par unité de masse est grande, et donc plus sa capacité à fixer les métaux présents dans le milieu est forte. D'autres facteurs comme la composition minéralogique interviennent également dans des proportions non négligeables. Ainsi, les minéraux argileux sont plus riches en métaux qu'un sable siliceux. Ceci est dû en grande partie à l'effet de la granulométrie qui donne à l'argile une surface d'échange beaucoup plus grande que celle du sable. Dans ces conditions, l'examen des concentrations brutes dans un sédiment est illusoire. L'utilisation d'un outil permettant de compenser au moins les variations de granulométrie s'avère donc nécessaire pour comparer les résultats obtenus sur des stations différentes. Plusieurs méthodes ont été développées pour atteindre cet objectif, qui devrait être limité à des sédiments ayant une origine commune. L'une des plus intéressantes consiste à étudier les variations des concentrations en métaux en fonction d'un paramètre indicateur de la granulométrie ou de toute autre propriété susceptible de les expliquer. La concentration en aluminium et en lithium, deux métaux qui, sous ces latitudes, sont étroitement associés aux argiles, trace à la fois la granulométrie, puisque les argiles sont des particules très fines, et la minéralogie du sédiment. Le carbone organique, en raison des fortes affinités qu'il présente pour les métaux traces est quelque fois utilisé, bien qu'il soit souvent d'origine anthropique. Tout ceci n'est cependant pas vrai pour le mercure, qui, à l'image des contaminants organiques, s'associe préférentiellement à la matière organique. Ainsi, si la relation entre le métal étudié et le paramètre explicatif est forte, ce paramètre peut être considéré comme explicatif de la plus grande partie des variations de concentration du métal sur la zone étudiée (RNO, 1995). Il est alors possible de comparer les concentrations en métaux ainsi « normalisées » avec des données de référence, comme des seuils. Il est donc important de cibler des stations d'échantillonnage présentant suffisamment de particules fines (si possible  $\geq 20\%$ ).

## II. MATERIEL ET METHODES

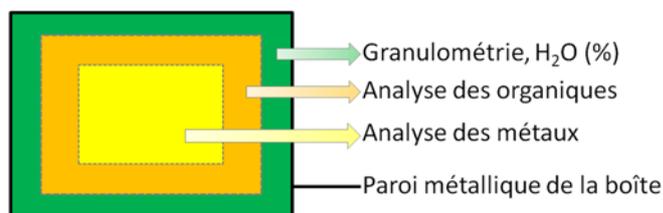
### II.1 Stratégies d'échantillonnage

Les prélèvements et échantillonnages ont été effectués selon la méthode Ifremer appliquée pour toutes les campagnes ROCCHSED (Claisse, 2007). Le plan d'échantillonnage a été orienté vers les zones les plus propices au dépôt de matériel fin, plus adapté à la surveillance des concentrations en éléments traces. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'un carottier boîte du type « petit Reineck » (**Figure 2**), qui présente l'avantage par rapport à la benne, de ne pas mélanger l'échantillon, ou à la spatule, lorsque ceux-ci sont réalisés à pied à basse mer.



**Figure 2** : Carottier-boîte « petit Reineck » (à gauche), et prélèvement du centimètre supérieur du sédiment (à droite).

Quelque soit la méthode de prélèvement, le centimètre supérieur du sédiment a été prélevé pour analyse (**Figure 2**). La partie externe des carottes, plus proche de la paroi en acier inoxydable, a été prélevée à l'aide d'une spatule en inox pour la granulométrie et la teneur en eau. Ces derniers échantillons ont été stockés à 4°C dans des piluliers en polystyrène. La partie centrale de l'horizon superficiel, destinée à l'analyse des métaux, a été prélevée avec une spatule en polyéthylène et stockée dans des piluliers en polystyrène préalablement rincés à l'acide. Les échantillons ont été congelés immédiatement, puis lyophilisés au laboratoire (RNO, 1995).



Le détail de la campagne d'échantillonnage en termes d'identification des stations et leur objectif (DCE, OSPAR, observatoire) est présenté dans l'Annexe.

## II.2 Analyses

Les analyses ont été effectuées sur les échantillons séchés par lyophilisation et tamisés à 2 mm afin d'éliminer les plus gros éléments pouvant introduire une hétérogénéité dans les résultats (RNO, 1995).

Pour toutes les campagnes, les paramètres de base pour l'interprétation de l'état chimique des sédiments ont été mesurés : teneur en eau, granulométrie, carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), carbone organique particulaire (COP), aluminium (Al), fer (Fe), lithium (Li).

Les substances recherchées dans les campagnes antérieures à la DCE (RNOSED 1993 et RNOSED 2003) incluaient les substances suivantes : polychlorobiphényles (PCB, congénères CB28, CB31, CB35, CB52, CB101, CB105, CB118, CB138, CB153, CB156, CB180), cadmium (Cd), cuivre (Cu), manganèse (Mn), mercure (Hg), plomb (Pb), zinc (Zn), DDDpp', DDEpp', DDTpp', hexachlorocyclohexane alpha (α-HCH), hexachlorocyclohexane gamma (γ-HCH, lindane), et les HAP (fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)peryène et indéno(1,2,3-cd)pyrène.

**Tableau 1:** Liste des substances prioritaires de la DCE définies dans la Directive 2000/60/CE recherchées dans les sédiments lors des campagnes ROCCHSED 2007-2009 et ROCCHSED 2013. Les substances surlignées en orange avaient aussi été recherchées lors des campagnes RNOSED 1993 et RNOSED 2003.

Catégories	Substances prioritaires	Substances dangereuses prioritaires
<b>Pesticides</b>	Alachlore ; Atrazine ; Chlorfenvinphos ; Chlorpyrifos ; Diuron ; Isoproturon ; Pentachlorophénol ; Simazine ; Trifluraline	Endosulfan ; Hexachlorobenzène ; <b>Hexachlorocyclohexane (Lindane)</b> ; Pentachlorobenzène
<b>Métaux lourds</b>	Nickel et ses composés ; <b>Plomb et ses composés</b>	<b>Cadmium et ses composés</b> ; <b>Mercure et ses composés</b>
<b>Polluants industriels</b>	Benzène ; Chloroforme ; 1,2-Dichloroéthane ; Dichlorométhane ; Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) ; <b>Fluoranthène</b> ; Naphtalène ; Octylphénol ; Trichlorobenzènes, Trichlorométhane	Anthracène ; C10-13-Chloroalcanes ; Diphényléthers bromés (BDE) ; Nonylphénol ; Composés du tributylétain (TBT) ; <b>Benzo(b)fluoranthène</b> , <b>Benzo(k)fluoranthène</b> , <b>Benzo(a)pyrène</b> , <b>Benzo(g,h,i)peryène</b> et <b>Indéno(1,2,3-cd)pyrène</b> (HAP) ; Hexachlorobutadiène
<b>Autres polluants</b>	DDT total ; <b>para-para-DDT</b> ; Pesticides cyclodiènes (Aldrine, Dieldrine, Endrine, Isodrine) ; Tetrachloroéthylène ; Trichloroéthylène ; Tetrachlorure de carbone	

Pour les campagnes ROCCHSED 2007-2009 et ROCCHSED 2013, les substances recherchées correspondaient à la liste des 41 substances prioritaires définies dans le cadre de la DCE dans la Directive 2000/60/CE, présentées dans le **Tableau 1**, ainsi que celles identifiées dans le cadre d'OSPAR.

L'organisation des analyses des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013 est décrite dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2:** Organisation des campagnes de surveillance de la qualité chimique des sédiments marins.

Ifremer/BE/LBCM = Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques de l'Unité Biogéochimie et Ecotoxicologie, Ifremer, Nantes. LABOCEA = Laboratoire public Conseil, Expertise et Analyse en Bretagne.

	Période	Nb stations	Analyses métaux	Analyses organiques
<b>RNOSED 1993</b>	Septembre	39	Laboratoire de Rouen	Laboratoire de Rouen
<b>RNOSED 2001/2003</b>	Juin	74	Ifremer/BE/LBCM	Laboratoire de Rouen
<b>ROCCHSED 2007/2009</b>	Juin-Juillet	70	Ifremer/BE/LBCM	Laboratoire de Rouen
<b>ROCCHSED 2013</b>	Juin-Juillet	73	Ifremer/BE/LBCM	LABOCEA

Dans tous les cas, toutes les garanties de qualité avaient été recherchées, de par l'accréditation par le Cofrac des laboratoires, et/ou l'analyse de matériaux de référence certifiés et la participation à des exercices de comparaisons inter-laboratoires internationaux.

## II.3 Méthode d'interprétation des résultats

L'interprétation des résultats des analyses chimiques dans le sédiment est ici 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.

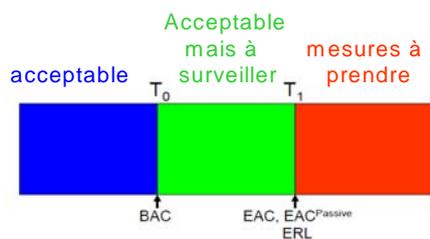
Afin d'utiliser cette grille, une normalisation des concentrations est nécessaire afin d'homogénéiser les résultats en fonction des propriétés du sédiment. Ainsi, les métaux sont normalisés à une teneur de 5 % d'aluminium, les organiques à une teneur de 2,5 % de Carbone Organique Particulaire (COP),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

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

La grille de lecture d'OSPAR utilise pour le sédiment 4 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 » ;
- **BC** (Background Concentration) : Concentration d'un contaminant dans un site « pristine » ou éloigné de tout apport, basé sur des données contemporaines ou historiques. La BC d'un contaminant de synthèse est égale à zéro.

Cette grille peut être schématisée de la façon suivante :



**Couleur Rouge ou Orange :** 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 car ceux-ci 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. De plus, 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 séries de données plus puissantes (OSPAR, 2014). 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.

Dans tous les cas où les critères d'OSPAR 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.

### III. CARACTERISATION DES SEDIMENTS

Puisque les niveaux en contaminants dans les sédiments sont dépendants de sa granulométrie et minéralogie, il est essentiel de débiter toute interprétation par une analyse des paramètres de base mesurés : le carbonate de calcium, l'aluminium et le carbone organique. Les caractéristiques globales des sédiments prélevés lors de la campagne ROCCHSED 2013 sont présentées dans le **Tableau 3**, et sont décrites dans les paragraphes suivants.

**Tableau 3:** Caractéristiques globales des sédiments de la campagne ROCCHSED 2013.

	<b>Masses d'eau DCE ou masses d'eau marines</b>	<b>Carbonate de calcium</b> (moyenne ± écart-type)	<b>Aluminium</b> (moyenne ± écart-type)	<b>Carbone organique</b> (moyenne ± écart-type)
<b>Ouest Cotentin</b>	HC01, HT05, HC02, HC03, 018	42,1 ± 15,5 %	2,1 ± 0,7 %	0,69 ± 0,33 %
<b>Nord Cotentin</b>	HC60, HC61	37,2 ± 4,3 %	2,0 ± 0,5 %	0,75 ± 0,54 %
<b>Est Cotentin</b>	HC09	32,5 ± 1,0 %	2,2 ± 0,5 %	0,87 ± 0,43 %
<b>Baie des Veys</b>	HC10, HT06	18,4 ± 4,8 %	1,7 ± 0,8 %	1,0 ± 1,0 %
<b>Calvados</b>	HC11, HT04, HC15, 013, 012, 010	35,5 ± 5,4 %	1,7 ± 0,8 %	0,7 ± 0,7 %
<b>Seine - Amont</b>	HT01, HT02, HT07	30,9 ± 2,1 %	2,8 ± 0,5 %	2,3 ± 0,9 %
<b>Seine - Estuaire</b>	HT03	22,4 ± 9,2 %	1,4 ± 0,6 %	0,59 ± 0,42 %
<b>Seine - Panache</b>	010	31,4 ± 7,5 %	1,6 ± 0,6 %	0,54 ± 0,33 %
<b>Nord-Est baie de Seine</b>	010	37,1 ± 6,1 %	1,0 ± 0,2 %	0,27 ± 0,07 %
<b>Octeville - Antifer</b>	010, HC16	18,9 ± 4,4 %	1,4 ± 0,4 %	0,42 ± 0,20 %
<b>Pays de Caux</b>	HC17, HC18	37,8 ± 5,1 %	0,9 ± 0,5 %	0,37 ± 0,23 %
	<b>MOYENNE ± ECART-TYPE</b>	<b>32,2 ± 10,4 %</b>	<b>1,7 ± 0,7 %</b>	<b>0,66 ± 0,58 %</b>

#### III.1 Carbonates

Le carbonate de calcium constitue une fraction parfois importante des particules sédimentaires. C'est particulièrement le cas pour les sédiments issus du Nord de la France. En effet, la baie de Seine orientale appartient géologiquement essentiellement au bassin Parisien monolithique, où le substrat rocheux est recouvert par plus de 97 % de roches sédimentaires composées à plus de 78 % de carbonates sous la forme de craie et de calcaire (Horowitz, 1999). Cette zone est délimitée à l'Est par les falaises de craie du Crétacée au niveau du Pays de Caux. Le carbonate de calcium ne possède pas la propriété de fixer les contaminants. Il agit donc comme un diluant des argiles, et il est souvent nécessaire d'en tenir compte dans les études de distribution et de comparaison des contaminants sédimentaires. Dans la région de la Baie de Seine, il peut atteindre 40 % de la composition des particules (**Figure 3**). Dans la suite de cette interprétation, il ne sera pas pris en compte du fait que qu'une normalisation à la granulométrie est déjà appliquée.

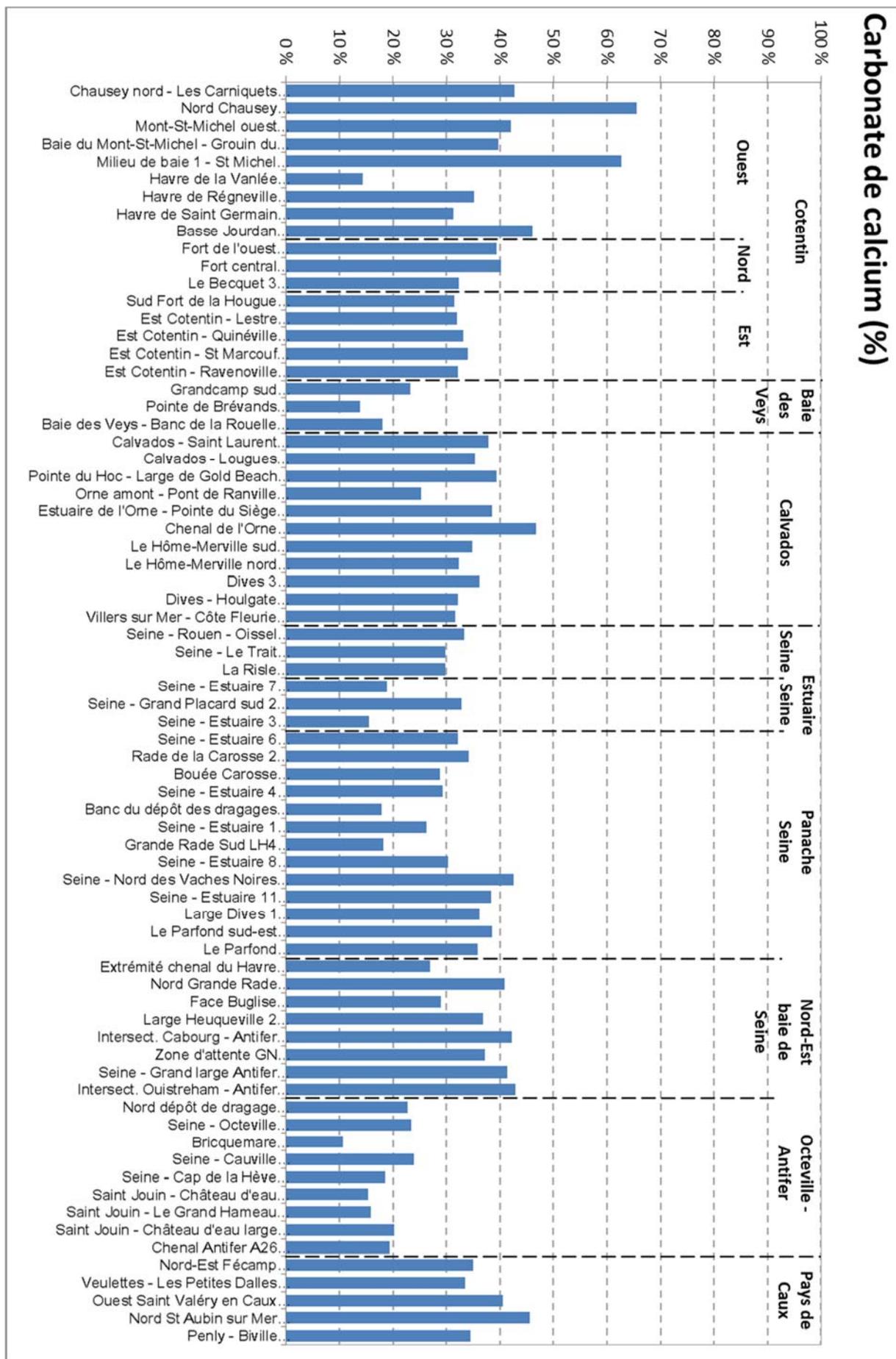
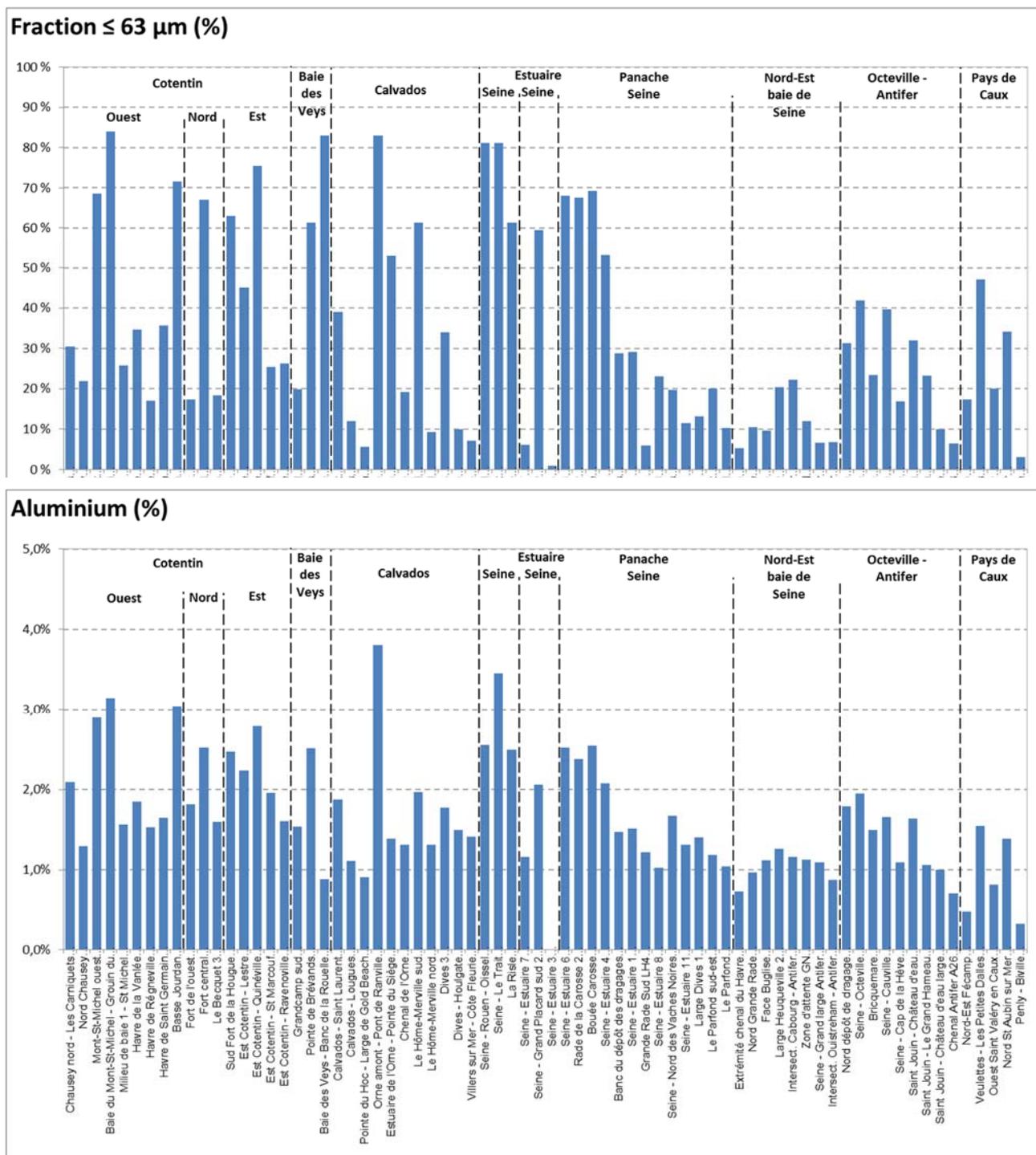


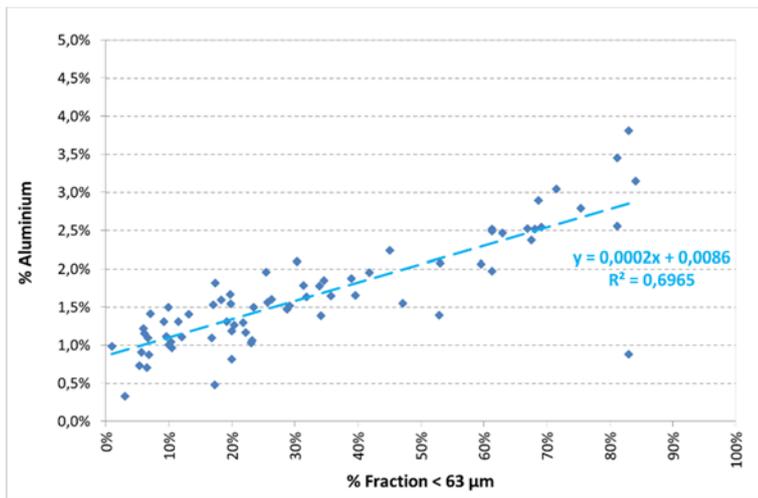
Figure 3 : Distribution des concentrations en carbonate de calcium (%) dans les sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013.

### III.2 Granulométrie

Elle peut être exprimée comme la répartition des particules par taille. Le sédiment prélevé est d'abord tamisé à 2 mm pour écarter de l'analyse les particules grossières (sables grossier, graviers, débris coquilliers...). Ensuite, il est caractérisé par sa teneur en particules fines, c'est-à-dire de taille inférieure à 63 µm (**Figure 4**). Toutefois, ce paramètre est difficile à interpréter car cette fraction peut être constituée de particules de différente nature (minérale, organique, ...), et un paramètre chimique est plus souvent utilisé : la teneur en aluminium, élément constitutif des argiles, qui est proportionnelle à la teneur en sédiments fins des particules. En effet, la teneur en aluminium (**Figure 4**) est significativement ( $p < 0,01$ ) corrélée à la teneur en fraction fine comme le montre la **Figure 5**.



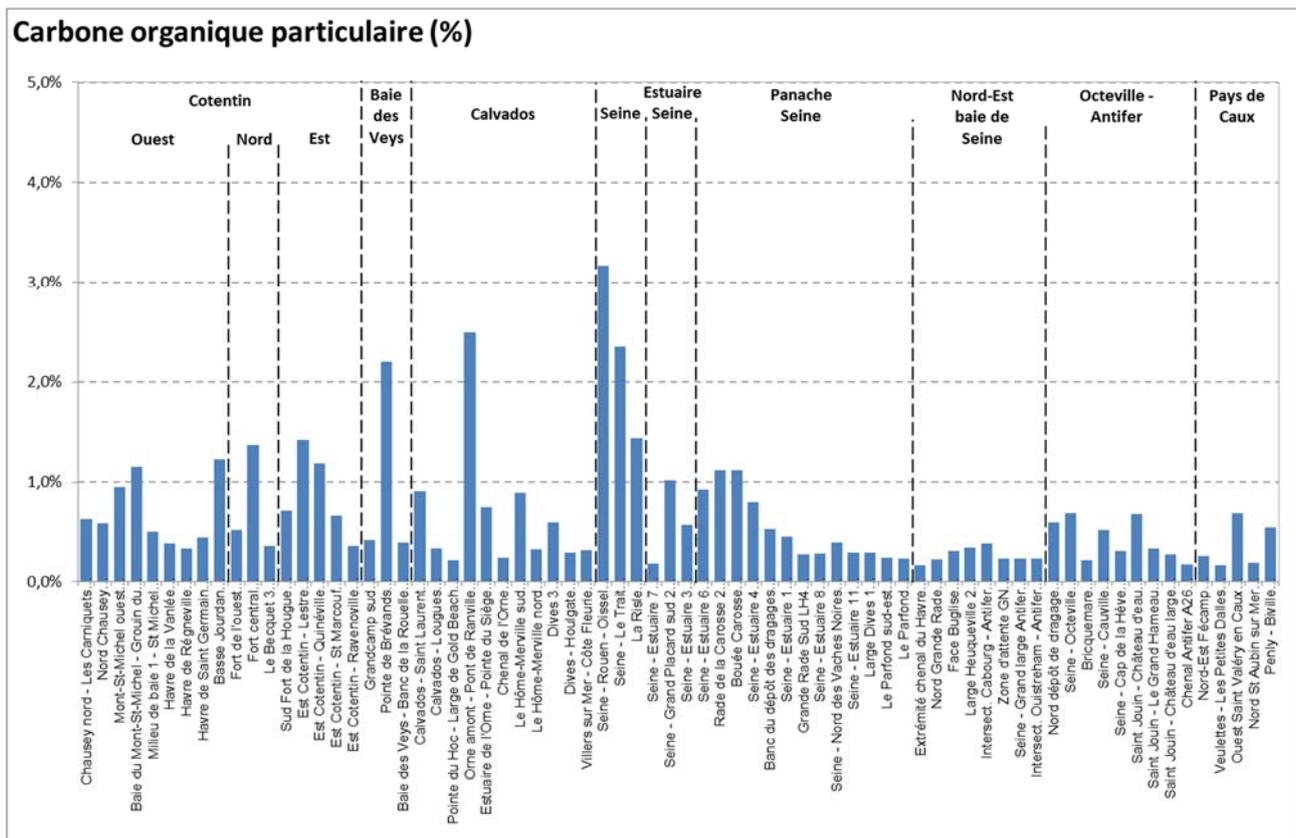
**Figure 4 :** Distribution de la fraction inférieure à 63 µm (%) (en haut) et des concentrations en aluminium (%) (en bas) des sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013.



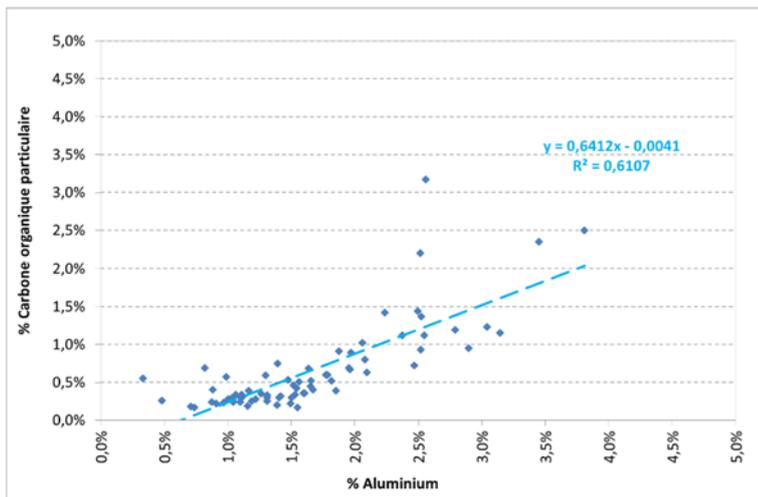
**Figure 5 :** Correlation entre la teneur en aluminium (%) et la fraction inférieure à 63 μm (%) lors de la campagne ROCCHSED 2013.

### III.3 Matière organique

La teneur en matière organique s'exprime par le COP (Carbone Organique Particulaire, **Figure 6**), qui est un paramètre complémentaire de la description granulométrique. Il sert à normaliser la teneur en contaminants organiques, et est significativement corrélé à la teneur en aluminium (**Figure 7**).



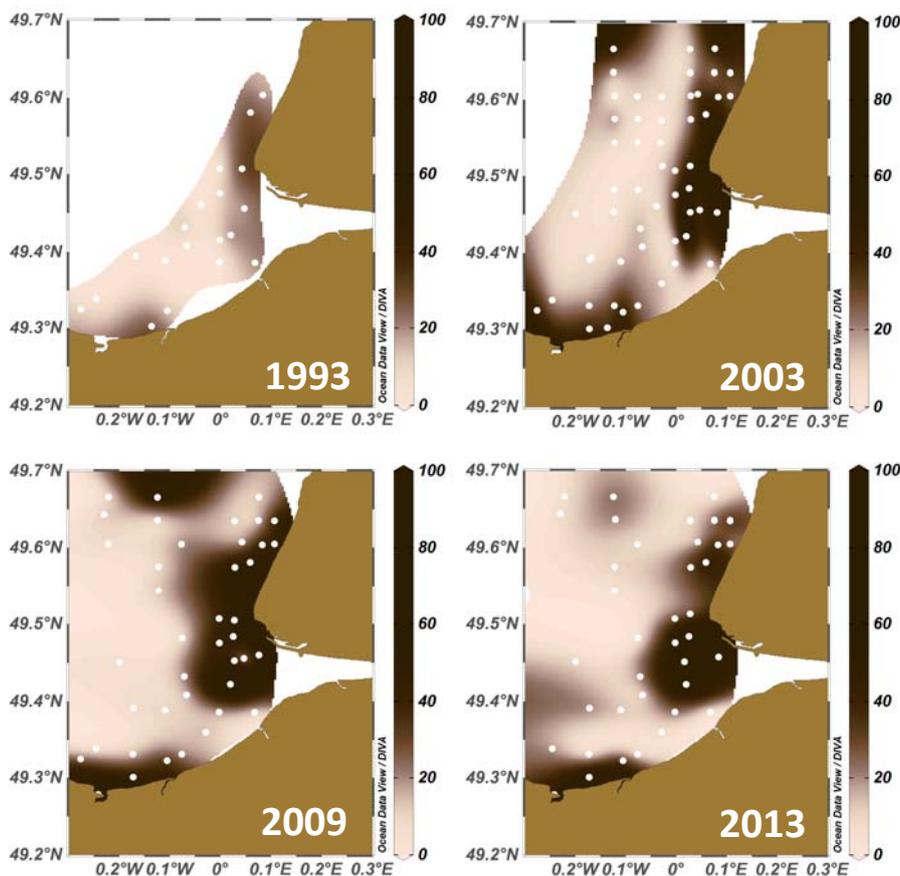
**Figure 6 :** Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (%) dans les sédiments le long du littoral normand lors de la campagne ROCCHSED 2013.



**Figure 7 :** Correlation entre la teneur en carbone organique particulaire (%) et en aluminium (%) lors de la campagne ROCCHSED 2013.

### III.4 Evolution temporelle des sédiments

Grâce aux résultats des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013, la répartition des particules fines dans la baie de Seine orientale a montré une évolution temporelle, avec une augmentation des particules entre 1993 et 2003 sur l’Ouest de la côte Fleurie (Ouistreham – Cabourg) ainsi qu’en face du Havre (**Figure 8**). Cette distribution a été confirmée lors des campagnes 2009 et 2013 avec une légère diminution au large et le long de la côte d’Octeville-Antifer.



**Figure 8 :** Evolution temporelle de la distribution des particules fines (< 63 μm) dans la baie de Seine orientale lors des campagnes RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013.

## IV. DISTRIBUTION SPATIALE DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE EN 2013

### IV.1 Métaux

Les métaux recherchés lors de la campagne ROCCHSED 2013 sont : argent (Ag), cadmium (Cd), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), mercure (Hg), lithium (Li), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb), vanadium (V) et zinc (Zn). De façon à assurer leur comparabilité et de pouvoir comparer les résultats aux critères d'OSPAR lorsqu'ils ont été définis, les concentrations ont été normalisées par rapport à 5 % d'aluminium, excepté pour le mercure (voir ci-dessous) (**Tableau 4**). La distribution des métaux dans le sédiment le long du littoral normand est présentée dans la **Figure 11** pour ceux disposant de critères OSPAR. Pour les autres métaux, ceux-ci ont été comparés par rapport à la moyenne des concentrations de chaque métal dans les sédiments des stations de l'Ouest Cotentin (9 stations) comme référence du littoral normand (**Figure 12**).

**Tableau 4:** Moyennes ( $\pm$  écarts-types) des concentrations (mg/kg poids sec) en métaux normalisées à 5 % d'aluminium dans les sédiments de la campagne ROCCHSED 2013. Le mercure a été normalisé à 2,5 % de carbone organique particulaire.

	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<b>Ouest Cotentin</b>	0,32 (0,09)	0,18 (0,04)	11,4 (2,2)	58,7 (4,3)	13,1 (1,5)	19 190 (3 771)	0,04 (0,01)	39,3 (5,8)	378 (73)	22,6 (3,8)	28,2 (6,2)	72,8 (12,4)	70,3 (19,5)
<b>Nord Cotentin</b>	0,25 (0,06)	0,20 (0,01)	10,5 (0,4)	60,3 (6,5)	14,0 (3,1)	18 383 (1 780)	0,07 (0,02)	36,5 (8,7)	409 (48)	20,4 (3,4)	31,9 (4,2)	66,9 (14,0)	71,1 (14,4)
<b>Est Cotentin</b>	0,47 (0,04)	0,27 (0,01)	11,2 (0,6)	76,6 (10,7)	15,1 (2,0)	22 374 (1 525)	0,09 (0,03)	41,5 (4,0)	495 (62)	22,7 (2,5)	39,6 (1,4)	77,7 (9,1)	88,9 (9,6)
<b>Baie des Veys</b>	0,70 (0,32)	0,50 (0,22)	13,1 (2,5)	82,7 (4,2)	17,6 (4,3)	23 954 (2 174)	0,09 (0,02)	41,0 (4,7)	673 (187)	26,2 (4,6)	40,2 (3,0)	79,4 (8,1)	99,8 (14,2)
<b>Calvados</b>	0,67 (0,25)	0,48 (0,21)	13,8 (2,7)	74,1 (13,8)	17,8 (3,6)	27 746 (4 721)	0,20 (0,07)	42,2 (4,3)	686 (217)	25,7 (4,2)	52,9 (8,8)	84,8 (17,7)	129 (16)
<b>Seine - Amont</b>	3,1 (1,1)	1,7 (0,8)	17,6 (3,0)	110 (13,4)	61,4 (26,3)	28 815 (3 689)	0,37 (0,06)	46,6 (6,4)	885 (128)	35,0 (7,3)	113 (75,9)	79,8 (7,0)	311 (150)
<b>Seine - Estuaire</b>	1,36 (0,95)	0,55 (0,22)	12,8 (0,9)	99,0 (17,9)	21,9 (8,9)	39 578 (10 286)	0,38 (0,13)	43,4 (0,35)	677 (35)	25,8 (2,3)	64,0 (4,1)	89,0 (2,4)	141 (28)
<b>Seine - Panache</b>	1,16 (0,6)	0,46 (0,15)	13,4 (2,3)	80,1 (15,4)	16,8 (6,9)	28 054 (4 842)	0,29 (0,09)	41,8 (3,8)	678 (165)	23,2 (2,6)	56,7 (13,6)	72,7 (9,9)	129 (24)
<b>Nord-Est baie de Seine</b>	0,59 (0,15)	0,31 (0,05)	14,9 (2,6)	73,4 (37,1)	14,3 (5,3)	24 908 (4 991)	0,27 (0,08)	46,8 (4,3)	727 (232)	25,9 (2,4)	55,8 (6,6)	80,8 (20,7)	96,0 (13,1)
<b>Octeville - Antifer</b>	1,32 (0,32)	0,39 (0,10)	15,9 (3,6)	100 (16,3)	19,7 (3,1)	42 504 (13 471)	0,43 (0,07)	50,6 (6,0)	548 (92)	27,4 (3,4)	73,1 (13,8)	107 (23)	153 (24)
<b>Pays de Caux</b>	0,92 (0,33)	0,47 (0,18)	21,7 (7,6)	110 (42)	23,5 (5,7)	40 548 (15 544)	0,33 (0,14)	67,5 (23,4)	1 124 (731)	39,7 (7,9)	80,1 (37,4)	121 (40,8)	158 (44)
<b>MOYENNE (écart-type)</b>	<b>0,90</b> (0,69)	<b>0,44</b> (0,35)	<b>14,1</b> (4,0)	<b>83,5</b> (32,5)	<b>18,8</b> (11,2)	<b>28 947</b> (10 693)	<b>0,24</b> (0,15)	<b>44,9</b> (10,2)	<b>651</b> (295)	<b>26,0</b> (6,0)	<b>55,8</b> (26,4)	<b>84,7</b> (22,7)	<b>124</b> (58)

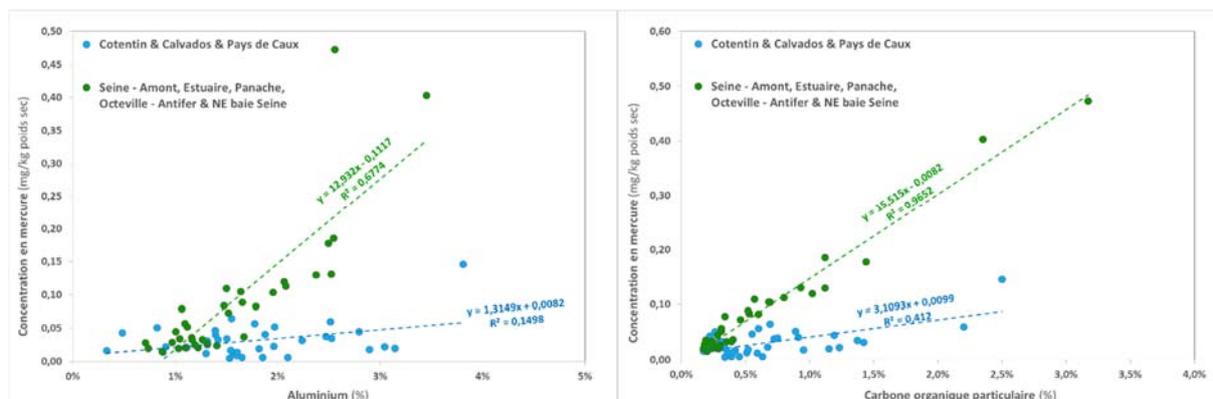
Les graphiques histogrammes suivants sont présentés avec les critères d'OSPAR s'ils existent (voir paragraphe II.3), avec des barres bleues si la concentration est inférieure au critère BAC, vertes si elle est supérieure au BAC et inférieure à l'ERL, ou oranges si elle est supérieure à l'ERL.

#### Cas du mercure (Hg)

Le mercure se démarque des autres métaux par une forte tendance à former des liaisons covalentes plutôt que ioniques<sup>1</sup>, et forme en particulier une liaison très forte avec le carbone. Il a ainsi été démontré que la matière organique et la composition granulométrique contrôlent les niveaux de mercure total dans les sédiments de l'estuaire de la Seine. Cette relation est cohérente avec le retrait du mercure dissous de l'eau de mer par son adsorption sur les particules organiques, le mécanisme responsable des apports en mercure dans un certain nombre d'estuaires (Mikac *et al.*, 1999). Lorsque les concentrations en mercure sont mises en relation avec les teneurs en aluminium (Al) ou en carbone organique particulaire (COP), la série de données de la campagne ROCCHSED 2013 montre des caractéristiques différentes entre les sédiments issus

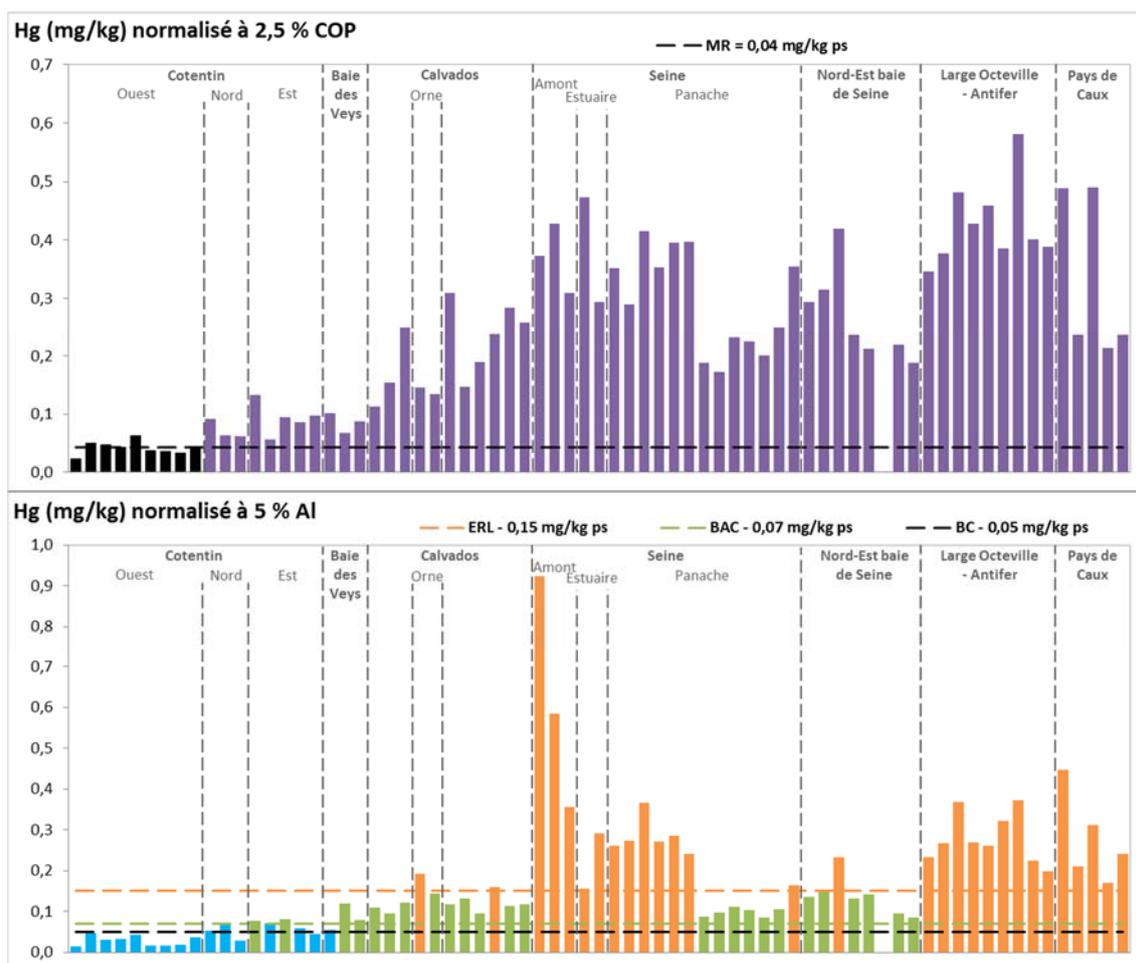
<sup>1</sup> Une liaison covalente résulte de la mise en commun de deux électrons célibataires entre deux atomes de même électronégativité alors qu'une liaison ionique résulte de l'attraction électrostatique entre ions de signes contraires.

du littoral du Cotentin, du Calvados et du Pays de Caux, et ceux issus de la Seine amont, estuarienne, du panache, du secteur Octeville-Antifer et du Nord-Est de la baie de Seine (**Figure 9**). La différence de pente entre les deux sous-ensembles de stations révèle la contamination plus importante en mercure des sédiments issus de la Seine. En outre, la comparaison des relations obtenues entre les concentrations en mercure et les teneurs en Al et le COP montre de plus fortes corrélations d'Hg avec le COP (**Figure 9**), justifiant l'utilisation du COP comme normalisateur pour le mercure.



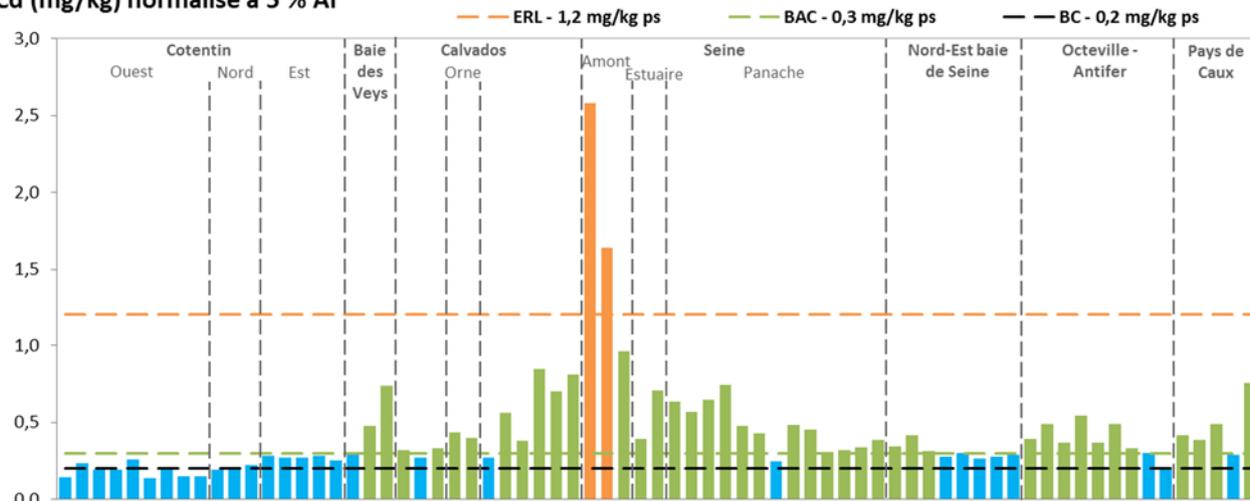
**Figure 9 :** Correlations entre les concentrations en mercure (mg/kg poids sec) et la teneur en aluminium (%) (à gauche), et en carbone organique particulaire (%) (à droite) lors de la campagne ROCCHSED 2013.

Malgré cette évidente relation avec COP, le mercure est aussi corrélé à Al qui peut donc être utilisé comme normalisateur afin de comparer les données aux critères d'OSPAR (**Figure 10**).

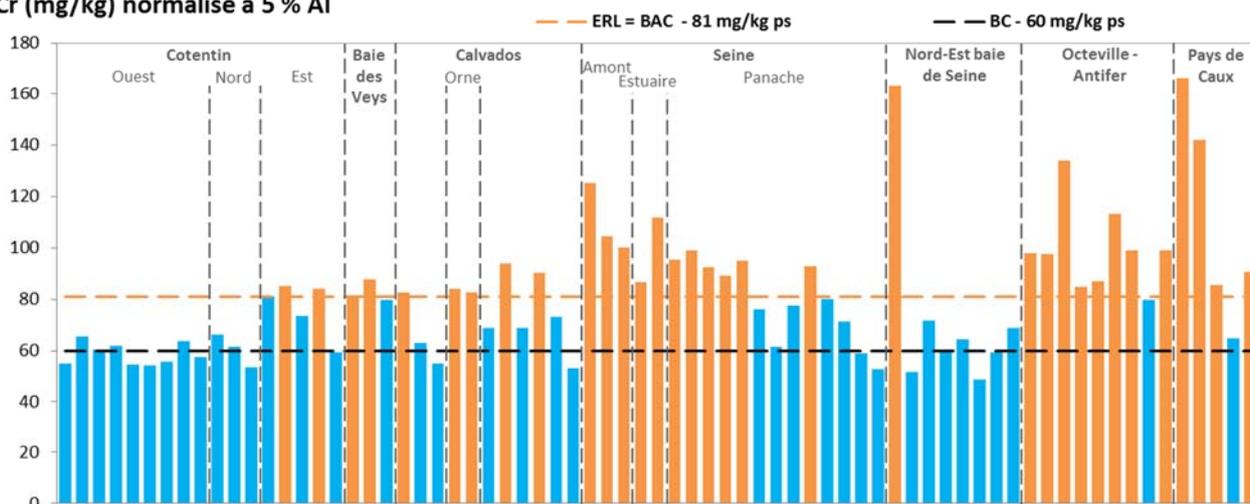


**Figure 10 :** Distribution des concentrations en Hg dans le sédiment normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir) (en haut), et à 5 % d'aluminium comparée aux critères d'OSPAR (en bas). MR = Moyenne de référence, ERL = Effect Range Low, BAC = Background Assessment Concentration, BC = Background Concentration.

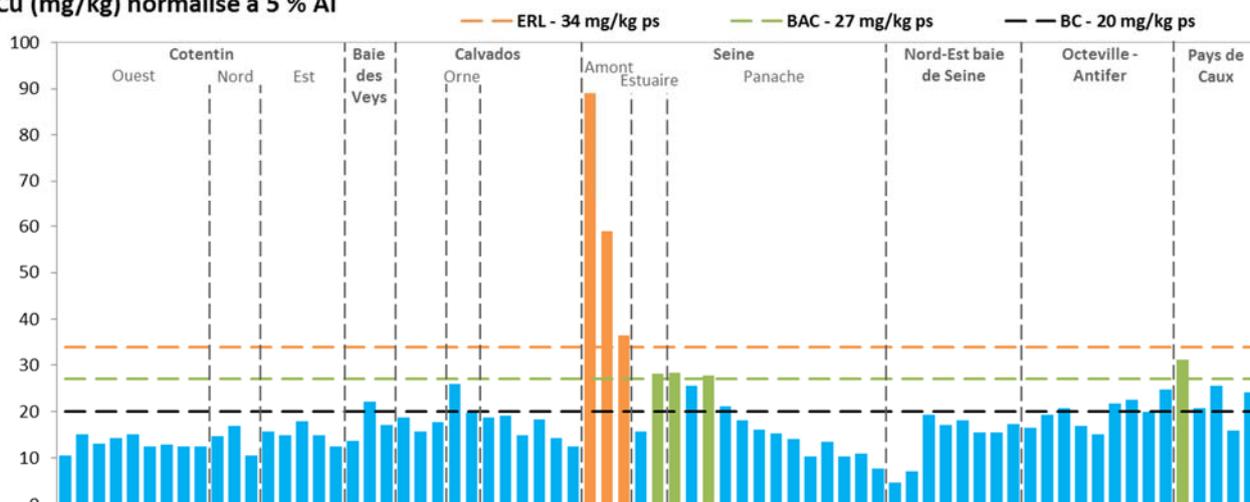
### Cd (mg/kg) normalisé à 5 % Al

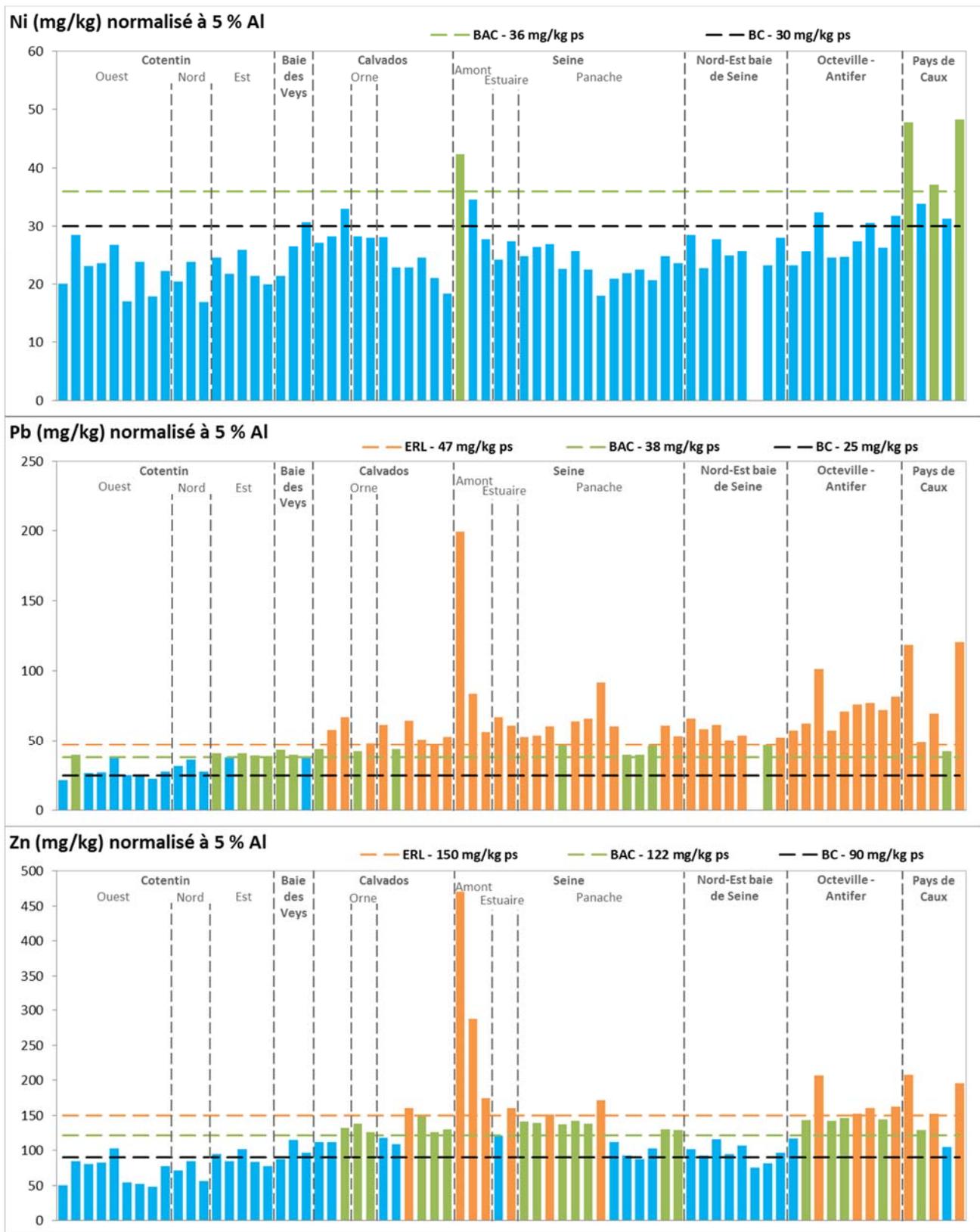


### Cr (mg/kg) normalisé à 5 % Al



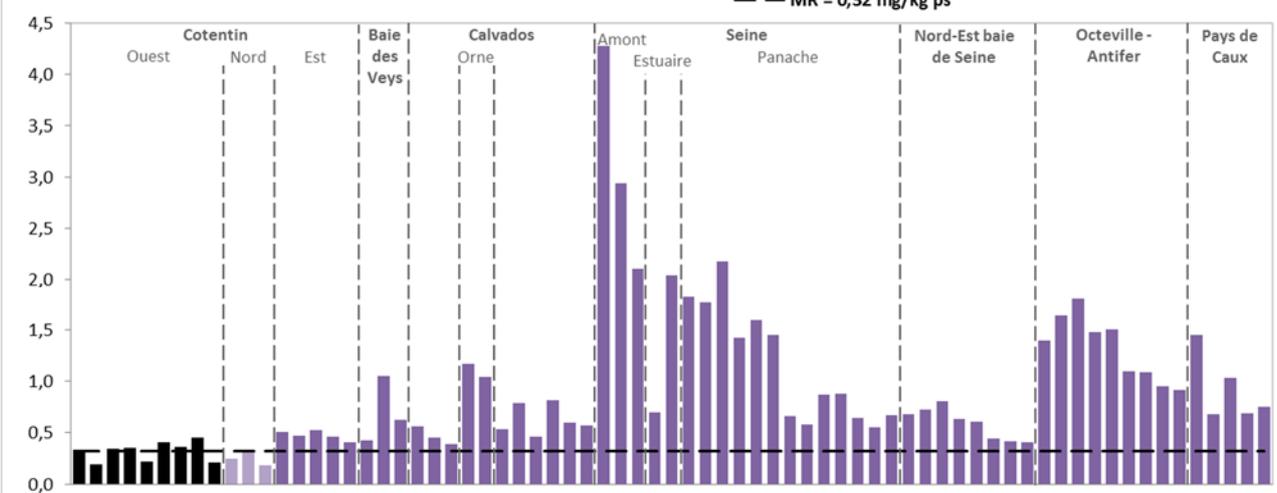
### Cu (mg/kg) normalisé à 5 % Al



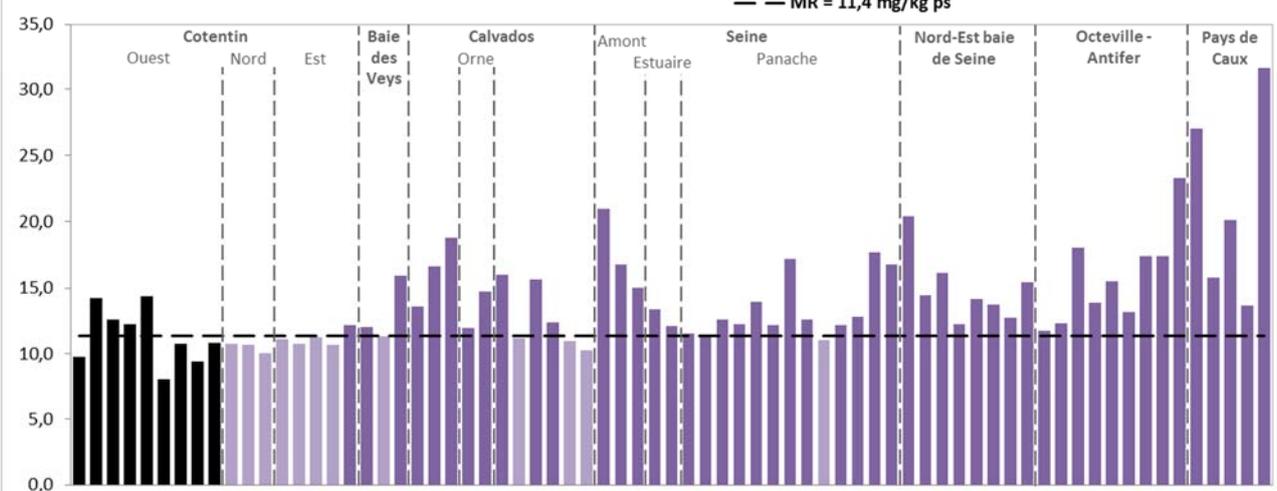


**Figure 11** : Distribution des concentrations en Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn normalisées à 5 % d'aluminium dans le sédiment, comparée aux critères d'OSPAR. ERL = Effect Range Low, BAC = Background Assessment Concentration, BC = Background Concentration.

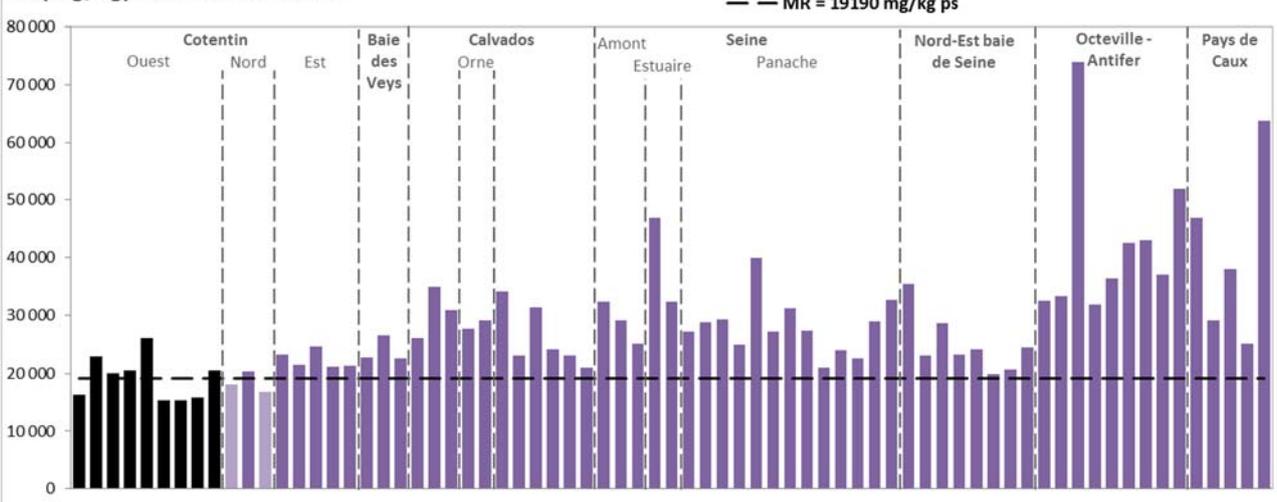
**Ag (mg/kg) normalisé à 5 % Al**

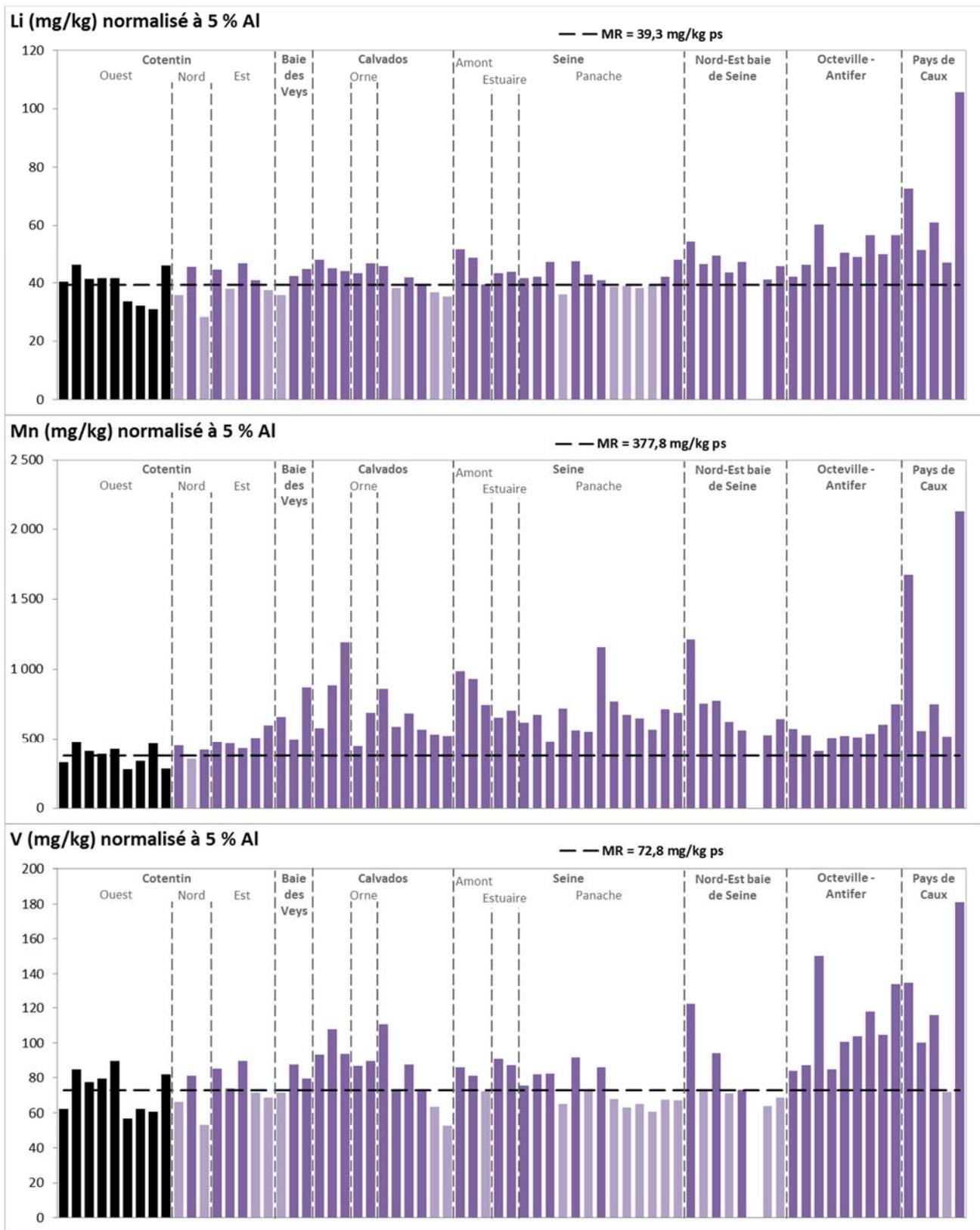


**Co (mg/kg) normalisé à 5 % Al**



**Fe (mg/kg) normalisé à 5 % Al**





**Figure 12 :** Distribution des concentrations en Ag, Co, Fe, Li, Mn et V normalisées à 5 % d'aluminium dans le sédiment, comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir). MR = Moyenne de Référence.

## IV.2 Substances organiques

Tous les contaminants organiques figurant sur la liste des 33 substances prioritaires plus les contaminants OSPAR (les PCBs) sont recherchés depuis 2007. Toutefois dans 46 % des cas, les limites de quantification des laboratoires d'analyse ne permettent pas de les détecter (**Tableau 5**).

**Tableau 5:** Synthèse du taux de quantification des substances organiques recherchées lors de la campagne ROCCHSED 2013 et secteurs concernés.

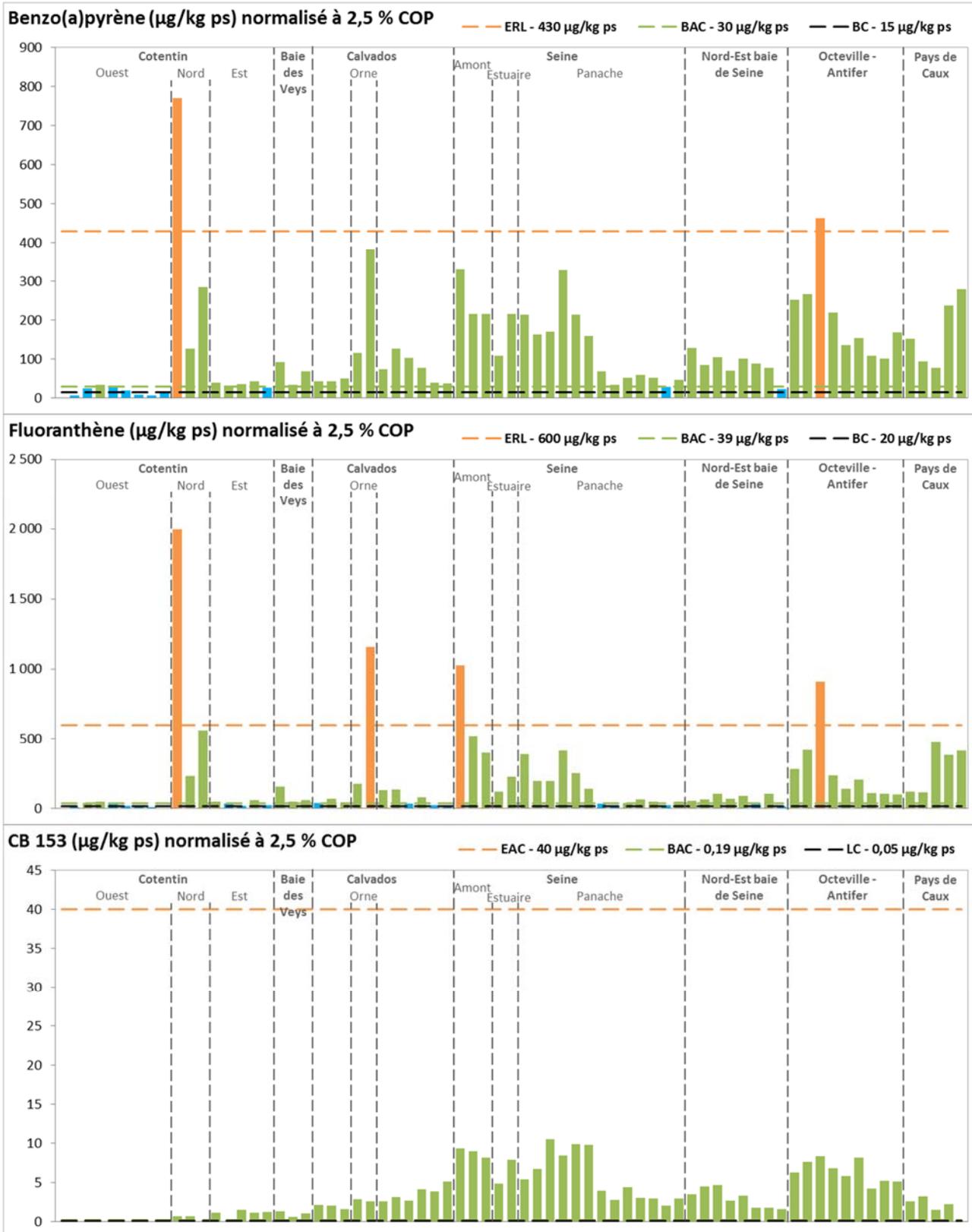
N°	Nom de la substance	Limite de Quantification (µg/kg ps)	Taux de quantification	Secteurs concernés
(1)	Alachlore	0,2	0 %	---
(2)	Anthracène	0,5	80,3 %	Tous
(3)	Atrazine	0,5	0 %	---
(4)	Benzène	2	0 %	---
(5)	Diphényléthers bromés (moyenne)		0,8 %	Seine - Amont
(6 bis)	Tétrachlorure de carbone	2	0 %	---
(7)	Chloroalcanes C10-C13	100	4,2 %	Seine - Amont
(8)	Chlorfenvinphos	0,5	0 %	---
(9)	Chlorpyrifos	0,5	2,8 %	Seine - Amont
(9 bis)	Pesticides cyclodiènes :			
	Aldrine	0,25	0 %	---
	Dieldrine	0,25	0 %	---
	Endrine	0,25	0 %	---
	Isodrine	0,5	0 %	---
(9 ter)	Para-para-DDT	1	0 %	---
(10)	1,2-Dichloroéthane	5	0 %	---
(11)	Dichlorométhane	5	26,8 %	Tous sauf Nord Cotentin, Seine - Estuaire et Octeville - Antifer
(12)	Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP)	10	97,2 %	Tous
(13)	Diuron	0,3	4,2 %	Seine - Amont
(14)	Endosulfan	1	0 %	---
(15)	Fluoranthène	1	98,6 %	Tous
(16)	Hexachlorobenzène	0,1	5,6 %	Seine - Amont, Est Cotentin
(17)	Hexachlorobutadiène	0,5	5,6 %	Ouest et Est Cotentin
(18)	Hexachlorocyclohexane	0,25	0 %	---
(19)	Isoproturon	0,15	2,8 %	Seine - Amont
(22)	Naphtalène	2	43,7 %	Tous
(24)	4-nonylphénol	0,1	0 %	---
(25)	Octylphénol	0,1	69,0 %	Tous
(26)	Pentachlorobenzène	0,5	0 %	---
(27)	Pentachlorophénol	0,1	14,1 %	Ouest et Est Cotentin, Seine - Amont, Seine - Estuaire, Seine - Panache, Octeville - Antifer
(28)	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)			
	Benzo(a)pyrène	1	98,6 %	Tous
	Benzo(b)fluoranthène	1	100 %	Tous
	Benzo(k)fluoranthène	1	98,6 %	Tous
	Benzo(g,h,i)perylène	2	93,0 %	Tous
	Indeno(1,2,3-cd)pyrène	2	87,3 %	Tous
(29)	Simazine	1	0 %	---
(29 bis)	Tétrachloroéthylène	1	1,4 %	Seine - Amont
(29 ter)	Trichloroéthylène	1	0 %	---
(30)	Composés du tributylétain	0,6	22,5 %	Calvados, Seine - Amont, Seine - Estuaire, Seine - Panache, Octeville - Antifer
(31)	Trichlorobenzènes	2	15,5 %	Seine - Amont, Seine - Estuaire, Seine - Panache, Octeville - Antifer
(33)	Trifluraline	0,1	0 %	---
	Polychlorobiphényles (PCBi) (moyenne)	0,1	53,7 %	Tous sauf Ouest Cotentin

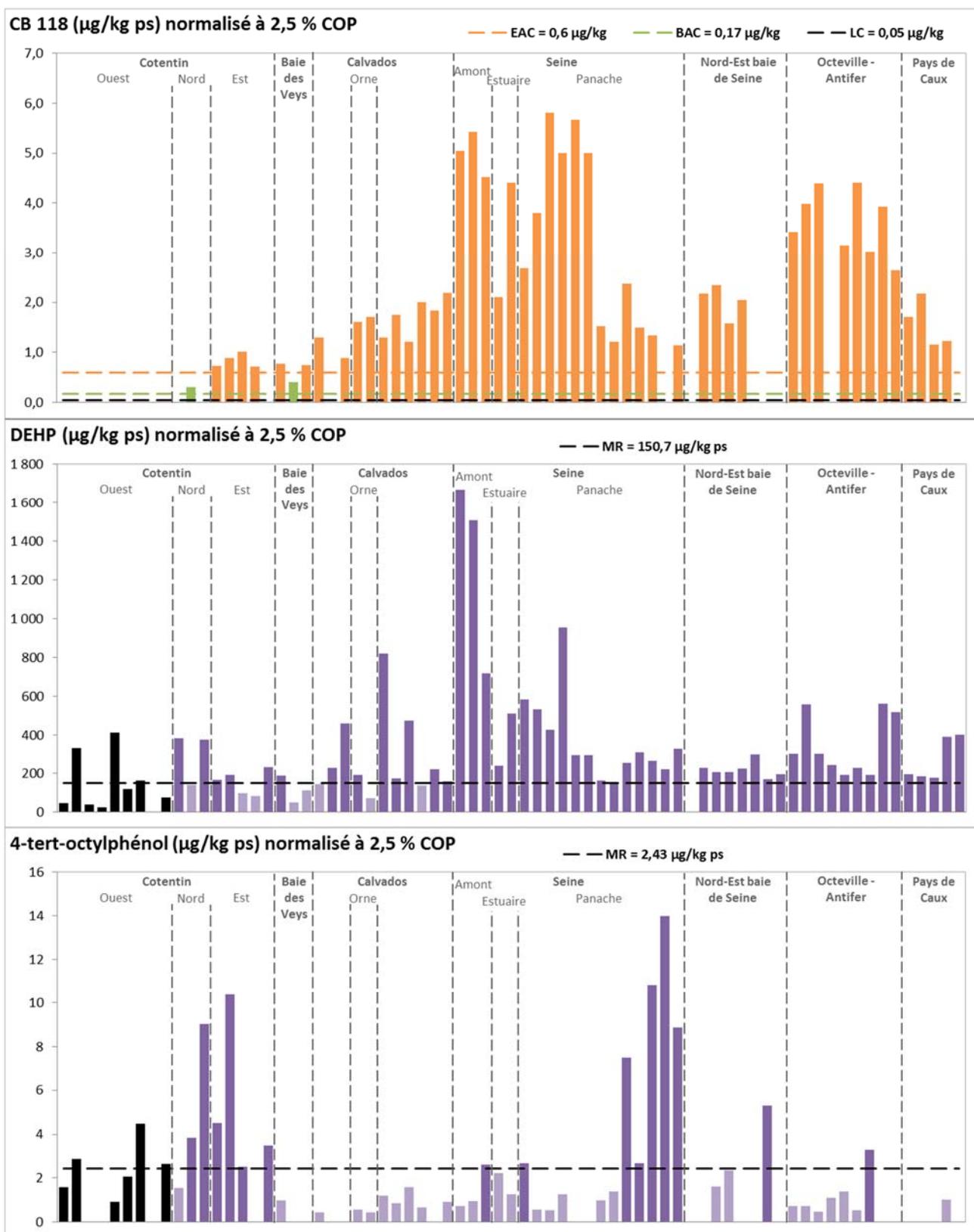
De façon à représenter les plus importantes familles de contaminants détectés lors de la campagne ROCCHSED 2013, les concentrations des polluants suivants sont synthétisées dans le **Tableau 6** : deux HAP (benzo(a)pyrène et fluoranthène), un PCB (CB 153), un phtalate (DEHP), et un alkylphénol (4-tert-octylphénol).

**Tableau 6:** Moyennes ( $\pm$  écarts-types) des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  poids sec) en contaminants organiques normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans les sédiments de la campagne ROCCHSED 2013. Les données inférieures à la limite de quantification n'ont pas été prises en compte.

	<b>Benzo(a)pyrène</b>	<b>Fluoranthène</b>	<b>CB 153</b>	<b>DEHP</b>	<b>Octylphénol</b>
<b>Ouest Cotentin</b> ( $n = 9$ )	17,1 $\pm$ 10,0 (8)	22,5 $\pm$ 17,4 (8)	< LQ	151 $\pm$ 145 (8)	2,43 $\pm$ 1,23 (6)
<b>Nord Cotentin</b> ( $n = 3$ )	394 $\pm$ 336 (3)	930 $\pm$ 936 (3)	0,69 $\pm$ 0,05 (2)	300 $\pm$ 140 (3)	4,80 $\pm$ 3,84 (3)
<b>Est Cotentin</b> ( $n = 5$ )	35,1 $\pm$ 6,3 (5)	38,4 $\pm$ 16,5 (5)	1,25 $\pm$ 0,18 (4)	154 $\pm$ 63 (5)	5,22 $\pm$ 3,54 (4)
<b>Baie des Veys</b> ( $n = 3$ )	64,4 $\pm$ 29,3 (3)	89,1 $\pm$ 59,3 (3)	0,97 $\pm$ 0,36 (3)	115 $\pm$ 70 (3)	1,01 (1)
<b>Calvados</b> ( $n = 11$ )	99,2 $\pm$ 98,7 (11)	172 $\pm$ 330 (11)	2,98 $\pm$ 1,04 (11)	279 $\pm$ 220 (11)	0,84 $\pm$ 0,40 (8)
<b>Seine - Amont</b> ( $n = 3$ )	253 $\pm$ 66 (3)	648 $\pm$ 333 (3)	8,80 $\pm$ 0,59 (3)	1299 $\pm$ 507 (3)	1,44 $\pm$ 1,02 (3)
<b>Seine - Estuaire</b> ( $n = 2$ )	162 $\pm$ 76 (2)	172 $\pm$ 75 (2)	6,36 $\pm$ 2,10 (2)	373 $\pm$ 193 (2)	1,74 $\pm$ 0,70 (2)
<b>Seine - Panache</b> ( $n = 13$ )	122 $\pm$ 93 (13)	144 $\pm$ 137 (13)	5,59 $\pm$ 3,10 (13)	366 $\pm$ 219 (13)	4,66 $\pm$ 4,78 (11)
<b>Nord-Est baie de Seine</b> ( $n = 8$ )	84,5 $\pm$ 30,8 (8)	68,7 $\pm$ 32,7 (8)	2,98 $\pm$ 1,21 (8)	217 $\pm$ 40 (7)	3,09 $\pm$ 1,96 (3)
<b>Octeville – Antifer</b> ( $n = 9$ )	208 $\pm$ 112 (9)	279 $\pm$ 258 (9)	6,39 $\pm$ 1,41 (9)	343 $\pm$ 158 (9)	1,18 $\pm$ 0,99 (7)
<b>Pays de Caux</b> ( $n = 5$ )	168 $\pm$ 88 (5)	303 $\pm$ 172 (5)	2,38 $\pm$ 0,70 (4)	270 $\pm$ 117 (5)	1,05 (1)
<b>Moyenne <math>\pm</math> écart-type</b>	126 $\pm$ 125	201 $\pm$ 316	4,15 $\pm$ 2,73	314 $\pm$ 287	2,76 $\pm$ 3,09

Les gradients régionaux sont présentés dans la **Figure 13**, soit en fonction des critères OSPAR définis pour le benzo(a)pyrène, le fluoranthène, le CB 153 et le CB 118 (dioxin-like), soit en fonction de la moyenne de référence de la région Ouest Cotentin.





**Figure 13 :** Distribution des concentrations en benzo(a)pyrène, fluoranthène, CB 153 et CB 118 normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans le sédiment, comparée aux critères d'OSPAR, et en DEHP et 4-tert-octylphénol normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire, comparée à la concentration moyenne de l'Ouest de la baie de Seine (HC09, en noir). ERL = Effect Range Low, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria, BAC = Background Assessment Concentration, BC = Background Concentration. MR = Moyenne de Référence.

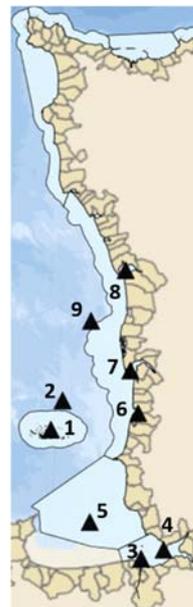
## IV.3 Synthèse par secteur

### IV.3.1 Ouest Cotentin (HC01, HT05, HC02, HC03)

Les concentrations sur la côte Ouest du Cotentin étaient faibles et relativement homogènes pour Cd, Cr, Cu, Ag et Mn. Les niveaux étaient plus variables pour Ni, Pb et Zn, en ne dépassant que très légèrement le critère BAC à la station *Nord Chausey* (2), et pour Co, Fe, Li et V dont les concentrations étaient les plus importantes à la station *Nord Chausey* (2), et principalement à *Milieu de baie 1-St Michel* (5). Les concentrations en métaux dans les trois havres échantillonnés (Vanlée (6), Régneville (7) et Saint Germain (8)) étaient faibles, souvent inférieures aux critères BC et du même ordre.

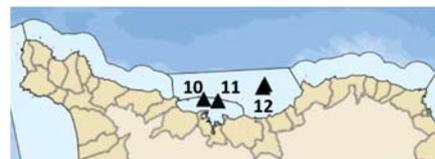
Pour les substances organiques, les niveaux étaient soit inférieurs à la limite de quantification (par exemple les PCB), soit inférieurs à l'ERL, comme pour le benzo(a)pyrène et le fluoranthène. Les HAP « pyrolytiques » ont été retrouvés à presque toutes les stations. Les concentrations en HAP les plus fortes du secteur ont été mesurées dans la baie du Mont Saint-Michel. Des polluants ont été trouvés en faible quantité et de façon très localisée comme l'acénaphthène, l'antracène, le dichlorométhane (*Chausey nord-Les Carniquets* (1) et *Havre de Saint Germain* (8)), l'hexachlorobutadiène et le pentachlorophénol (*Havre de Régneville* (7)). Les seules autres substances retrouvées sur presque toutes les stations en quantité non négligeable mais de façon hétérogène sont le phtalate DEHP, et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol.

Ces résultats confirment que la côte Ouest du Cotentin est la moins impactée par la contamination chimique et peut donc être prise comme référence pour les autres zones du littoral normand.



### IV.3.2 Nord Cotentin (HC60, HC61)

Les concentrations au niveau de la rade de Cherbourg étaient faibles pour tous les métaux et relativement homogènes. Seuls le lithium et le vanadium ont dépassé légèrement la concentration de référence à la station *Fort Central* (11), à l'Est de la rade.



Les principaux contaminants organiques retrouvés aux stations de ce secteur étaient le phtalate DEHP, l'alkylphénol 4-tert-octylphénol et les 16 HAP, avec un dépassement du critère ERL pour le benzo(a)pyrène, le fluoranthène, mais aussi l'antracène, le benzo(a)anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, le chrysène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, le phénanthrène et le pyrène. Les plus fortes concentrations régionales, avec dépassement de l'ERL, ont été enregistrées à la station *Fort de l'ouest* (10). De plus, 5 des 8 congénères des PCB ont été quantifiés de façon très faible et inférieure à l'EAC aux stations de l'intérieur de la rade.

### IV.3.3 Est Cotentin (HC09)

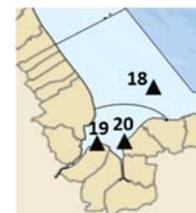
Les stations de l'Est Cotentin sont géographiquement proches les unes des autres, et présentaient des concentrations en métaux relativement homogènes et inférieures aux critères BAC pour Cd, Cu, Ni, Zn, et très proche du BAC pour Pb. De façon globale, les niveaux étaient légèrement supérieurs à ceux observés sur la côte Ouest du Cotentin. Deux stations sur les cinq ont montré un très léger dépassement de l'ERL en Cr, pour lequel l'ERL est égal au BAC. Leur concentration entre les cinq stations était similaire ; et il est à noter un niveau légèrement plus fort en Ag sur l'Est Cotentin par rapport à l'Ouest Cotentin.



Un certain nombre de contaminants organiques ont été quantifiés dans ce secteur, et notamment les 16 HAP, 8 des 9 PCB (majoritairement CB 101, CB 118, CB 138 et CB 153), le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol. Les concentrations en CB 118 dépassaient légèrement l'EAC. De plus des substances ont été mesurées très localement, comme le dichlorométhane (*Lestre* (14) et *Ravenoville* (17)), l'hexachlorobenzène à *Lestre*, l'hexachlorobutadiène (*Lestre* (14), *Quinéville* (15) et *Ravenoville* (17)), et le pentachlorophénol (*Quinéville* (15) et *Ravenoville* (17)).

#### IV.3.4 Baie des Veys (HC10, HT06)

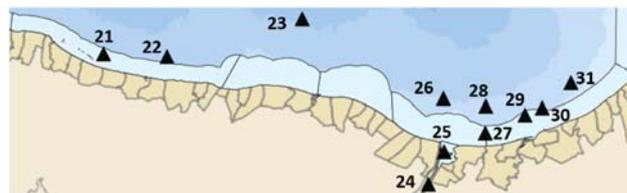
Deux stations ont été échantillonnées dans la masse d'eau HT06 : une proche du canal d'Isigny (20), et une proche du canal de Carentan à *Pointe de Brévands* (19), et une station (18) en HC10 plutôt à l'Ouest de la masse d'eau. Les concentrations en Cu, Ni, Zn y apparaissaient faibles et inférieures aux critères BAC. Ce dernier était dépassé pour le Cd, avec un niveau plus fort du côté du canal d'Isigny, et les niveaux oscillaient autour du BAC pour Pb, et autour de l'ERL (= BAC) pour Cr sur les trois stations. Par rapport au niveau de référence de la côte Ouest, les concentrations en Ag, Co, Fe, Li, Mn et V en étaient proches, avec des pics un peu plus forts soit au niveau du canal de Carentan (Ag, V), soit au niveau du canal d'Isigny (Co, Mn).



Un certain nombre de contaminants organiques ont été quantifiés dans ce secteur, et notamment 15 des 16 HAP, 3 des 9 PCB (CB 118, CB 138, CB 153) sur toutes les stations et CB 101, CB 105 et CB 180 à *Pointe de Brévands*, et le phtalate DEHP. Deux des trois stations de ce secteur ont légèrement dépassé l'EAC du congénère CB 118 des PCB. De plus des substances ont été mesurées très localement, comme le métabolite DDDpp' du pesticide DDT, et le dichlorométhane à *Pointe de Brévands*.

#### IV.3.5 Calvados (HC11, 012, 013, HT04, HC14, HC15, 010)

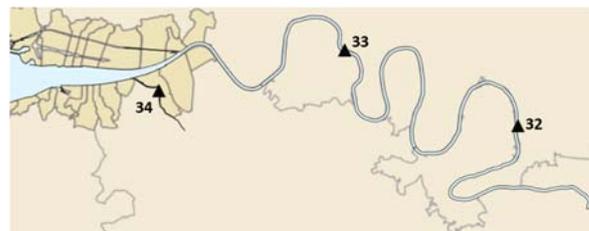
Le secteur Calvados englobe deux stations échantillonnées dans l'Orne, au niveau du *Pont de Ranville* (24), et de la *Pointe du Siège* (25). Globalement sur le secteur, les concentrations étaient inférieures au BAC pour Cu et Ni, et proches du BAC avec un dépassement de l'ERL à *Le Hôme-Merville Nord* (28) pour Zn. Pour le cadmium, les niveaux étaient proches ou légèrement supérieurs au BAC jusqu'à l'estuaire de l'Orne, puis augmentaient progressivement vers l'Est en direction de l'estuaire de la Seine. Pour le chrome, les niveaux oscillaient entre ceux proches du BAC et ceux dépassant de peu l'ERL (= BAC). Enfin, les teneurs en plomb étaient globalement proches de l'ERL (moyenne des stations =  $52,9 \pm 8,8$  mg/kg ps pour un ERL à 47 mg/kg ps). Par rapport à la référence de la côte Ouest du Cotentin, les concentrations étaient similaires en Ag (excepté pour les stations dans l'Orne) et Li. Pour Co, Mn et V seules les stations au large (*Lougues* (22), *Large de Gold Beach* (23), *Chenal de l'Orne* (26) et *Le Hôme-Merville Nord* (28)) ont présenté des niveaux supérieurs.



Pour les contaminants organiques, les 16 HAP ont été retrouvés à des niveaux modérés, excepté dans l'estuaire de l'Orne à *Pointe du siège* où une des plus fortes concentrations régionales en anthracène, benzo(a)anthracène, benzo(g,h,i)pérylène, fluoranthène ont dépassé l'ERL. Les PCB ont aussi été quantifiés sur la plupart des stations du secteur pour le CB 101, CB 118, CB 138, CB 153 et CB 180, et sur moins de 50 % des stations pour le CB 28, CB 52, CB 105 et CB 156. Comme dans la majorité des secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol ont été mesurés sur la majorité des stations, avec un maximum en DEHP à *Chenal de l'Orne* au large de l'estuaire de l'Orne. Plusieurs contaminants organiques ont été quantifiés de façon très localisés dans ce secteur, comme les métabolites DDDpp' et DDEpp' du pesticide DDTpp', le monobutylétain, le dibutylétain, le tributylétain, les nonylphénols dans l'Orne amont à *Pont de Ranville* (24), et le dichlorométhane au large de *Lougues* (22), à *Pont de Ranville* (24) et à *Le Hôme-Merville sud* (27).

### IV.3.6 Seine - Amont (HT01, HT02, HT07)

Les trois stations échantillonnées dans le système amont du panache de la Seine (à *Oissel* (32) dans HT01, *Le Trait* (33) dans HT02, et *la Risle* (34) dans HT07) ont présenté des concentrations bien plus importantes que dans tous les autres secteurs étudiés, avec le gradient suivant : HT01 > HT02 > HT07. Ainsi, les niveaux en Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn ont dépassé les critères ERL, excepté pour Cd dans la Risle. A *Oissel*, les teneurs en Cd étaient plus de deux fois supérieures à l'ERL, plus de 2,5 fois en Cu, plus de trois fois en Zn, plus de quatre fois en Pb, et plus de six fois en Hg. Enfin, par rapport au niveau de référence de la côte Ouest du Cotentin, les concentrations y étaient plus de neuf fois plus importantes en Ag.



Les sédiments de la Seine en amont à *Oissel* et *Le Trait* et de *La Risle* montraient pour beaucoup de substances organiques les plus fortes concentrations du littoral normand. Ainsi, les 16 HAP ont été retrouvés, avec des dépassements de l'ERL pour l'anthracène, le benzo(a)anthracène, le chrysène, le fluoranthène le pyrène (*Oissel*), et le benzo(g,h,i)pérylène aux 3 stations, ainsi que les 9 congénères des PCB recherchés, avec des dépassements de l'EAC pour le CB 28, CB 52, CB 101, CB 118 et CB 138. Des contaminants pour certains absents de l'Ouest de l'estuaire de la Seine ont aussi été quantifiés, notamment les trichlorobenzènes, les chloroalcanes C10-C13, le chlorpyrifos, les métabolites DDDpp' et DDEpp' du DDT, le monobutylétain, le dibutylétain, le tributylétain, le dichlorométhane, le diuron, l'hexachlorobenzène, l'hexachlorocyclohexane alpha, l'isoproturon, les nonylphénols, les congénères 47 et 99 des polybromodiphényléthers (PBDE), le pentachlorophénol, et le tétrachloroéthylène. Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol y ont été retrouvés, à des concentrations maximales régionales en DEHP.

### IV.3.7 Seine - Estuaire (HT03)

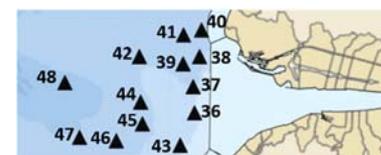
Deux stations ont été échantillonnées en sortie de l'estuaire de la Seine dans la masse d'eau HT03. Les concentrations en métaux qui y ont été mesurés étaient bien inférieures à ceux des stations en amont (HT01 et HT02) en Cd, Cu, et Ni, résultant à des niveaux inférieurs à l'ERL voire au BAC. Bien qu'inférieurs, les teneurs en Cr, Hg, Pb et Zn dépassaient toujours l'ERL. Par rapport au niveau de référence de la côte Ouest du Cotentin, les concentrations en métaux étaient supérieures en HT03, avec des hétérogénéités entre les deux stations notamment pour Ag (Nord >> Sud) et Fe (Sud > Nord).



Les résultats pour les contaminants organiques dans ce secteur étaient cohérents avec les résultats obtenus dans la Seine-Amont (particulièrement d'*Oissel* et *Le Trait*). En effet, les 16 HAP ont été retrouvés, avec des dépassements de l'ERL pour le benzo(g,h,i)pérylène, et les 9 PCB, avec un dépassement de l'EAC du CB 52, CB 101 et CB 118 particulièrement au Nord du secteur. Les substances suivantes ont aussi été retrouvées dans la station du Nord de ce secteur (*Grand Placard sud 2* (36)) : trichlorobenzènes, chloroalcanes C10-C13, les métabolites DDDpp' et DDEpp' du pesticide DDT, le monobutylétain, le dibutylétain, le tributylétain, les nonylphénols, et le pentachlorophénol. Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol y ont été retrouvés.

### IV.3.8 Seine - Panache (010)

Plusieurs stations ont été échantillonnées en sortie immédiate de l'estuaire de la Seine, rendant compte de l'imprégnation chimique des sédiments sous l'influence directe du panache de la Seine. De façon globale, un gradient de dilution des stocks en métaux de l'estuaire vers le large, particulièrement observable pour Cd, Cr, Cu, Ag et Hg. Les concentrations en Cd et Zn y étaient majoritairement supérieures au BAC, et inférieures pour Cu, Ni. Cependant des hétérogénéités ont été observées, avec des niveaux supérieurs à l'ERL pour Cr, Hg et Pb notamment aux



stations les plus proches de l'estuaire. Pour tous les autres métaux excepté Li et V, les concentrations étaient supérieures au niveau de référence de la côte Ouest du Cotentin.

Dans ce secteur, la plupart des substances organiques citées ci-après ont été retrouvées dans les sédiments les plus proches de la sortie de l'estuaire. Ainsi, les 16 HAP ont été retrouvés, avec des dépassements de l'ERL pour le benzo(g,h,i)pérylène (stations à l'Est (36 à 41)), l'antracène, le benzo(a)anthracène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène (*Estuaire 4* (39)), et les 9 PCB, avec des dépassements de l'EAC pour les CB 52, CB 101, CB 118 et CB 138 (stations à l'Est (36 à 41)). En outre d'autres substances ont été quantifiées comme dans les secteurs Amont et Estuaire de la Seine : les trichlorobenzènes, les métabolites DDDpp' et DDEpp' du pesticide DDT, le monobutylétain, le dibutylétain, le tributylétain, le dichlorométhane, les nonylphénols, et le pentachlorobenzène. Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol y ont été retrouvés, avec des concentrations en ce dernier les plus fortes régionalement dans les stations les plus au large (44 et 46 à 48).

#### IV.3.9 Nord-Est baie de Seine (010, 003)

Ce secteur comprend des stations échantillonnées au Nord-Ouest du Havre au large. Globalement ces stations montraient des concentrations faibles, inférieures au critère BAC pour Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, excepté pour les trois stations les plus proches, et particulièrement l'*Extrémité du chenal du Havre* (49) qui présentait une forte concentration en chrome. Les niveaux en plomb restaient aussi importants et supérieurs à l'ERL. Le mercure était moins présent excepté à *Face Buglise* (51), où il dépassait l'ERL d'OSPAR. Les teneurs en Ag, Co, Fe, Li et Mn restaient globalement malgré tout plus fortes que les niveaux de référence de la côte Ouest du Cotentin, hormis pour le vanadium.



Dans ce secteur plus au large, le nombre de substances quantifiées diminuait ainsi que les concentrations moyennes des contaminants ubiquistes. Ainsi les 16 HAP y ont été retrouvés, quelque fois sur une seule station (acénaphène), à des niveaux inférieurs à l'ERL. Pour les PCB, 6 des 9 congénères ont été quantifiés, avec des dépassements seulement pour le CB 118 pour lequel l'EAC est très bas. D'autres contaminants ont cependant été mesurés à des concentrations très faibles et de façon très localisée, comme le métabolite DDDpp' du pesticide DDT, le dichlorométhane, et les nonylphénols. Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol y ont été retrouvés, beaucoup plus rarement pour ce dernier.

#### IV.3.10 Octeville - Antifer (010, HC16)

Le secteur est situé sous l'influence indirecte du panache de la Seine qui remonte le long des côtes de la Seine-Maritime comme un « fleuve côtier », et des activités anthropiques (périmètre d'influence de la zone de clapage d'Octeville du Grand Port Maritime du Havre et terminal pétrolier d'Antifer en avant-port du Havre). Les concentrations en métaux étaient relativement homogènes et inférieures au critère BAC pour Cu et Ni, légèrement supérieures au BAC pour Cd excepté pour les points les plus au large. Les teneurs oscillaient autour du critère ERL pour Zn, et sont majoritairement supérieures à l'ERL pour Cr, Hg et Pb. Les concentrations en Ag, Co, Fe, Li, Mn et V étaient assez variables et supérieures aux niveaux de référence de la côte Ouest du Cotentin.



Les contaminants organiques retrouvés dans les sédiments de ce secteur étaient logiquement les mêmes que ceux observés dans les sédiments de la Seine, mais à des concentrations plus faibles. Ainsi les 16 HAP ont été mesurés à des niveaux généralement inférieurs à l'ERL excepté pour l'antracène sur 3 stations, le benzo(a)anthracène, le benzo(a)pyrène, le chrysène, le fluoranthène et l'indéno(1,2,3-cd)pyrène à *Bricquemare* (HC16) et le benzo(g,h,i)pérylène sur toutes les stations du secteur. De même, 8 des 9 congénères des PCB recherchés ont été quantifiés, avec des dépassements de l'EAC pour le CB 101 (4 stations du Sud), le CB 118 (toutes les stations), et le CB 138 (*Saint Joint - Château d'eau*). En outre, les polluants

suiuants ont été retrouvés de façon très localisée dans ce secteur : trichlorobenzènes, le métabolite DDDpp' du pesticide DDT (3 stations), le monobutylétain (station *Nord dépôt de dragage*), le dibutylétain (2 stations au Sud), le tributylétain (5 stations), les nonylphénols (3 stations au Sud), et le pentachlorophénol (station *Cap de la Hève*). Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol y ont été quantifiés.

#### IV.3.11 Pays de Caux (HC17, 009, HC18)

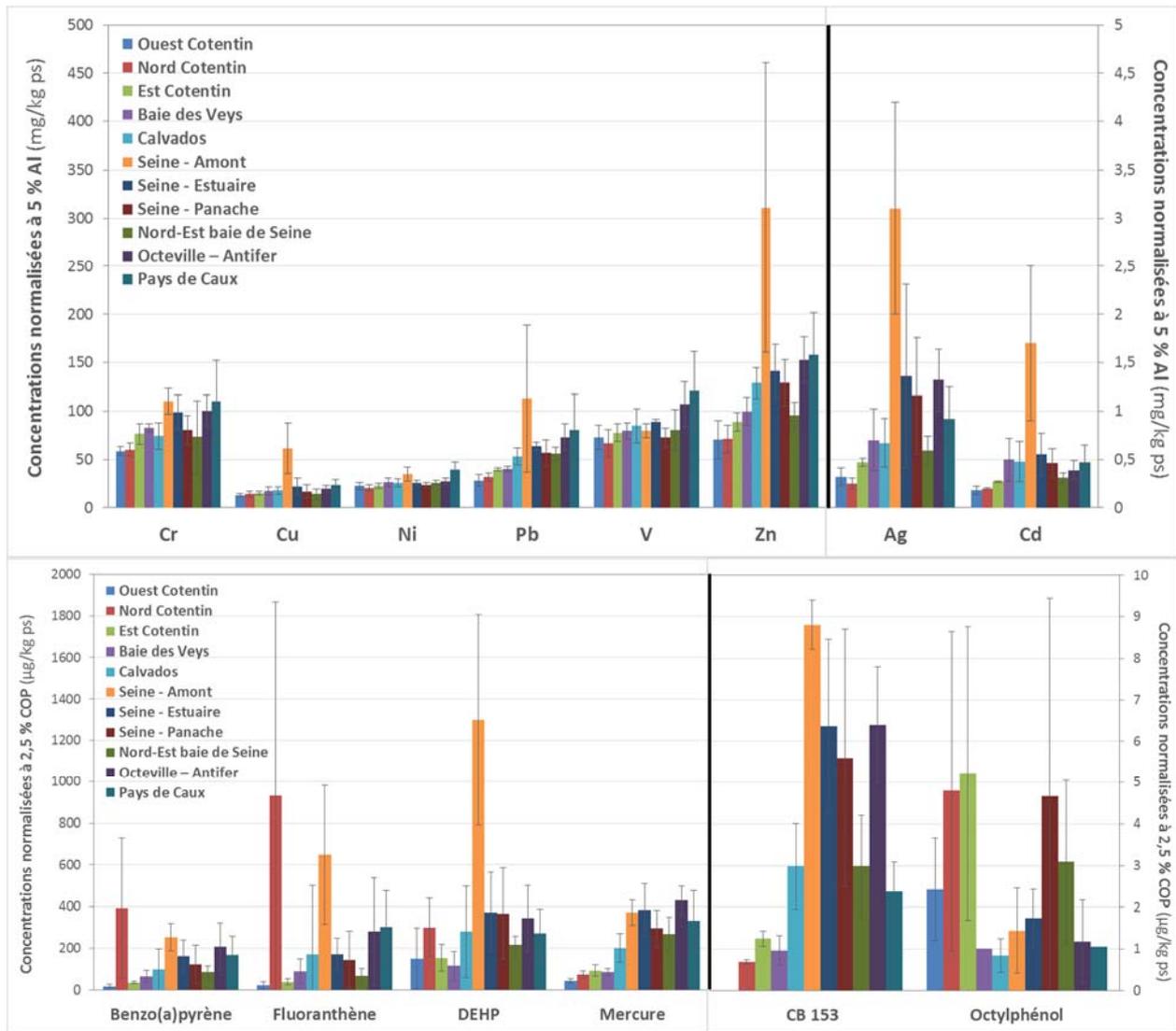
Les stations de ce secteur sont très côtières et ont révélé un gradient de diminution des concentrations dans la plupart des métaux entre les quatre premiers points (excepté *Penly-Biville* (70)). Cependant, les niveaux mesurés à la station *Nord-Est Fécamp* (66) et *Penly-Biville* (70) étaient exceptionnellement forts, particulièrement en Cr (plus forte concentration régionale à 66), et Co, Li, Mn, Ni, V (plus forts niveaux régionaux à 70). Globalement, les teneurs étaient majoritairement inférieures au critère BAC pour Cu, supérieures au BAC pour Cd, Ni, et supérieures à l'ERL pour Cr, Hg, Pb et Zn.



Dans ce secteur, le nombre de contaminants organiques retrouvés a significativement diminué. En effet, à part les 16 HAP mesurés dans les sédiments pour lesquels les seuls dépassements de l'ERL observés étaient pour le benzo(g,h,i)pérylène sur 4 des 5 stations du secteur et le phénanthrène à *Ouest Saint Valéry en Caux* (68) et *Penly-Biville* (70). Pour les PCB, 3 des 9 congénères (CB 118, CB 138 et CB 153) ont été quantifiés partout excepté à *Penly-Biville*, dépassant l'EAC pour le CB 118, avec les congénères CB 28, CB 101 et CB 180 à la station *Nord St Aubin sur Mer* (69), plus CB 52 et CB 105 à la station *Veulettes-Les Petites Dalles* (67). En outre, les polluants suivants ont été retrouvés de façon très localisée dans ce secteur : le métabolite DDDpp' du pesticide DDT et le dichlorométhane à *Veulettes-Les Petites Dalles*, et l'alkylphénol 4-tert-octylphénol à la station *Nord St Aubin sur Mer*. Enfin, comme dans les autres secteurs le phtalate DEHP y a été quantifié de façon homogène et proche de la moyenne de référence de la côte Ouest du Cotentin au Sud, et présentant des concentrations plus fortes aux deux stations du Nord (69 et 70).

### IV.4 Synthèse globale

La **Figure 14** présente les concentrations moyennes et les écart-types par secteur pour un certain nombre des métaux et des contaminants organiques recherchés. Il en ressort que, globalement, les sédiments de la Seine-Amont étaient les plus contaminés particulièrement pour l'argent, le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb, le zinc, le phtalate DEHP et les PCB lors de la campagne ROCCHSED 2013. Cependant, une station du Nord Cotentin (*Fort de l'Ouest*) est apparue fortement contaminée en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont l'anthracène, le benzo(a)anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, le chrysène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, le phénanthrène et le pyrène. Vraisemblablement grâce à l'action du bouchon vaseux de l'estuaire de la Seine et de processus physico-chimiques, la plupart des contaminants rencontrés dans la Seine-Amont sédimentent sur les particules ; leur export vers la baie de Seine s'en trouve alors limité. Il en résulte des concentrations quantifiables dans les secteurs de la baie sous l'influence de la Seine, mais de plus en plus faibles en s'éloignant, hormis quelques exceptions. En effet, des niveaux particulièrement forts ont été observés dans le secteur du Pays de Caux, notamment à *Penly-Biville* (Ni, Pb, Co, Fe, Li, Mn, V, HAP). La baie de Seine est donc globalement plus contaminée que l'Ouest Cotentin et le Nord Cotentin, excepté pour l'alkylphénol 4-tert-octylphénol, et un certain nombre de HAP.

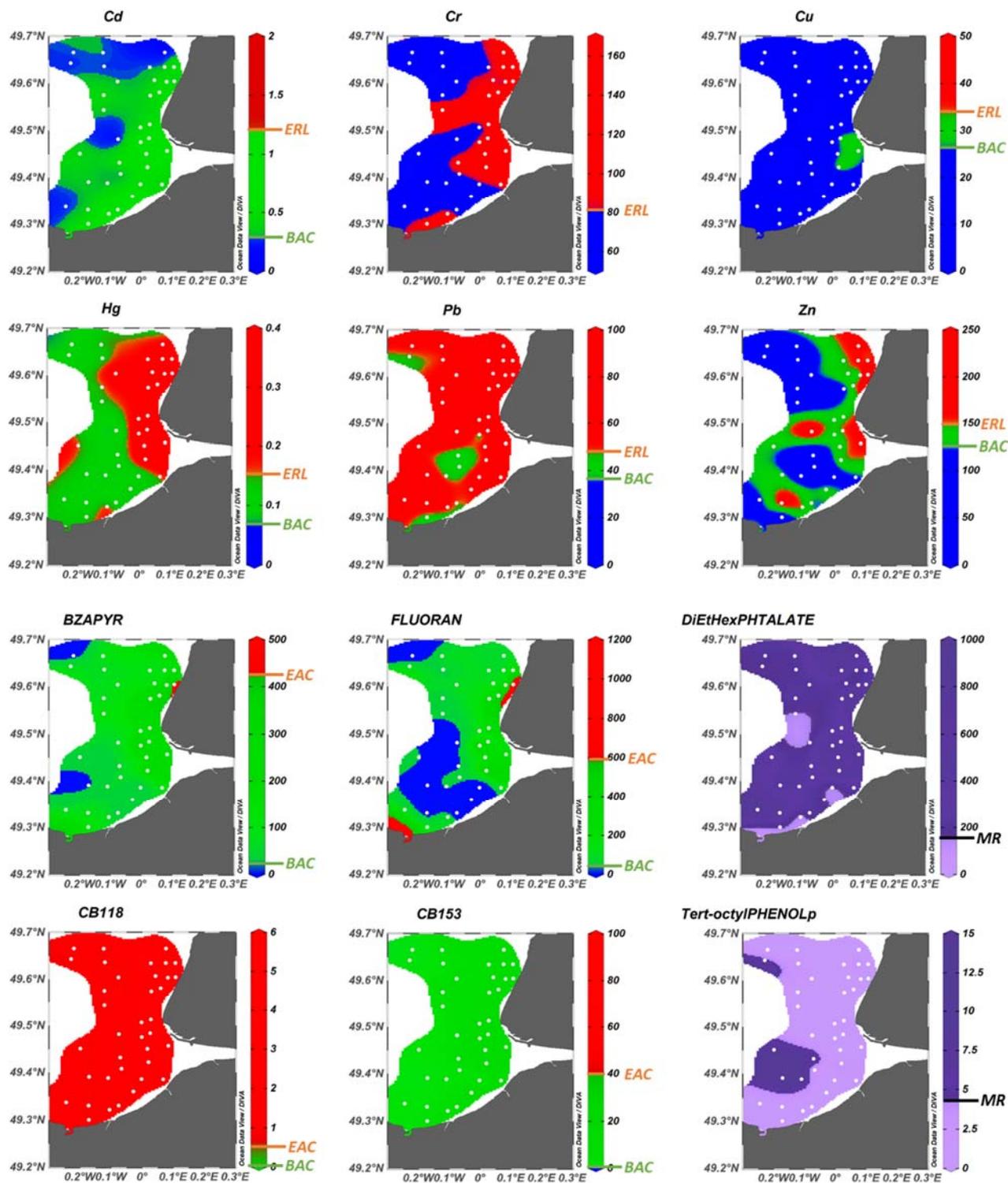


**Figure 14 :** Concentrations moyennes et écart-types en métaux (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) normalisées à 5 % d'aluminium (en haut) et en contaminants organiques (benzo(a)pyrène, fluoranthène, DEHP, CB 153 et 4-tert-octylphénol) et mercure normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire dans le sédiment des différents secteurs échantillonnés lors de la campagne ROCCHSED 2013.

Parmi les métaux, ceux pouvant potentiellement montrer des effets écotoxicologiques pour les organismes aquatiques, étaient : le plomb du Calvados au Pays de Caux ; le mercure de la Seine-Amont au Pays de Caux ; le chrome de l'Est Cotentin au Pays de Caux ; et de façon plus localisée et côtière, le zinc de l'Est du Calvados au Pays de Caux (**Figure 11**).

Parmi les contaminants organiques, les substances les plus problématiques dans le sédiment du littoral normand étaient : chez les HAP le benzo(g,h,i)pérylène (Nord Cotentin, de l'Orne au Pays de Caux), l'anthracène, le benzo(a)anthracène, le fluoranthène (Nord Cotentin, Orne, Seine-Amont, Octeville-Antifer), le chrysène et le pyrène (Nord Cotentin, Seine-Amont, Octeville-Antifer), le phénanthrène (Nord Cotentin, Orne, Octeville-Antifer, Pays de Caux), le benzo(a)pyrène (Nord Cotentin, Octeville-Antifer), l'indéno(1,2,3-cd)pyrène (Octeville-Antifer) ; et chez les PCB le congénère CB 118 est problématique sur l'ensemble de la baie de la Seine de l'Est Cotentin jusqu'au Pays de Caux, le CB 101 (Seine-Amont, Seine-Estuaire, Octeville-Antifer), les CB 28 et CB 52 (Seine-Amont et Seine-Estuaire) et CB 138 (Seine-Amont). L'absence de critères d'évaluation comme ceux d'OSPAR pour les autres substances ne permet d'aborder la question de l'écotoxicité potentielle pour les organismes aquatiques. Il est cependant important de remarquer l'omniprésence du phtalate DEHP sur l'ensemble du littoral normand du Mont Saint-Michel au Pays de Caux, avec des concentrations plus importantes en baie de Seine, et la présence plus hétérogène mais toutefois notable de l'alkylphénol 4-tert-octylphénol notamment au Nord et Est Cotentin et au large du panache de la Seine.

Cette contamination est cependant hétérogène et peut être très localisée comme en témoigne les cartes de contour réalisée pour les stations de l'Est de la baie de Seine, dont l'échelle a été adaptée aux critères ERL ou EAC d'OSPAR lorsqu'ils ont été définis (**Figure 15**). Ces cartes permettent de mettre en évidence les principaux emplacements de la pollution : en sortie d'estuaire de la Seine et au Sud du Pays de Caux au large d'Octeville et Antifer. La contamination paraît cependant plus globale dans cette zone pour le chrome, le plomb et le congénère CB 118 des PCB pour lequel l'EAC est particulièrement faible.



**Figure 15 :** Distribution des concentrations en métaux (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn) et en contaminants organiques (benzo(a)pyrène, fluoranthène, DEHP, CB 118, CB 153 et 4-tert-octylphénol) dans l'Est de la baie de Seine. Concentrations normalisées à 5 % d'aluminium pour Cd, Cr, Cu, Pb et Zn, et à 2,5 % de carbone organique particulaire pour Hg et les contaminants organiques. Graphique de contour par moyenne pondérée. Adaptation aux critères OSPAR si existants : BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

## V. ÉVOLUTION TEMPORELLE

Dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau, le suivi chimique dans les sédiments est recommandé pour l'évaluation des tendances. A ce jour, 4 campagnes sont disponibles de la baie du Mont St-Michel au Sud de la côte d'Albâtre : RNOSED 1993, RNOSED 2003, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013. Au total, 20 stations de la baie de Seine orientale à la côte Est du Cotentin ont été échantillonnées pendant chacune de ces campagnes, permettant d'aborder la question des tendances. En outre, 7 stations du Nord et Ouest Cotentin ont été échantillonnées lors des campagnes RNOSED 2001, ROCCHSED 2009 et ROCCHSED 2013.

Les paramètres communs aux campagnes dans le sédiment pour lesquels une tendance peut être recherchée sont pour les métaux : Cd, Hg, Pb, Cu et Zn, et pour les contaminants organiques : les 7 PCB indicateurs dont le CB 153, l'anthracène, le benzo(a)pyrène, le benzo(b)fluoranthène + benzo(k)fluoranthène, le benzo(g,h,i)pérylène + indéno(1,2,3-cd)pyrène, et le fluoranthène. Malheureusement, l'évolution temporelle pour le lindane et le DDT total ne peut pas être étudiée jusqu'en 2013 du fait des limites de quantification insuffisamment basses lors de cette dernière campagne.

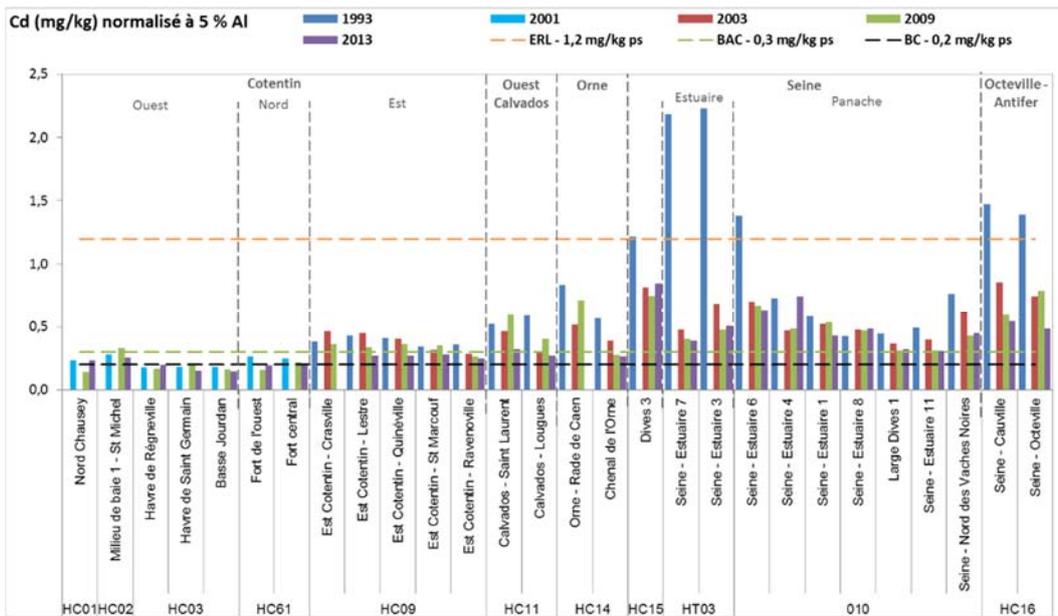
### V.1 Métaux

#### V.1.1 Cadmium (Figure 16)

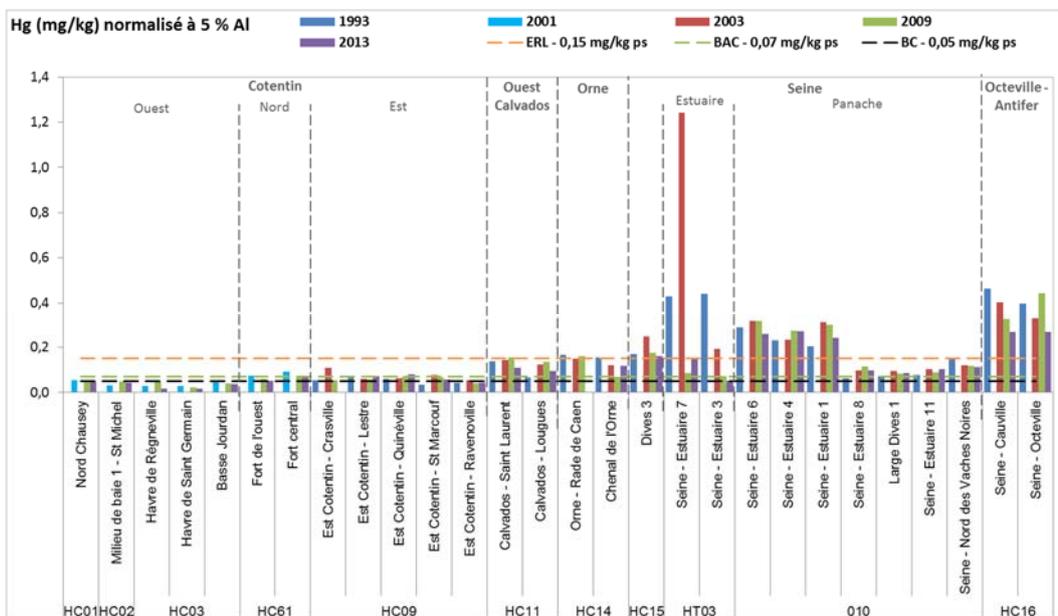
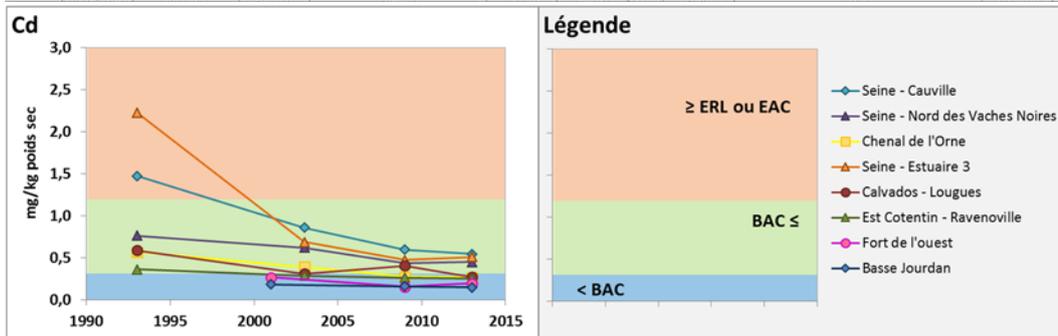
Comme pour les autres métaux, et quelque soit l'année, les niveaux en cadmium ont toujours été plus faibles dans les secteurs Ouest et Nord Cotentin par rapport à la baie de Seine et au Pays de Caux, bien que les concentrations soient tout de même peu élevées au niveau de l'Est Cotentin. En outre, les teneurs en Cd dans le sédiment superficiel a peu évolué entre les différentes campagnes dans l'Ouest et le Nord Cotentin. Par contre, une forte diminution des concentrations a pu être observée entre les campagnes 1993 et 2003, soit en 10 ans notamment en sortie de l'estuaire de Seine (*Estuaire 3, Estuaire 7, Estuaire 6*) et dans la zone Octeville-Antifer. Cependant cette évolution ne s'est pas poursuivie dans les prélèvements postérieurs, avec une augmentation entre 2003 et 2009 à *Est Cotentin-St Marcouf*, sur la côte du Calvados Ouest et à *Seine-Octeville*, et entre 2009 et 2013 principalement à *Dives 3* et *Seine-Estuaire 4*. Ainsi, les seules réductions significatives ( $p < 0,05$ ) ont pu être observées à *Basse Jourdan, Est Cotentin-Ravenoville, Chenal de l'Orne, Larges Dives 1, Seine-Estuaire 11, Seine-Nord des Vaches Noires* et *Seine-Cauville*.

#### V.1.2 Mercure (Figure 17)

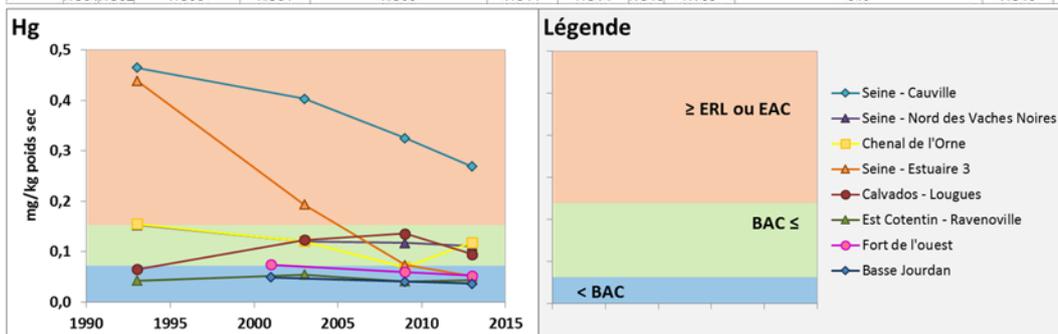
Comme pour les autres métaux, les concentrations en mercure à l'Ouest, au Nord et à l'Est Cotentin étaient faibles et proches voire inférieures au critère BC d'OSPAR en 2001, 2009 et 2013 avec peu d'évolutions entre ces trois campagnes excepté à *Est Cotentin-Crasville* où une plus forte concentration a été mesurée en 2003. Deux stations ont montré une très faible diminution significative ( $p < 0,05$ ) : *Basse Jourdan* et *Fort de l'Ouest*. Sur la côte Ouest du Calvados, les niveaux affleurent avec le critère ERL d'OSPAR et sont peu variables entre les quatre campagnes (1993, 2003, 2009 et 2013) donc sans évolution significative. Dans la zone de la baie de Seine orientale, les concentrations les plus fortes ont été mesurées dans les deux stations de l'estuaire (*Seine-Estuaire 3* et *7*), puis dans les stations les plus proches de l'embouchure (*Seine-Estuaire 1, 4* et *6*) et les plus faibles, de l'ordre de celles de l'Est Cotentin, dans l'extérieur du panache (*Seine-Estuaire 8* et *11, Larges Dives 1* et *Seine-Nord des Vaches Noires*). Les variations les plus importantes concernent les stations de l'estuaire, avec une forte concentration mesurée en 2003 à *Seine-Estuaire 7*. Une très faible diminution significative ( $p < 0,05$ ) du niveau en mercure n'a pu être observée qu'à deux stations dans cette zone : *Seine-Estuaire 3* et *Seine-Nord des Vaches Noires*. Enfin, les concentrations dans le secteur d'Octeville-Antifer étaient globalement supérieures à celles en sortie d'estuaire, suggérant une source additionnelle de mercure dans cette zone, comme les apports karstiques via des émergences d'eau douce (Laurier, 2001). Une diminution significative ( $p < 0,05$ ) apparaît cependant à *Seine-Cauville*.



**Figure 16 :**  
Evolution des concentrations en cadmium normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

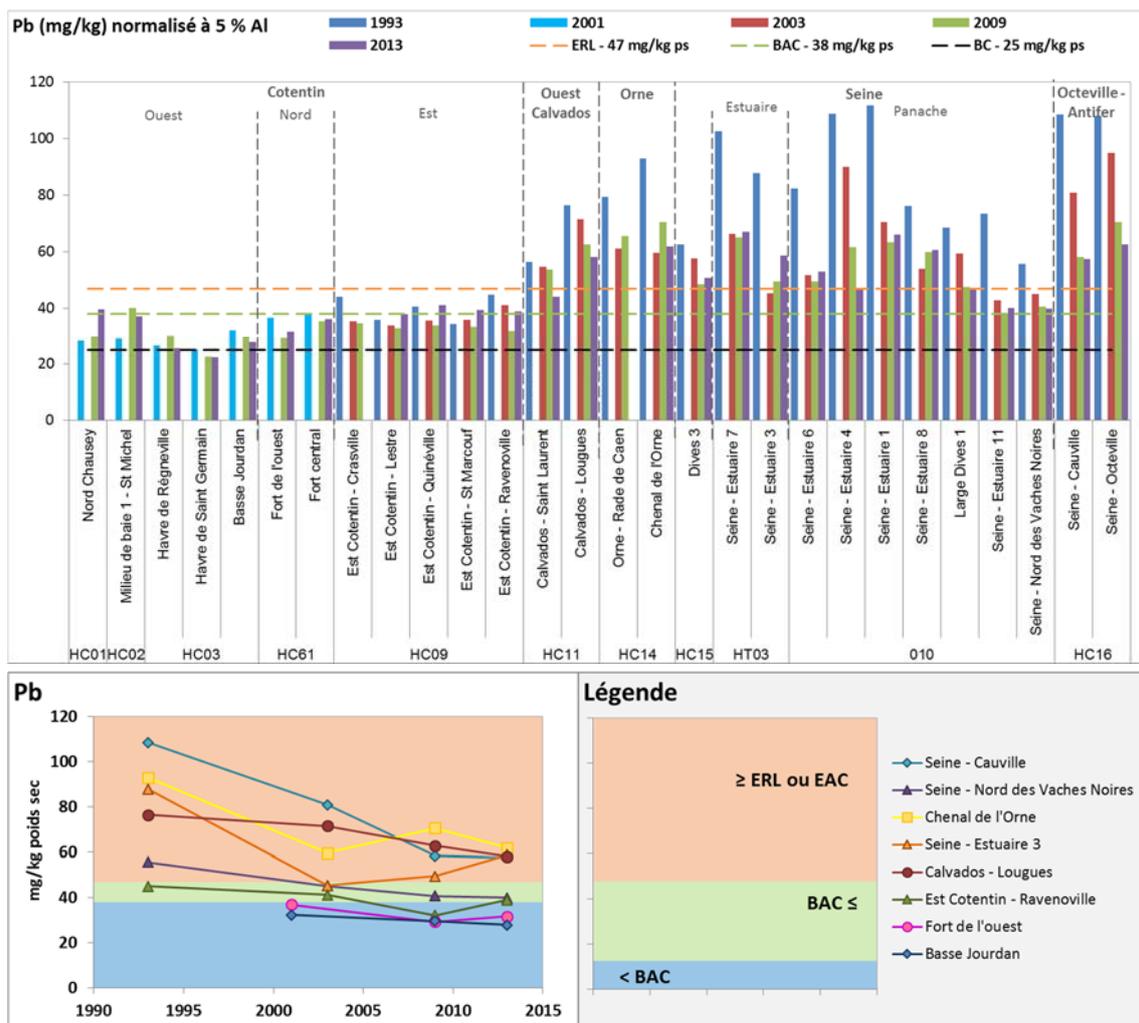


**Figure 17 :**  
Evolution des concentrations en mercure normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.



### V.1.3 Plomb (Figure 18)

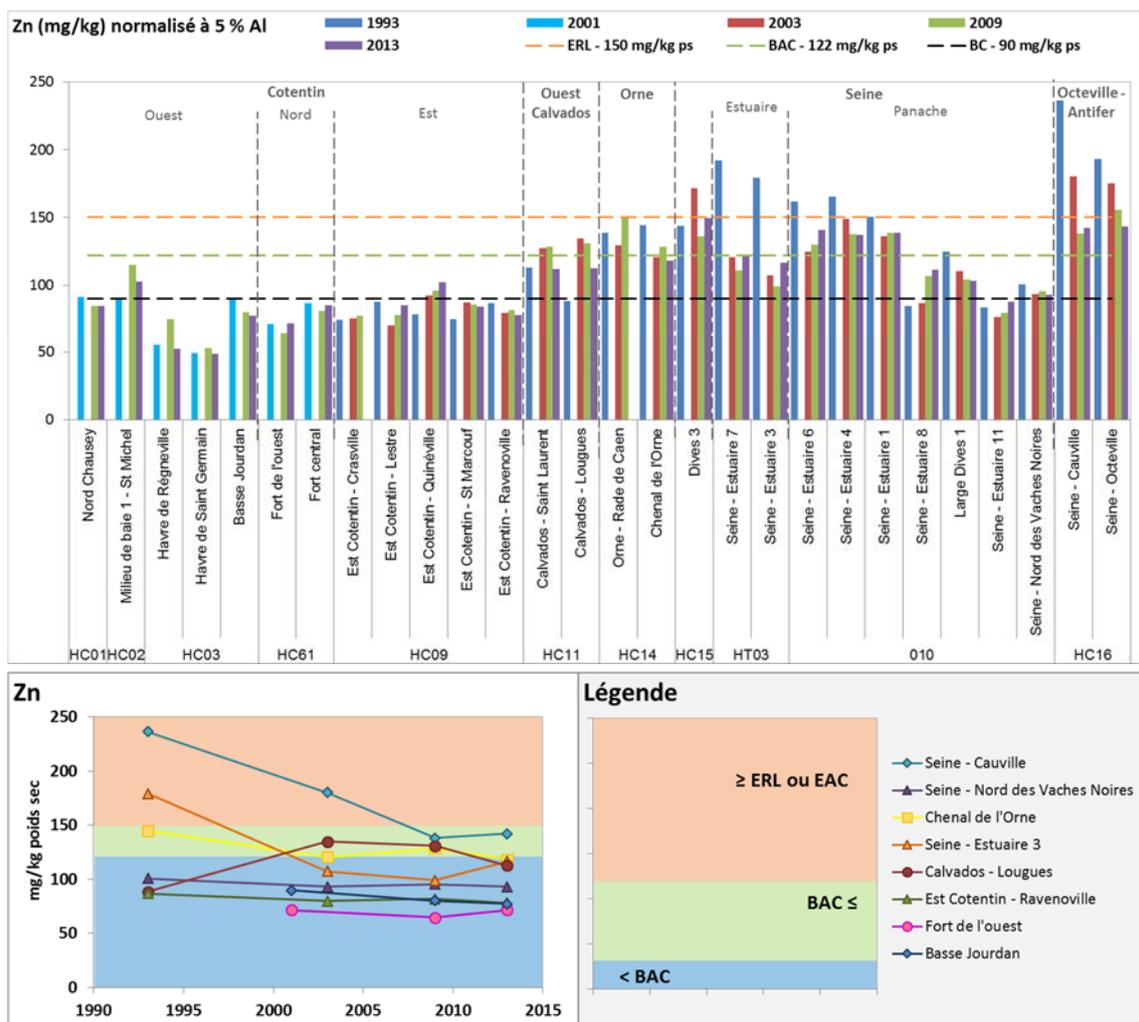
Comme pour les autres métaux, les concentrations en plomb à l'Ouest Cotentin étaient faibles et proches voire inférieures au critère BC d'OSPAR en 2001, 2009 et 2013 avec peu d'évolutions entre ces trois campagnes excepté à *Nord Chausey* et *Milieu de baie 1-St Michel* où une plus forte concentration a été mesurée en 2009 et/ou 2013. Dans ce secteur, seule la station *Basse Jourdan* a montré une faible diminution significative ( $p < 0,05$ ) en plomb. Au Nord et à l'Est Cotentin, les niveaux affleurent avec le critère ERL d'OSPAR et sont peu variables entre les quatre campagnes (1993, 2003, 2009 et 2013) donc sans évolution significative. Pour toutes les stations de la côte du Calvados et de la baie de Seine orientale, les concentrations en plomb étaient significativement plus fortes lors de la campagne 1993 par rapport aux échantillonnages ultérieurs. Les plus importants niveaux avaient alors été mesurés dans l'estuaire de la Seine, mais aussi dans la zone d'Octeville-Antifer. Malgré une importante diminution des concentrations en 2013, celles-ci restent globalement supérieures à l'ERL d'OSPAR. Dans ce secteur, quatre stations ont montré une réduction significative ( $p < 0,05$ ) du niveau en plomb : *Calvados-Lougues*, *Seine-Estuaire 4*, *Large Dives 1* et *Seine-Nord des Vaches Noires*. Enfin, les concentrations dans le secteur d'Octeville-Antifer étaient parmi les plus fortes du littoral normand, mais montrent une diminution significative ( $p < 0,05$ ) de plus d'un facteur 2 des concentrations en plomb sur les deux stations.



**Figure 18 :** Evolution des concentrations en plomb normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

### V.1.4 Zinc (Figure 19)

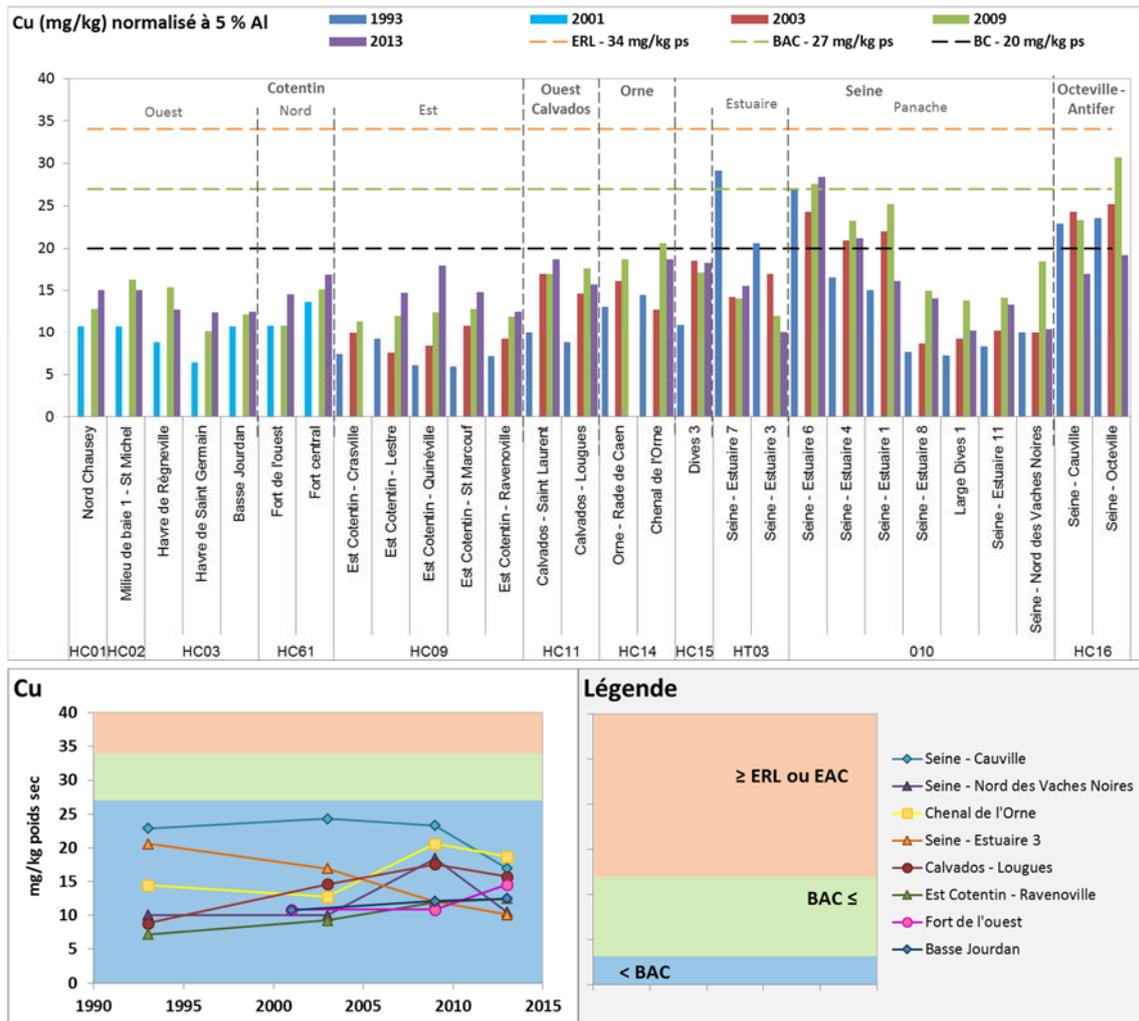
Comme pour les autres métaux, les concentrations en zinc à l'Ouest, au Nord et à l'Est Cotentin étaient faibles et proches voire inférieures au critère BC d'OSPAR en 2001, 2009 et 2013 avec peu d'évolutions entre ces trois campagnes excepté à *Milieu de baie 1-St Michel* et *Havre de Régnerville* où de plus fortes concentrations ont été mesurées en 2009. Dans ce secteur, seule la station *Est Cotentin-Quinéville* a montré une faible réduction significative ( $p < 0,05$ ) en zinc. Pour toutes les stations de la côte du Calvados les niveaux à chaque campagne se situaient entre le critère BC et l'ERL d'OSPAR sans tendance particulière. Les plus fortes concentrations en zinc dans la baie de Seine orientale ont été mesurées pendant la campagne de 1993, et dépassaient l'ERL dans l'estuaire et le proche panache. Dans les campagnes ultérieures, les niveaux variaient entre les critères BAC voir BC particulièrement pour les stations du secteur du panache les plus au large. Cependant, seulement deux stations y ont montré une réduction significative ( $p < 0,05$ ) du niveau en zinc : *Seine-Estuaire 4* et *Larges Dives 1*. Enfin, comme pour le plomb, les concentrations en Zn dans le secteur d'Octeville-Antifer étaient parmi les plus fortes du littoral normand, mais montrent une diminution significative ( $p < 0,05$ ) d'un facteur 2 à 5 à Cauville des concentrations en zinc sur les deux stations.



**Figure 19 :** Evolution des concentrations en zinc normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

### V.1.5 Cuivre (Figure 20)

Le cas du cuivre est particulier sur le littoral normand, avec des concentrations globalement faibles, du moins vis-à-vis du critère BC d'OSPAR, avec des dépassements du BC voire du BAC uniquement dans l'estuaire de la Seine et son proche panache et dans le secteur d'Octeville-Antifer. Par contre, il est à noter que les niveaux entre les différentes campagnes tendent à augmenter, du moins entre 1993 et 2009, avec une diminution lors de la campagne 2013. Cette augmentation des concentrations en cuivre dans les sédiments reste faible mais malgré tout significative ( $p < 0,05$ ) sur les stations *Havre de Saint Germain* (côte Ouest Cotentin), *Est Cotentin-St Marcouf* et *Ravenoville*, et une diminution à *Seine-Estuaire 3*.

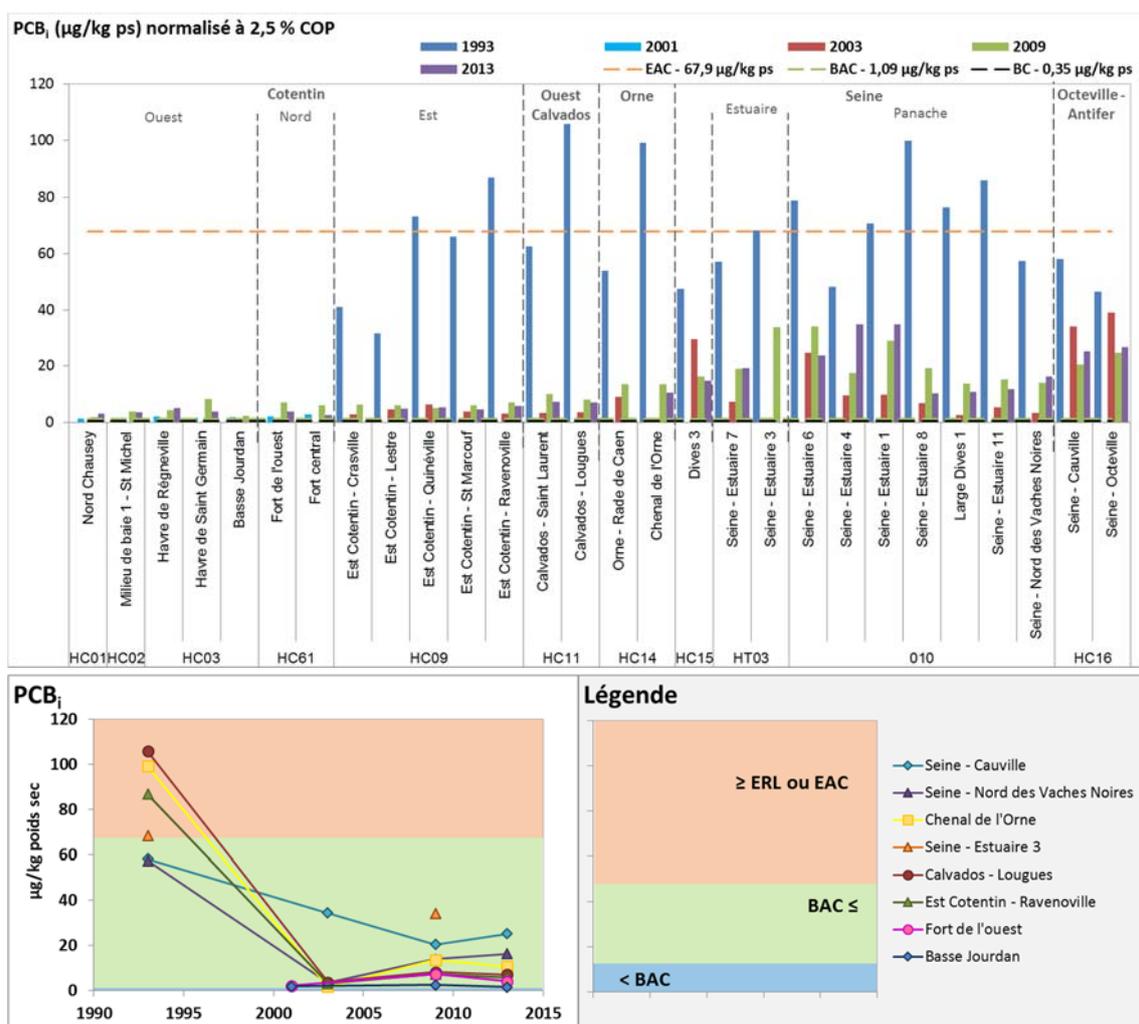


**Figure 20** : Evolution des concentrations en cuivre normalisées à 5 % d'aluminium entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

## V.2 Contaminants organiques

### V.2.1 PCB<sub>i</sub> (Figure 21)

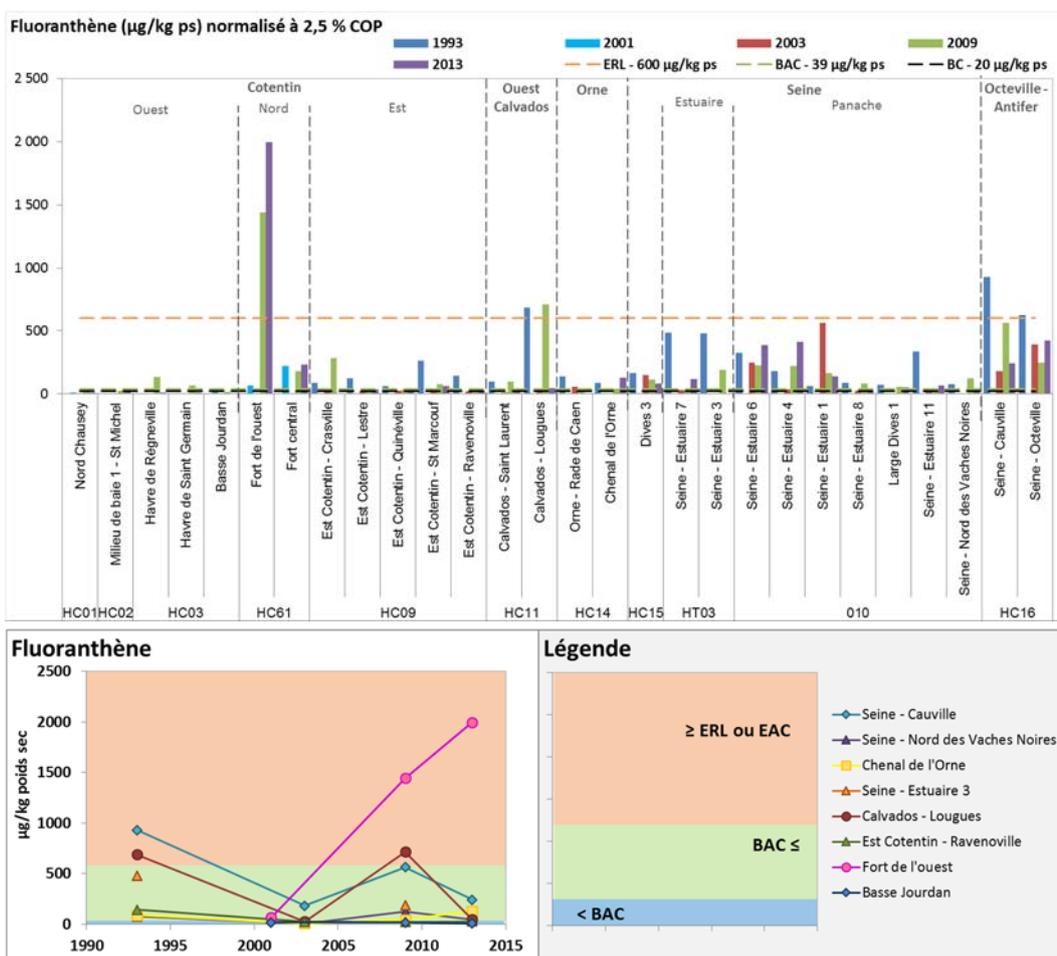
De façon à synthétiser l'information, les PCB<sub>i</sub> représentent le total des congénères CB28, CB52, CB101, CB118, CB153 et CB180, les plus fréquents dans l'environnement. L'analyse des données des différentes campagnes révèle la très faible contamination des sédiments dans les secteurs de l'Ouest et du Nord Cotentin, avec cependant des concentrations croissantes particulièrement entre les campagnes 2001 et 2009 sur toutes les stations, et une diminution entre 2009 et 2013, excepté à *Nord Chausey* et *Havre de Régneville*. Aucune évolution significative ( $p < 0,05$ ) n'est cependant identifiée sur ces secteurs, bien qu'à cette dernière station l'augmentation soit en limite de significativité ( $p = 0,052$ ). Dans tous les secteurs de la baie de Seine, de l'Est Cotentin à Octeville-Antifer, les concentrations étaient très élevées lors de la campagne 1993, dépassant l'EAC d'OSPAR de façon localisée. Les niveaux avaient ensuite fortement diminué partout en 2003, mais réaugmenté à la majorité des stations en 2009, voire aussi en 2013 comme à *Seine-Estuaire 4* et *1*. Ces variations ont pour conséquence l'absence d'évolution significative sur la plupart des stations, hormis à *Dives 3*. L'état chimique des sédiments de la baie de Seine reste cependant préoccupant vis-à-vis des PCB, lorsque les congénères sont examinés individuellement (voir § IV.5.2.2).



**Figure 21 :** Evolution des concentrations en PCB<sub>i</sub> (somme des congénères CB28, CB52, CB101, CB118, CB138, CB153 et CB180) normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

## V.2.2 Fluoranthène (Figure 22)

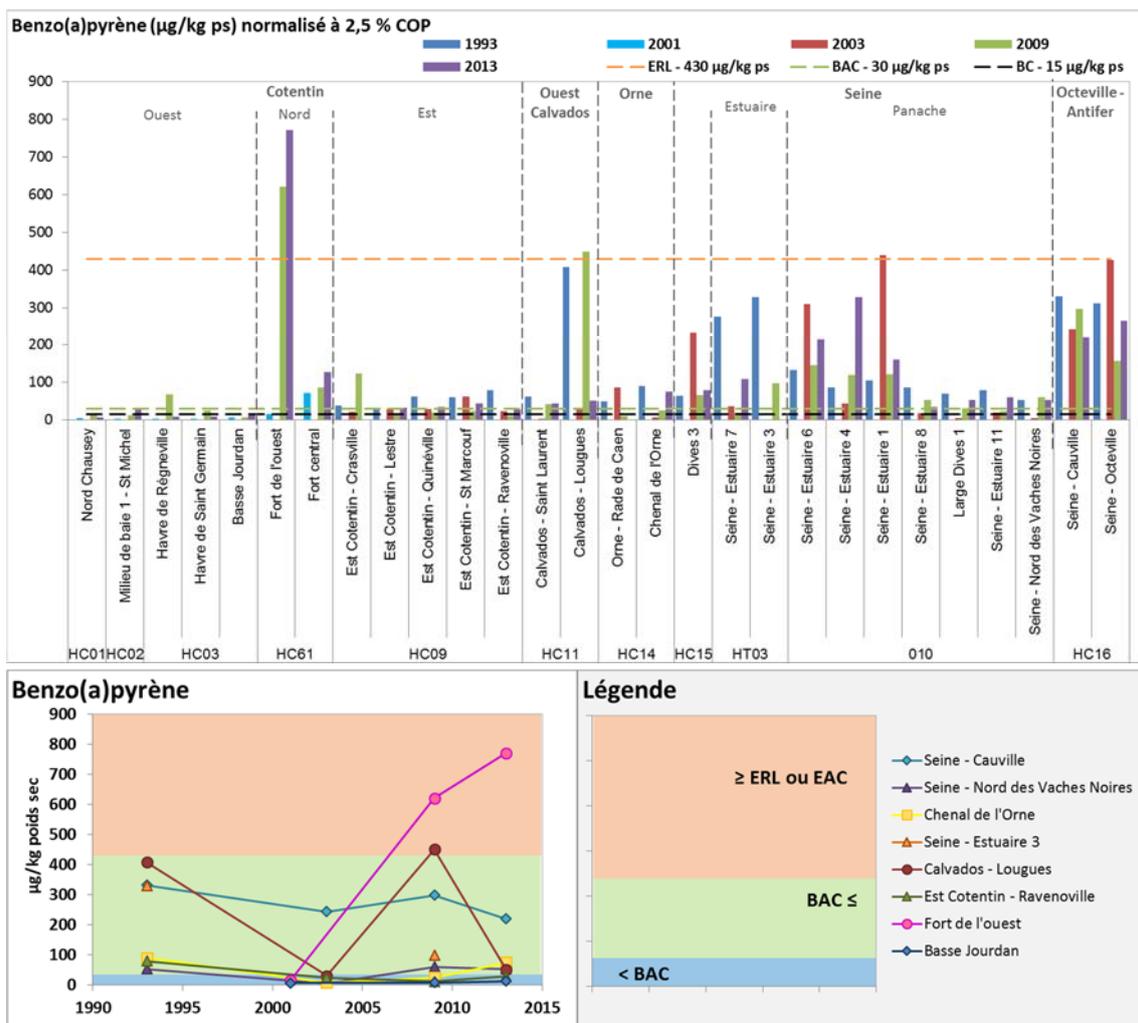
Le fluoranthène est un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) dit « mixte », car il appartient à la fois aux HAP d'origine pétrolière, dits « pétrogéniques », et aux HAP issus de la combustion incomplète de matière organique et notamment de produits pétroliers, dits « pyrolytiques ». Les résultats des campagnes d'échantillonnages dans les prélèvements successives montrent une très faible contamination de la côte Ouest du Cotentin par rapport à la baie de Seine orientale. Cependant, les concentrations ont significativement augmenté en 2009 par rapport à 2001, notamment à *Havre de Régneville* et *Havre de Saint Germain* où les niveaux ont ensuite baissé en 2013, excepté à *Milieu de baie 1-St Michel*. Dans la rade de Cherbourg, les niveaux ont très fortement augmenté à *Fort de l'Ouest* en 2009 (facteur 22,5) et en 2013 (+ 138 %), et sont les plus fortes concentrations en fluoranthène enregistrées sur le littoral normand. Dans le secteur de l'Est Cotentin, les concentrations ont fluctué autour du critère BAC d'OSPAR, étant majoritairement les plus forts en 1993. Après une baisse importante en fluoranthène en 2003, les niveaux ont globalement réaugmenté en 2009 et ont de nouveau diminué en 2013, hormis à *Ravenoville*. Sur la côte du Calvados, les concentrations les plus importantes ont été mesurées à *Calvados-Lougues* en 1993 et 2009 avec un dépassement de l'ERL d'OSPAR. Aux autres stations, les plus forts niveaux ont été enregistrés en 1993. Au niveau de la baie de Seine orientale, les plus fortes concentrations en fluoranthène en 1993 ont été mesurées aux stations dans l'estuaire de la Seine (*Seine-Estuaire 3* et *7*), puis ont diminué en 2003 excepté à *Seine-Estuaire 1*. En 2009 les concentrations ont globalement diminuées dans le panache en sortie d'estuaire, mais ont augmenté plus au large. Enfin en 2013, des niveaux plus forts qu'en 1993 ont été mesurés à *Seine-Estuaire 4* et *6*. Dans la zone d'Octeville-Antifer, les plus fortes concentrations ont été relevées en 1993 dépassant le critère ERL d'OSPAR, et sont variables lors des campagnes ultérieures. Sur le littoral, deux augmentations significatives ( $p < 0,05$ ) des niveaux en fluoranthène ont été observées à *Milieu de baie 1-St Michel* et *Fort de l'Ouest* entre 2001, 2009 et 2013.



**Figure 22 :** Evolution des concentrations en fluoranthène normalisées à 2,5 % de carbone organique particulière entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

### V.2.3 Benzo(a)pyrène (Figure 23)

Le benzo(a)pyrène est considéré comme un bon indicateur des niveaux des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dits « pyrolytiques », incluant aussi le benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-cd)pyrène. Ces HAP proviennent en majorité de la combustion incomplète de matière organique et notamment de produits pétroliers ; ils sont parmi les plus toxiques, mais peu solubles et stockés préférentiellement dans les sédiments. La distribution de la contamination pour le benzo(a)pyrène est globalement similaire au fluoranthène, les concentrations étant généralement plus faibles excepté lors de la campagne 2003. En effet, les niveaux y étaient alors plus importants en benzo(a)pyrène à *Orne Rade de Caen*, *Dives 3*, *Seine-Estuaire 6*, *Seine-Cauville* et *Seine-Octeville*. Ainsi, aucune évolution significative n'a été observée le long du littoral normand pour cette substance.



**Figure 23 :** Evolution des concentrations en benzo(a)pyrène normalisées à 2,5 % de carbone organique particulaire entre 1993 et 2013. BC = Background Concentration, BAC = Background Assessment Concentration, EAC = Ecotoxicological Assessment Criteria et ERL = Effect Range Low.

## VI. CONCLUSION

L'état chimique des sédiments a été présenté à partir des données les plus récentes obtenues lors de la campagne ROCCHSED 2013. Les 41 substances listées dans l'Arrêté du 25 janvier 2010 en application de la Directive Cadre sur l'Eau y ont été recherchées, y compris les contaminants demandés par OSPAR, incluant d'autres métaux et les PCB.

Les résultats ont montré que même si les sédiments sont une matrice intégratrice de la contamination, certains polluants y sont présents en quantité tellement faible que leur quantification est difficile. Ainsi, lors de la campagne 2013, les limites de quantification du laboratoire d'analyse n'étaient pas suffisamment basses pour quantifier 46 % des substances DCE recherchées. En sus des contaminants présentés de façon détaillée car fréquemment retrouvés, les polluants suivants ont ponctuellement été mesurés :

- en Seine-Amont : diphényléthers bromés (PBDE), chloroalcanes C10-C13, chlorpyrifos, diuron, isoproturon et tétrachloroéthylène ;
- dans plusieurs secteurs : dichlorométhane, hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène, pentachlorophénol, composés du tributylétain et trichlorobenzènes.

Les distributions des métaux (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Ni, Pb, V, Zn), des HAP fluoranthène et benzo(a)pyrène, des congénères CB153 et CB118, du phtalate DEHP et de l'alkylphénol 4-tert-octylphénol, ont permis l'évaluation de l'état chimique des sédiments, de les comparer entre secteurs géographiques, et d'analyser leur évolution entre les campagnes de 1993, 2001 et/ou 2003 selon les stations, 2009 et 2013 pour certaines substances. Une synthèse des évolutions est présentée dans le **Tableau 7**, et la carte de l'état chimique des sédiments lors de la campagne 2013 selon les critères OSPAR dans la **Figure 24**.

Les résultats de la campagne 2013 ont révélé la faible contamination de l'**Ouest Cotentin** notamment en métaux, HAP et PCB, malgré la présence de DEHP et de 4-tert-octylphénol, ainsi que d'autres substances de façon très localisée. En outre, aucune substance n'a dépassé les critères d'écotoxicité d'OSPAR. Des évolutions significatives ont pu être mises en évidence, avec une diminution des concentrations en Cd, Hg, et Pb à Basse Jourdan, au large de HCO3, mais une faible augmentation en Cu au *Havre de Saint Germain*, et plus importante en fluoranthène à *Milieu de baie 1-St Michel*. Du point de vue des sédiments marins, la côte Ouest Cotentin reste donc peu imprégnée par les contaminants chimiques.

Dans le **nord Cotentin**, les concentrations en métaux étaient faibles et relativement homogènes lors de la campagne 2013. Les principaux contaminants organiques présents étaient le DEHP, 4-tert-octylphénol, les 16 HAP avec un dépassement de l'ERL d'OSPAR pour 9 d'entre eux, et 5 des 8 congénères des PCB inférieurs à l'EAC d'OSPAR. La station *Fort de l'Ouest* à l'intérieur de la rade de Cherbourg présentait les plus fortes concentrations régionales en HAP, et ce aussi lors de la campagne de 2009. A cette station, une diminution significative a été observée entre les campagnes en mercure, mais une augmentation en fluoranthène.

Les stations de l'**Est Cotentin** présentaient des concentrations en métaux relativement homogènes et inférieures ou proches du critère BAC d'OSPAR lors de la campagne 2013, excepté pour le chrome où un léger dépassement de l'ERL d'OSPAR a été observé sur deux stations. En outre, les principaux contaminants (16 HAP, 8/9 PCB, DEHP, 4-tert-octylphénol) y ont été quantifiés avec un léger dépassement de l'EAC pour le congénère CB118. D'autres substances y ont été mesurées de façon plus localisée : dichlorométhane, hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène et pentachlorophénol. Une diminution significative en cadmium a été observée uniquement à *Ravenoville*, et une augmentation en cuivre (*Ravenoville* et *St Marcouf*) et en zinc (*Quinéville*).

En **Baie des Veys**, seul le chrome a légèrement dépassé l'ERL d'OSPAR parmi les métaux, leur concentration étant en moyenne légèrement supérieure à celle sur la côte Est Cotentin en 2013. Les contaminants organiques quantifiés pour certains de façon très localisée étaient 15 des 16 HAP, 6 des 9 PCB, le DEHP, ainsi que un métabolite du DDT et le dichlorométhane. L'EAC d'OSPAR a été dépassé sur deux des stations pour le congénère CB118. Aucune évolution n'est analysable sur ce secteur qui n'a pas été assez fréquemment échantillonné dans le cadre de ces campagnes.

**Tableau 7:** Tableau récapitulatif des évolutions significatives ( $p < 0,05$ ) en linéarité pour le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), la somme des 7 PCB indicateurs (PCB<sub>i</sub>), le congénère CB153 et les HAP benzo(a)pyrène et fluoranthène aux stations historiques des campagnes de suivi des contaminants dans le sédiment.

↘ = tendance décroissante, ↗ = tendance croissante, en jaune = dépassement de l'ERL ou EAC d'OSPAR en 2013.

Masse d'eau	Point(s)	Campagnes	Cd	Hg	Pb	Cu	Zn	PCB <sub>i</sub>	CB153	Benzo(a)pyrène	Fluoranthène
HC01	Nord Chausey	2001, 2009, 2013									
HC02	Milieu de baie 1 - St Michel	2001, 2009, 2013									↗
HC03	Havre de Régneville	2001, 2009, 2013									
	Havre de Saint Germain										
HC61	Basse Jourdan	2001, 2009, 2013	↘	↘	↘						
	Fort de l'ouest			↘							
HC09	Fort central	2001, 2009, 2013									
	Est Cotentin - Crasville										
HC09	Est Cotentin - Lestre	1993, 2003, 2009, 2013									
	Est Cotentin - Quinéville										
	Est Cotentin - St Marcouf										
	Est Cotentin - Ravenoville										
HC11	Calvados - Saint Laurent	1993, 2003, 2009, 2013									
	Calvados - Lougues										
HC14	Orne - Rade de Caen	1993, 2003, 2009, 2013									
	Chenal de l'Orne		↘								
HC15	Dives 3	1993, 2003, 2009, 2013									↘
HT03	Seine - Estuaire 7	1993, 2003, 2009, 2013									
	Seine - Estuaire 3										
010	Seine - Estuaire 6	1993, 2003, 2009, 2013									
	Seine - Estuaire 4										
	Seine - Estuaire 1										
	Seine - Estuaire 8										
	Large Dives 1										
	Seine - Estuaire 11										
HC16	Seine - Nord des Vaches Noires	1993, 2003, 2009, 2013	↘	↘	↘						
010	Seine - Cauville	1993, 2003, 2009, 2013	↘	↘	↘						
	Seine - Octeville										

Sur la côte du **Calvados**, un gradient croissant de l'Ouest vers l'Est est observable pour le mercure (normalisé au COP), le cadmium, les congénères CB153 et CB118 à l'approche de l'estuaire de la Seine en 2013. Plusieurs dépassements de l'ERL d'OSPAR ont été enregistrés pour une station (zinc, fluoranthène) ou plusieurs (mercure, chrome, plomb, CB118). Au sein de ce secteur, des concentrations plus fortes ont été mesurées au niveau des stations dans l'estuaire de l'Orne en mercure et argent, avec une des plus fortes concentrations régionales en certains HAP en aval. Comme dans la plupart des autres secteurs, le DEHP et le 4-tert-octylphénol y ont été quantifiés, et de façon très localisée les métabolites du DDT, les composés du tributylétain, les nonylphénols et le dichlorométhane. Plusieurs diminutions significatives ont été observées en plomb à *Lougues*, en fluoranthène à *Orne-Rade de Caen*, en cadmium à *Chenal de l'Orne*, et en PCB<sub>i</sub> à *Dives 3*.

Les stations de la **Seine-Amont** incluant la Risle, ont présenté des concentrations bien plus importantes que dans les autres secteurs étudiés avec un gradient décroissant de l'amont vers l'aval en 2013. Plusieurs dépassements de l'ERL ou EAC d'OSPAR ont été observés pour des métaux (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) et des contaminants organiques (6 HAP, 5 PCB), avec les plus forts niveaux régionaux à *Oisse* pour la plupart, et un niveau plus de neuf fois plus important en argent que sur l'Est Cotentin. Plusieurs autres polluants organiques ont été retrouvés (18 au total), dont, pour certains uniquement dans ce secteur, en sus du DEHP et 4-tert-octylphénol. Aucune évolution n'est analysable sur ce secteur qui n'a pas été assez fréquemment échantillonné dans le cadre de ces campagnes.

Dans l'**estuaire de la Seine**, les concentrations dans la plupart des contaminants ont significativement diminué par rapport à l'amont, avec, tout de même des dépassements de l'ERL ou de l'EAC d'OSPAR pour le chrome, le plomb, le zinc, un HAP et 3 congénères des PCB. De plus, 9 autres polluants organiques communs à la Seine-Amont ont été retrouvés, en sus du DEHP et 4-tert-octylphénol. Des diminutions significatives en mercure et cuivre n'ont été observées qu'au Nord de la masse d'eau.

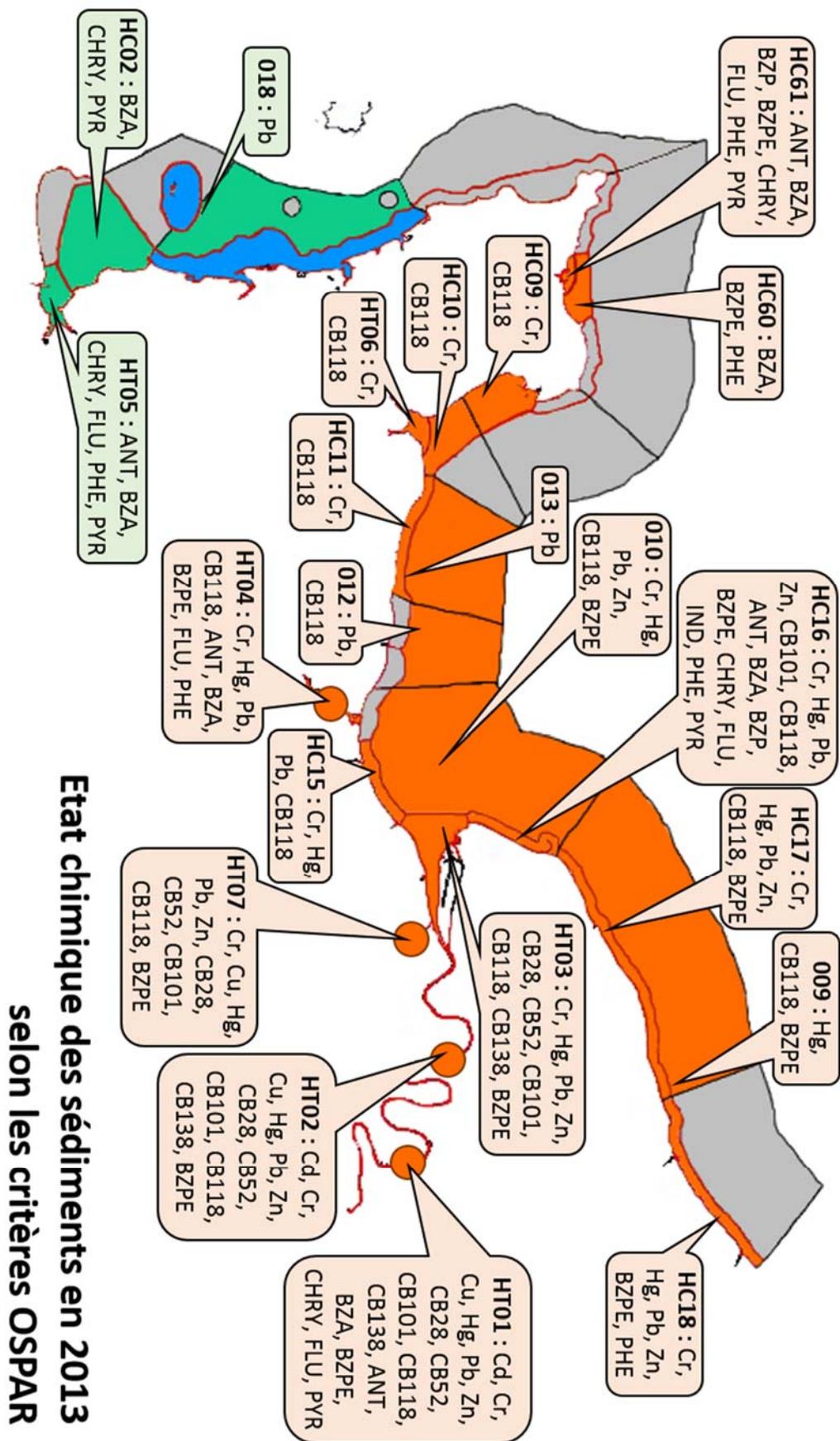
Dans le **panache de la Seine**, un gradient de dilution des stocks en métaux et polluants organiques de l'estuaire vers le large est particulièrement observable pour Ag, Cd, Cr, Cu, benzo(a)pyrène, fluoranthène, CB153, CB118 et DEHP. Seuls Cr, Pb, et le CB118 ont présenté des concentrations supérieures à l'ERL ou l'EAC d'OSPAR notamment aux stations les plus proches de l'estuaire. Les niveaux en 4-tert-octylphénol étaient plus forts dans les stations les plus au large. Plusieurs diminutions significatives ont été observées notamment dans les stations les plus au large pour le cadmium, le mercure, le plomb et le zinc.

Dans le **Nord-Est de la baie de Seine**, le gradient décroissant en s'éloignant de l'estuaire est notable, avec des concentrations en métaux et contaminants organiques plus faibles. Certaines substances y ont cependant dépassé l'ERL ou l'EAC d'OSPAR (Cr, Pb, CB118). De façon générale, moins de polluants ont pu y être quantifiés de façon très localisée, comme un métabolite du DDT, le dichlorométhane et les nonylphénols, en sus du DEHP et 4-tert-octylphénol. Aucune évolution n'est analysable sur ce secteur qui n'a pas été assez fréquemment échantillonné dans le cadre de ces campagnes.

Le secteur d'**Octeville-Antifer** est sous l'influence indirecte du panache de la Seine et directe d'activités anthropiques portuaires. Des dépassements de l'ERL ou EAC d'OSPAR ont été enregistrés de façon plus ou moins localisée pour le mercure, chrome, le plomb, le zinc, 7 HAP et 3 PCB. Comme pour les autres secteurs sous l'influence de la Seine, 7 autres polluants organiques ont été quantifiés de façon localisée, en sus du DEHP et 4-tert-octylphénol. Deux stations historiques étant situées dans cette zone, des diminutions significatives ont pu y être observées pour le plomb et le zinc, et seulement à *Seine-Cauville* pour le cadmium et le mercure.

Dans le secteur du **Pays de Caux**, le nombre de contaminants retrouvé a significativement diminué. Cependant, des particularités ont été observées, avec, notamment, des concentrations exceptionnellement fortes en chrome, cobalt, lithium, manganèse, nickel et vanadium présentant des maxima régionaux. Ainsi, des dépassements de l'ERL ou EAC d'OSPAR ont été enregistrés en chrome, mercure, plomb, zinc et CB118. D'autres polluants organiques ont aussi été localement mesurés : un métabolite du DDT et le dichlorométhane, en sus du DEHP et 4-tert-octylphénol. Aucune évolution n'est analysable sur ce secteur qui n'a pas été assez fréquemment échantillonné, une seule station étant commune aux campagnes 1998 et 2007, puis en 2013 pour les métaux, avec une évolution vraisemblablement décroissante pour le cadmium, le plomb et le zinc.

Les données des campagnes d'évaluation de la qualité chimique des sédiments marins ont donc permis de caractériser le niveau de contamination des différents secteurs du littoral normand. Cependant, cette interprétation est effectuée sur des résultats représentant plusieurs années d'accumulation de sédiments plus ou moins contaminés. Il est donc essentiel de pouvoir expliciter les observations effectuées dans le sédiment par l'analyse de données plus fines obtenues grâce aux analyses dans le biote. Un parallèle pourra alors être effectué en fonction de la nature des contaminants étudiés (hydrophiles vs. hydrophobes) et des sources vraisemblables de cette pollution. Cet aspect sera étudié dans un prochain rapport à paraître en 2017.



**Etat chimique des sédiments en 2013  
selon les critères OSPAR**

**Figure 24 :** Carte de l'état chimique des sédiments en 2013 selon les critères OSPAR dans les masses d'eau côtières, de transition et des zones marines du littoral normand. Cd = cadmium, Cr = chrome, Cu = cuivre, Hg = mercure, Pb = plomb, Zn = zinc, CBxxx = congénère des PCB, ANT = anthracène, BZA = benzo(a)anthracène, BZP = benzo(a)pyrène, BZPE = benzo(g,h,i)pérylène, CHRY = chrysène, FLU = fluoranthène, IND = indéno(1,2,3-cd)pyrène, PHE = phénanthrène, PYR = pyrène.

## BIBLIOGRAPHIE

AESN, **2008**. Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie. 271 p.

Arrêté du **25 janvier 2010** établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

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

Arrêté du **7 août 2015** modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

Arrêté du **27 juillet 2015** modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

Cauwet G., **1987**. Influence of sedimentological features on the distribution of trace metals in marine sediments. *Marine Chemistry*, 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*, 4 p.

Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du **23 octobre 2000** établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

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

Horowitz A.J., Meybeck M., Idlafkih Z. and Biger E., **1999**. Variations in trace element geochemistry in the Seine River Basin based on floodplain deposits and bed sediments. *Hydrological processes*, 13, 1329-1340.

Laurier F.J.G., **2001**. Cycle du mercure en estuaire, Baie de Seine et Pays de Caux : spéciation chimique et biodisponibilité. *Thèse de doctorat de l'Université Paris 7*, 177 p.

Mikac N., Niessen S., Ouddane B. and Wartel M., **1999**. Speciation of mercury in sediments of the Seine estuary (France). *Applied Organometallic Chemistry*, 13, 715-725.

OSPAR Commission, **2009**. Agreement on CEMP Assessment Criteria for the QSR 2010. *Agreement number: 2009-2*, 7 p.

OSPAR Commission, **2014**. Working Group on Monitoring and on Trends and Effects of Substances in the Marine Environment (MIME). *Summary record MIME 14/8/1-E*, Copenhagen, 24-28 November 2014.

RNO, **1988**. Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin – Dix années de surveillance 1974-1984 – Document technique, volume I, présentation générale. *IFREMER et Secrétariat d'Etat auprès du Premier Ministre chargé de l'Environnement*, 63 p.

RNO, **1995**. Surveillance du Milieu Marin – Travaux du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. *Rapport IFREMER édition 1995*, 36 p.

## ANNEXE : CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE ROCCHSED 2013.

ME DCE	Mnémo Q2	Libellé	Objectif	Latitude WGS84	Longitude WGS84
HC01	019-P-013	Chausey nord - Les Carniquets	DCE AESN	48,888283	-1,807167
018	018-P-065	Nord Chausey	DCE AESN	48,949044	-1,776359
HT05	020-P-116	Mont-St-Michel ouest	DCE AESN	48,634417	-1,513350
HT05	020-P-117	Baie du Mont-St-Michel - Grouin du Sud	DCE AESN	48,654833	-1,446783
HC02	020-P-038	Milieu de baie 1 - St Michel	DCE AESN	48,704039	-1,674351
HC03	018-P-062	Havre de la Vanlée	DCE AESN	48,930713	-1,544521
HC03	018-P-061	Havre de Régneville	DCE AESN	49,016715	-1,575024
HC03	018-P-028	Havre de Saint Germain	DCE AESN	49,220886	-1,604697
018	018-P-029	Basse Jourdan	DCE AESN	49,114049	-1,702362
HC61	016-P-011	Fort de l'ouest	RNO historique	49,672065	-1,638377
HC61	016-P-010	Fort central	DCE AESN	49,671065	-1,614376
HC60	016-P-046	Le Becquet 3	RNO historique	49,691733	-1,537633
HC09	015-P-064	Sud Fort de la Hougue	RNO historique	49,555333	-1,261134
HC09	015-P-040	Est Cotentin - Lestre	RNO historique	49,535399	-1,261199
HC09	015-P-039	Est Cotentin - Quinéville	RNO historique	49,515899	-1,248198
HC09	015-P-038	Est Cotentin - St Marcouf	DCE AESN	49,494065	-1,235197
HC09	015-P-037	Est Cotentin - Ravenoville	RNO historique	49,482898	-1,216363
HC10	014-P-044	Grandcamp sud	DCE AESN	49,422565	-1,071692
HT06	014-P-071	Pointe de Brévands	DCE AESN	49,361416	-1,157783
HT06	014-P-072	Baie des Veys - Banc de la Rouelle	DCE AESN	49,364500	-1,114267
HC11	013-P-018	Calvados - Saint Laurent	DCE AESN	49,374066	-0,827352
013	013-P-016	Calvados - Lougues	DCE AESN	49,374068	-0,716850
012	012-P-027	Pointe du Hoc - Large de Gold Beach	DCE AESN	49,422072	-0,491680
HT04	010-P-203	Orne amont - Pont de Ranville	DCE AESN	49,241317	-0,266484
HT04	010-P-204	Estuaire de l'Orne - Pointe du Siège	DCE AESN	49,278433	-0,241416
010	010-P-133	Chenal de l'Orne	DCE AESN	49,338239	-0,245673
HC15	010-P-144	Le Hôme-Merville sud	DCE AESN	49,301072	-0,172337
010	010-P-145	Le Hôme-Merville nord	RNO historique	49,331073	-0,173005
HC15	010-P-130	Dives 3	DCE AESN	49,322573	-0,105503
010	010-P-140	Dives - Houlgate	RNO historique	49,331074	-0,076503
010	010-P-086	Villers sur Mer - Côte Fleurie	RNO historique	49,360242	-0,028836
HT01	011-P-048	Seine - Rouen - Oissel	DCE AESN	49,388500	1,124000
HT02	011-P-045	Seine - Le Trait	DCE AESN	49,481334	0,784016
HT07	011-P-046	La Risle	DCE AESN	49,424333	0,423717
HT03	011-P-021	Seine - Estuaire 7	DCE AESN	49,386077	0,067332
HT03	011-P-064	Seine - Grand Placard sud 2	DCE AESN	49,457417	0,083483
HT03	011-P-020	Seine - Estuaire 3	DCE AESN	49,455912	0,046163
010	010-P-073	Seine - Estuaire 6	DCE AESN	49,422411	0,019663
010	010-P-215	Rade de la Carosse 2	RNO historique	49,450967	0,016033
010	010-P-052	Bouée Carosse	DCE AESN	49,484246	0,025329
010	010-P-071	Seine - Estuaire 4	RNO historique	49,475745	-0,002005
010	010-P-089	Banc du dépôt des dragages	RNO historique	49,513413	0,027328
010	010-P-067	Seine - Estuaire 1	DCE AESN	49,507413	-0,002673
010	010-P-087	Grande Rade Sud LH4	DCE AESN	49,482245	-0,075673
010	010-P-078	Seine - Estuaire 8	RNO historique	49,386410	-0,002669
010	010-P-080	Seine - Nord des Vaches Noires	DCE AESN	49,432410	-0,071172
010	010-P-083	Seine - Estuaire 11	DCE AESN	49,408576	-0,067171
010	010-P-128	Large Dives 1	DCE AESN	49,389075	-0,110005
010	010-P-142	Le Parfond sud-est	DCE AESN	49,391574	-0,171840
010	010-P-141	Le Parfond	DCE AESN	49,451242	-0,199342

<b>ME DCE</b>	<b>Mnémo Q2</b>	<b>Libellé</b>	<b>Objectif</b>	<b>Latitude WGS84</b>	<b>Longitude WGS84</b>
010	010-P-023	Extrémité chenal du Havre	RNO historique	49,543912	-0,122009
010	010-P-024	Nord Grande Rade	DCE AESN	49,575413	-0,122510
010	010-P-027	Face Buglise	RNO historique	49,604581	-0,077177
010	010-P-216	Large Heuqueville 2	RNO historique	49,636600	-0,120350
010	010-P-042	Intersect. Cabourg - Antifer	DCE AESN	49,665582	-0,124346
003	003-P-017	Zone d'attente GN	RNO historique	49,604913	-0,221346
003	003-P-015	Seine - Grand large Antifer	RNO historique	49,643414	-0,229681
003	003-P-016	Intersect. Ouistreham - Antifer	DCE AESN	49,665915	-0,221015
010	010-P-032	Nord dépôt de dragage	RNO historique	49,574582	0,028659
010	010-P-019	Seine - Octeville	RNO historique	49,581249	0,058660
HC16	010-P-033	Bricquemare	DCE AESN	49,605083	0,106827
010	010-P-018	Seine - Cauville	RNO historique	49,603916	0,082660
010	010-P-020	Seine - Cap de la Hève	RNO historique	49,607583	0,042326
010	010-P-034	Saint Jouin - Château d'eau	DCE AESN	49,635084	0,106493
010	010-P-040	Saint Jouin - Le Grand Hameau	RNO historique	49,635417	0,075325
010	010-P-038	Saint Jouin - Château d'eau large	RNO historique	49,634917	0,027658
010	010-P-041	Chenal Antifer A26	DCE AESN	49,666085	0,075991
HC17	009-P-080	Nord-Est Fécamp	RNO historique	49,782116	0,376684
HC17	009-P-056	Veulettes - Les Petites Dalles	DCE AESN	49,846262	0,536496
HC17	009-P-081	Ouest Saint Valéry en Caux	RNO historique	49,879333	0,671317
009	009-P-082	Nord St Aubin sur Mer	RNO historique	49,922517	0,863100
HC18	008-P-041	Penly - Biville	RNO historique	50,001441	1,240006