

Contamination chimique des sédiments superficiels côtiers en Manche Est et Mer du Nord

Bilan de la campagne ROCCHSED 2019



Fiche documentaire

Titre du rapport : Contamination chimique des sédiments superficiels côtiers en Manche Est et Mer du Nord. Bilan de la campagne ROCCHSED 2019	
Référence interne : RST-RBE/CCEM 2022-001 Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Date de publication : 2022/01/13 Version : 1.0.0 Référence de l’illustration de couverture © Ifremer – Teddy Sireau/prélèvement de sédiment ROCCHSED19 23/07/2019 Langue(s) : français
Résumé/ Abstract : Le réseau d’observation des contaminants chimiques (ROCCH) s’appuie sur la mesure des concentrations en contaminants chimiques dans le sédiment superficiel pour évaluer la qualité chimique du milieu marin. La campagne ROCCHSED19 est la 4 ^{ème} campagne d’échantillonnage dans les eaux côtières françaises de Mer du Nord et Manche Est. Elle s’est déroulée entre le 17 juin et le 17 septembre 2019 et a permis le dosage d’éléments trace métalliques et de contaminants organiques choisis sur la base des listes des réglementations en vigueur.	
Mots-clés/ Key words : contamination chimique, réseau d’observation, ROCCH, sediment, Manche est, Mer du Nord. Chemical contaminant, monitoring network, ROCCH, sediment, East Channel	
Comment citer ce document : GROUHEL A., MENET-NEDELEC F., BRUZAC S., CORDIER R., CROCHET S., DUQUESNE V., GODFRIN Y., MARY C., MAUFFRET A., M’ZARI L., SIREAU T., THOMAS B F., 2022, Contamination chimique des sédiments superficiels côtiers en Manche Est et Mer du Nord. Bilan de la campagne ROCCHSED19. RST/RBE-CCEM-ROCCH 22-001. 60p.	
Disponibilité des données de la recherche : Données QUADRIGE – Grouhel-Pellouin Anne, Menet-Nedelec Florence, Bruzac Sandrine, Cordier Remy, Crochet Sylvette, Duquesne Vincent, Godfrin Yoann, Mary Charlotte, Mauffret Aourell, M’Zari Lotfi, Sireau Teddy, Thomas Bastien (2019). ROCCHSED19 sediment dataset : chemical contaminants in surface sediment for environmental assessment in french coasts (East Channel and North Sea) . SEANOE. https://doi.org/10.17882/85611	
DOI : Campagne ROCCHSED19 : GROUHEL-PELLOUIN Anne (2019) ROCCHSED19 cruise, RV Thalia, https://doi.org/10.17600/18000948	

Commanditaire du rapport : Agence de l'eau Seine - Normandie	
Nom / référence du contrat : n°2019-07-18/DCP_SLM-14020	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN- NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : ROCCH – campagne ROCCHSED19	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
GROUHEL A. / Anne.Grouhel@ifremer.fr	RBE / CCEM
MENET F. / Florence.Menet@ifremer.fr	ODE / UL/ Port en Bessin
BRUZAC S.	RBE / CCEM
CORDIER R.	ODE / UL / Boulogne
CROCHET S.,	RBE / HMMN / LRHBL
DUQUESNE V.	ODE / UL / Boulogne
GODFRIN Y.	RBE / CCEM
MARY C.,	ODE / UL/ Port en Bessin
MAUFFRET A.,	RBE / CCEM
M'ZARI L	ODE / UL/ Port en Bessin
SIREAU T	RBE / CCEM
THOMAS B	RBE / CCEM
Encadrement(s) :	
Destinataire :	
Validé par :	

Table des matières

1	Introduction	12
2	Matériel et méthodes	13
2.1	Stratégie d'échantillonnage.....	13
2.1.1	Choix des sites échantillonnés.....	13
2.1.2	Protocole d'échantillonnage	15
2.2	Protocoles analytiques	16
2.2.1	Nature des sédiments.....	16
2.2.2	Analyse des contaminants chimiques	17
3	Résultats	18
3.1	Caractéristiques des échantillons.....	18
3.1.1	Résultats des analyses granulométriques	20
3.1.2	Composition minéralogique des échantillons	23
3.2	Concentration en métaux.....	25
3.2.1	Valeurs de référence	25
3.2.2	Synthèse des données 2019	25
3.2.3	Cadmium.....	27
3.2.4	Chrome	28
3.2.5	Nickel	29
3.2.6	Vanadium.....	30
3.2.7	Cuivre.....	31
3.2.8	Argent	32
3.2.9	Mercuré	34
3.2.10	Plomb.....	36
3.2.11	Zinc	37
3.2.12	Cobalt.....	38
3.2.13	Conclusions pour la distribution des métaux sur la zone d'étude :	39
3.3	Concentration en contaminants organiques réglementaires	41
3.3.1	Mode d'expression des résultats et valeurs de référence	41
3.3.2	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	42
3.3.3	PCB et composés de type dioxines.....	48
3.3.4	Composés organostanniques	52
3.3.5	Pesticides organochlorés historiques : DDT et lindane	54
3.3.6	Polybromodiphényl éthers (PBDE) et HBCDD : retardateurs de flamme bromés..	55
3.3.7	Composés perfluoroalkylés (PFC).....	59
3.3.8	Molécules de la liste des substances dangereuses ou pertinentes à surveiller	60
3.3.9	Conclusions pour les contaminants organiques.....	64

4 Etude de la toxicité des sédiments sur le développement embryo-larvaire de l’huître creuse.....	66
4.1 Contexte.....	66
4.2 Détermination de la toxicité d’échantillons sur le développement embryo-larvaire de l’huître creuse	66
4.2.1 Comparaison d’échantillons frais ou congelés	66
4.2.2 Impact d’un délai de conservation de 3 mois	68
4.3 Discussion.....	68
5 Conclusion.....	69
5.1 Synthèse par secteur.....	69
5.1.1 Frontière au cap Gris-Nez :	69
5.1.2 Cap Gris- Nez à Caux :	69
5.1.3 Pays de Caux :	69
5.1.4 Octeville – Antifer	69
5.1.5 Nord-Est baie de Seine	70
5.1.6 Panache Seine	70
5.1.7 Estuaire Seine :	70
5.1.8 Seine :	70
5.1.9 Calvados	70
5.1.10 Baie des Veys :	70
5.1.11 Cotentin Est.....	71
5.1.12 Cotentin Nord	71
5.1.13 Cotentin Ouest :	71
5.2 Conclusion générale.....	71

Table des illustrations :

Figure 1 : carottier-boîte de type Reineck à bord du N/O Thalia	15
Figure 2 : détail des zones à prélever dans la carotte. Schéma d’une carotte vue de dessus.....	16
Figure 3 : localisation des points de prélèvement de la zone Artois - Picardie avec indication de la granulométrie (par classe de valeurs pour la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 µm) mesurée sur les échantillons prélevés.	19
Figure 4 : localisation des points de prélèvement de la zone Seine – Normandie avec indication de la granulométrie (par classe de valeurs pour la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 µm) mesurée sur les échantillons prélevés.	19
Figure 5 : carte des teneurs en particules fines (de diamètre inférieur à 63µm) des points de l’estuaire et la baie de Seine	20
Figure 6 : distribution des classes granulométriques sur les points échantillonnés entre Dunkerque et Antifer (ordre géographique du Nord est au sud ouest).	20
Figure 7 : distribution des classes granulométriques sur les points échantillonnés en estuaire et baie de Seine.....	21
Figure 8 : distribution des classes granulométriques sur les points échantillonnés autour du Cotentin.	22

Figure 9 : teneur en carbone organique (en g/kg) et en carbonates (en % de carbonate de calcium) des échantillons de la campagne ROCCHSED19.	24
Figure 10 : teneurs en cadmium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	27
Figure 11 : teneurs en cadmium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)	27
Figure 12 : teneurs en chrome dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	28
Figure 13 : teneurs en chrome dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)	29
Figure 14 : teneurs en nickel dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	29
Figure 15 : teneurs en nickel dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).....	30
Figure 16 : teneurs en vanadium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)	30
Figure 17 : teneurs en cuivre dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	31
Figure 18 : teneurs en cuivre dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).....	31
Figure 19 : teneurs en argent dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	32
Figure 20 : teneurs en cuivre rapportées à la teneur en argent de chaque échantillon dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes en haut, valeurs normalisées à 5% d'aluminium en bas).....	33
Figure 21 : teneurs en argent dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).	34
Figure 22 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	34
Figure 23 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).	35
Figure 24 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	35
Figure 25 : teneurs en plomb dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	36
Figure 26 : teneurs en plomb dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).....	37
Figure 27 : teneurs en zinc dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes).....	37
Figure 28 : teneurs en zinc dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).....	38
Figure 29 : teneurs en cobalt dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium – dans l'encadré : pleine échelle).	39

Figure 30 : ROCCHSED19 - niveaux de contamination en éléments trace métalliques : moyenne de la somme des rapports à la valeur médiane pour les 10 éléments métalliques suivis (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).	39
Figure 31 : teneurs en HAP (somme des 10 concentrations individuelles rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.	42
Figure 32 : teneurs en fluoranthène (a), phénanthrène (b), benzo(a) pyrène (c), et anthracène (d) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.	44
Figure 33 : teneurs en HAP alkylés et soufrés (somme des 10 concentrations individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.....	46
Figure 34 : teneurs en méthylnaphtalènes (C1, C2 et C3 naphthalènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	46
Figure 35 : teneurs en méthylphénanthrènes(c1, c2 et C3 phénanthrènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	47
Figure 36 : teneurs en dibenzothiophènes (dibenzothiophène et C1, C2 et C3 dibenzothiophènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	47
Figure 37 : teneurs en PCB indicateurs (CB28, CB52, CB101, CB138, CB153 et CB180) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	48
Figure 38 : (détail de la figure 35) teneurs en PCB indicateurs (CB28, CB52, CB101, CB138, CB153 et CB180) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	49
Figure 39 : teneurs en PCB de type dioxine (somme des 12 congénères CB77, CB81, CB105, CB114, CB118, CB123, CB126, CB156, CB157, CB167, CB169, CB189) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique – échelle adaptée : les très fortes valeurs sont tronquées).	50
Figure 40 : concentrations en dioxines et furanes (somme des concentrations individuelles des 17 composés) des échantillons de la campagne ROCCHSED19, rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).	51
Figures 41 : concentrations pour les deux dioxines les plus abondantes (1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD, OCDD) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	51
Figure 42 : valeur de toxicité équivalente (TEQ) pour les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (somme des concentrations individuelles normalisées en dioxine et furane pondérées des facteur d'équivalence toxique de l'OMS).	52
Figure 43 : teneurs en composés butylétains, exprimées en étain, pour les formes mono ,di et tributyl étain (MBT, DBT et TBT) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).....	54
Figure 44 : teneurs en γ HBCDD dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).....	56
Figure 45 : abondance des différentes molécules de la famille PBDE dans l'échantillon de sédiment du point Dunkerque 25 prélevé au cours de la campagne ROCCHSED19. La concentration réelle en PBDE 209 a été tronquée (3,95 $\mu\text{g}/\text{kg ps}$) afin de faciliter la lecture.	57

Figure 46 : teneurs en PBDE 209 dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	57
Figure 47 : teneurs en PBDE 183 dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	58
Figure 48 : teneurs en PBDE (sauf 209 et 183) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	59
Figure 49 : teneurs en PFOS dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	60
Figure 50 : teneurs en DEHP dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	62
Figure 51 : teneurs en chloroalcanes à chaînes courtes dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	63
Figure 52 : teneurs en TBBPA dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).	63
Figure 53 : ROCCHSED19 – rang moyen (en %) des points de la zone d'étude pour l'ensemble des familles de contaminants organiques considérés : HAP, PCB, dioxines, PFC, PBDE, organostanniques, chloroalcanes à chaînes courtes, phtalate) établi à partir des concentrations normalisées rapportées à la valeur médiane.	65
Figure 54 : pourcentage de larves normales après exposition aux éluviats des sédiments frais ou congelés.	67
Figure 55 : pourcentage de larves normales après exposition aux éluviats des sédiments frais, congelés sans conservation (congelés 1) ou congelés et conservés 3 mois (congelés 2).	68
Tableau 1 : liste complète des points de prélèvement de la campagne ROCCHSED2019	15
Tableau 2 : Paramètres généraux mesurés sur les échantillons du ROCCHSED19	16
Tableau 3 : contaminants chimiques dosés dans les échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED19.	17
Tableau 4 : caractéristiques des échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED19 – moyenne par secteur géographique.	23
Tableau 5 : Valeurs d'ERL pour le sédiment marin. ERL : US Effects Range Low sediment toxicological criteria.	25
Tableau 6 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en métaux des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 5% d'aluminium – sauf pour le mercure, normalisé à 2.5% de carbone organique).	26
Tableau 7 : Valeurs seuils pour le sédiment marin. ERL : US Effects Range Low sediment toxicological criteria. EAC : ecological assesment criteria (OSPAR).	41
Tableau 8 : moyennes (en µg/kg poids sec) et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).	42
Tableau 9 : moyennes(en µg/kg poids sec) et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en polychlorobiphényles non de type dioxine (PCB indicateurs) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).	48

Tableau 10 : dioxines et furanes : moyennes et écart-types (en italiques) par secteur de la campagne ROCCHSED de la sommes des concentrations individuelles (en $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec) rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de teneur en carbone organique et valeur toxique équivalente (TEQ) par secteur.	50
Tableau 11 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en mono, di et tri butyl étains des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).....	53
Tableau 12 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en PBDE (congénères 47, 183 et 209, majoritaires parmi les PBDE recherchés) et Y-HBCDD des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique.	55
Tableau 13 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en PFOS des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique.	60
Tableau 14 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en diéthyl phtalate (DEHP), chloroalcanes à chaînes courtes, tétrabromobisphénol A (TBBPA) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).	61
Tableau 15 : échantillons retenus pour les tests d'écotoxicité sur larves d'huîtres. Comparaison congélation / réfrigération.....	67

Remerciements

Le réseau d'observation des contaminants chimiques ROCCH fait partie des réseaux d'observation français mis en œuvre par l'Ifremer avec le soutien financier des agences de l'eau. La campagne 2019 de prélèvement des sédiments côtiers de la Mer du Nord et de la Manche orientale a bénéficié du soutien financier des agences de l'eau Artois - Picardie et Seine - Normandie.

Elle a eu lieu grâce au navire océanographique Thalia pour les points en mer et grâce au personnel des laboratoires Ifremer Environnement et Ressources de Boulogne et de Port-en-Bessin pour les points à terre.

Nous remercions, les personnes de Genavir et de la direction de la flotte de l'Ifremer qui nous ont aidé à préparer cette campagne, l'équipage du Thalia ainsi que les collègues des LER qui nous ont permis de mener à bien l'échantillonnage. De même nous remercions le SYMEL et en particulier Pierre Scolan, pour son implication dans le prélèvement du point des Carniquets.

Les analyses de contaminants métalliques ont été réalisées par les collègues du laboratoire de biogéochimie des contaminants métalliques (LBCM), que nous remercions.

Les analyses des contaminants organiques ont été réalisées par les équipes du laboratoire d'étude des résidus et des contaminants dans les aliments (LABERCA) et du laboratoire d'expertises et d'analyses de la Vendée (LEAV). Nous les remercions.

Les tests d'écotoxicité sur les larves d'huître ont été réalisés par l'équipe du laboratoire TOXEM qui s'est adaptée à nos besoins pour mener l'étude de faisabilité envisagée. Merci à toute l'équipe.

Les analyses granulométriques ont été réalisées par le laboratoire Alpa chimies micropolluants de Rouen relayé pour les derniers échantillons par le laboratoire Alpa chimies hydrologie. Nous remercions toutes les personnes qui ont permis que l'ensemble des analyses soit réalisé jusqu'au dernier échantillon.

1 Introduction

La qualité chimique de l'environnement marin est évaluée régulièrement par la mesure des concentrations en contaminants chimiques dans des matrices intégratrices, représentatives de la qualité chimique du milieu ambiant.

Pour évaluer cette qualité, le Réseau d'Observation de la Contamination Chimique (ROCCH) s'appuie depuis 1979 sur les concentrations mesurées une fois par an dans la chair de mollusques élevés ou présents naturellement sur les côtes françaises, et depuis 1993 sur la mesure des concentrations dans le compartiment sédimentaire superficiel, à une fréquence pluriannuelle (tous les 10 ans jusqu'en 2007, tous les 6 ans depuis).

La campagne ROCCHSED 2019 est la 4^{ème} campagne d'échantillonnage dans les eaux côtières françaises de Mer du Nord et Manche Est. Elle s'est déroulée du 17 juin au 17 septembre 2019, menée conjointement par la coordinatrice du ROCCH, des membres de l'unité de Biogéochimie et Ecotoxicologie au centre Ifremer de Nantes, des membres des Laboratoires Environnement et Ressources de la station Ifremer de Port en Bessin (LER – Normandie) et du centre Ifremer de Boulogne sur mer (LER – Boulogne). La liste des points programmés dans le cadre de cette campagne ainsi que les analyses réalisées sur chacun ont été établies de manière à répondre à 2 objectifs :

- **Suivre l'évolution de la contamination chimique sédimentaire** des côtes, vis-à-vis d'un panel de contaminants historiques, en complétant en 2019 les données acquises lors des cycles précédents :
 - **1^{er} cycle** : 1993 – baie de Seine, 1998 – Manche Est, 2001 – Est Cotentin ;
 - **2^{ème} cycle** : 2003 – Baie de Seine, 2007 – Manche Est, 2011 côtes d'Artois – Picardie ;
 - **3^{ème} cycle** : 2009 – baie de Seine, 2013 Manche Est.
- **Mettre en œuvre une étude de faisabilité de tests écotoxicologiques de manière à évaluer la toxicité globale des sédiments** à partir de la mesure d'effets toxiques sur le développement embryo-larvaire des huîtres.

2 Matériel et méthodes

2.1 Stratégie d'échantillonnage

2.1.1 Choix des sites échantillonnés

Le sédiment constitue un compartiment intégrateur de la contamination chimique du milieu marin sous réserve que les particules sédimentaires retiennent les contaminants chimiques présents. Le plan d'échantillonnage retenu pour les différentes campagnes successives s'est donc attaché à localiser des zones de dépôts des particules fines aptes à retenir les contaminants chimiques. Ces points, précisément localisés, sont ensuite rééchantillonnés lors de chaque cycle. Ils permettent d'appréhender l'évolution de la contamination, sous réserve d'une certaine stabilité de la sédimentation pour pouvoir considérer la couche superficielle comme représentative de la contamination chimique la plus récente et d'une sédimentation suffisante pour que la couche superficielle soit totalement renouvelée entre deux campagnes.

Les points retenus lors de la campagne de 2019 sont mentionnés dans le Tableau 1 sous le nom attribué dans la base de données Quadrige. Pour faciliter la comparaison avec les résultats de 2013 (Menet et al 2016), les points sont regroupés en secteurs géographiques identiques à ceux qui avaient été définis pour la synthèse de la campagne 2013.

Mnémo.	Lieu de surveillance : Libellé	Coordonnées x	Coordonnées y	secteur
001-P-086	Avant-port Est (Dunkerque)	2.3520001845	51.0574833844	Frontière à Gris Nez
001-P-093	Dunkerque 25	2.1636634565	51.0324805086	
001-P-097	Dunkerque 29	1.8519919883	50.9641416282	
001-P-116	Mardyck - sédiment	2.2464978396	51.0588155521	
001-P-118	Les Hemmes d'Oye	1.9781600548	51.0104777476	
001-P-179	Wissant - La Barrière	1.6378163347	50.9118165359	
001-P-180	Cap Blanc Nez - Escalles 2	1.68043351438	50.9399497083	
001-P-181	Nord-Ouest Grand Fort Philippe	2.06146650573	51.0269995977	
001-P-182	Nord Malo les Bains	2.36641621404	51.0633333333	
002-P-035	Le Portel	1.5558264322	50.7029640643	Gris Nez à Pays de Caux
002-P-037	Chenal RoRo (Boulogne)	1.5686592415	50.7309650114	
004-P-009	Le Touquet-Paris-Plage	1.5516643487	50.5382926633	
006-P-024	Cayeux-sur-Mer	1.45358378596	50.1807664454	
006-P-025	Quend Plage	1.51681667	50.31603333	
007-P-023	Baie de Somme 95	1.5653403762	50.2141170057	
008-P-014	Bas Fort Blanc	1.0686710937	49.9307700945	Pays de Caux
008-P-041	Penly - Biville	1.2400060644	50.001440683	
008-P-065	Penly - nord	1.21556628445	49.9906336753	
009-P-033	Paluel 8	0.5319952763	49.8590952775	
009-P-080	Nord-Est Fécamp	0.37668376584	49.7821162744	
009-P-081	Ouest Saint Valéry en Caux	0.67131663649	49.87933313217	
009-P-082	Nord St Aubin sur Mer	0.86309997988	49.92251659626	
010-P-018	Seine - Cauville	0.0826597699	49.6039164343	Octeville – Antifer
010-P-019	Seine - Octeville	0.0586599036	49.5812488737	
010-P-020	Seine - Cap de la Hève	0.0423255169	49.6075827336	
010-P-032	Nord dépôt de dragage	0.0286594775	49.5745816785	
010-P-033	Bricquemare	0.1068268957	49.6050834125	

Mnémo.	Lieu de surveillance : Libellé	Coordonnées x	Coordonnées y	secteur
010-P-034	Saint Jouin - Château d'eau	0.1064927327	49.63508422	
010-P-038	Saint Jouin - Château d'eau large	0.0276578019	49.63491664	
010-P-040	Saint Jouin - Le Grand Hameau	0.0753254232	49.635417207	
010-P-041	Chenal Antifer A26	0.0759912605	49.666084716	
010-P-023	Extrémité chenal du Havre	-0.1220093992	49.5439124332	Nord-Est baie de Seine
010-P-024	Nord Grande Rade	-0.1225102733	49.5754132816	
010-P-027	Face Buglise	-0.0771768237	49.6045812663	
003-P-015	Seine - Grand large Antifer	-0.229680978	49.6434138826	
003-P-016	Intersect. Ouistreham - Antifer	-0.2210147576	49.6659145954	
003-P-017	Zone d'attente GN	-0.2213464148	49.6049129337	
010-P-042	Intersect. Cabourg - Antifer	-0.1243461254	49.6655823775	
010-P-216	Large Heuqueville 2	-0.1203500302	49.6366002816	
010-P-052	Bouée Carosse	0.0253285446	49.4842458575	Panache Seine
010-P-067	Seine - Estuaire 1	-0.002672654	49.5074128274	
010-P-071	Seine - Estuaire 4	-0.0020051102	49.4757453113	
010-P-073	Seine - Estuaire 6	0.0196634457	49.4224107871	
010-P-078	Seine - Estuaire 8	-0.0026693619	49.3864095576	
010-P-080	Seine - Nord des Vaches Noires	-0.0711719943	49.4324100064	
010-P-083	Seine - Estuaire 11	-0.0671712654	49.4085760762	
010-P-087	Grande Rade Sud LH4	-0.0756734432	49.4822446342	
010-P-089	Banc du dépôt des dragages	0.0273277896	49.5134133372	
010-P-141	Le Parfond	-0.1993417581	49.4512423629	
010-P-128	Large Dives 1	-0.1100049325	49.3890750548	
010-P-215	Rade de la Carosse 2	0.01603299135	49.45096660632	
011-P-004	Villerville 2	0.1238327263	49.4037448192	Estuaire Seine
011-P-021	Seine - Estuaire 7	0.0673320616	49.3860770238	
011-P-064	Seine - Grand Placard sud 2	0.08348320257	49.45741701871	Seine
011-P-045	Seine - Le Trait	0.78401629451	49.48133373567	
011-P-046	La Risle	0.42371655602	49.42433313217	
011-P-048	Seine - Rouen - Oissel	1.12400020117	49.38850030175	Calvados
010-P-238	Le Hôme-Merville ouest	-0.15125	49.30195	
010-P-239	Sud du Parfond - est chenal de Ouistreham	-0.18335	49.39061667	
010-P-130	Dives 3	-0.1055030389	49.3225733172	
010-P-133	Chenal de l'Orne	-0.2456729473	49.3382387823	
010-P-140	Dives - Houlgate	-0.0765026851	49.331073881	
010-P-086	Villers sur Mer - Côte Fleurie	-0.0288358474	49.3602418835	
010-P-145	Le Hôme-Merville nord	-0.1730046266	49.3310727647	
010-P-203	Orne amont - Pont de Ranville	-0.2664836049	49.2413166365	
010-P-204	Estuaire de l'Orne - Pointe du Siège	-0.24141621404	49.2784329109	
012-P-027	Pointe du Hoc - Large de Gold Beach	-0.491680162	49.422071512	Baie des Veys
013-P-016	Calvados - Lougues	-0.7168500066	49.3740675963	
013-P-018	Calvados - Saint Laurent	-0.8273522024	49.3740663049	
014-P-039	Baie des Veys 9 - Pointe de Brévands	-1.15785	49.36143333	
014-P-044	Grandcamp sud	-1.0716917102	49.4225647412	
014-P-072	Baie des Veys - Banc de la Rouelle	-1.11426674713	49.3645001006	

Mnémo.	Lieu de surveillance : Libellé	Coordonnées x	Coordonnées y	secteur
015-P-037	Est Cotentin - Ravenoville	-1.216362904	49.4828979915	Cotentin Est
015-P-038	Est Cotentin - St Marcouf	-1.235196919	49.4940647361	
015-P-039	Est Cotentin - Quinéville	-1.2481977825	49.5158985028	
015-P-040	Est Cotentin - Lestre	-1.2611985819	49.5353988737	
015-P-042	Est Cotentin - Crasville	-1.2681991845	49.5520659062	
016-P-010	Fort Central	-1.6143760048	49.6710650128	Cotentin Nord
016-P-011	Fort de l'Ouest	-1.6383765043	49.6720647546	
016-P-046	Le Becquet 3	-1.537633333	49.691733333	
018-P-028	Havre de Saint Germain	-1.6046966087	49.2208864213	Cotentin ouest
018-P-029	Basse Jourdan	-1.7023622405	49.1140491095	
018-P-061	Havre de Régnéville	-1.5750237823	49.0167147115	
018-P-062	Havre de la Vanlée	-1.544520859	48.9307128107	
018-P-065	Nord Chausey	-1.7763591715	48.9490438979	
019-P-013	Chausey nord - Les Carniquets	-1.8072333	48.8882	
020-P-038	Milieu de baie 1 - St Michel	-1.6743506015	48.7040387047	
020-P-047	Banc de Chatry	-1.8273534059	48.6990367795	
020-P-116	Mont-St-Michel ouest	-1.51335043251	48.6344166164	
020-P-117	Baie du Mont-St-Michel - Grouin du Sud	-1.446783344	48.6548330316	

Tableau 1 : liste complète des points de prélèvement de la campagne ROCCHSED2019

2.1.2 Protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage est celui qui a été publié par Aquaref (Amouroux 2016).

La campagne ROCCHSED19 comprend à la fois des échantillons prélevés à partir du navire océanographique *Thalia* à l'aide d'un carottier-boîte Reineck (Figure 1) pour des fonds à plusieurs mètres sous la surface et des échantillons prélevés sur estran émergé.



Figure 1 : carottier-boîte de type Reineck à bord du N/O *Thalia*

Sur zone découvrante à marée basse, les prélèvements ont été faits à pied sur l'estran directement avec les spatules ou les cuillères, sur une surface non piétinée, en veillant à rester dans le premier centimètre du sédiment.

Par fonds de plus de 3 mètres il est nécessaire d'utiliser un navire hauturier capable de mettre à l'eau un carottier-boîte. Les machines ne pouvant être stoppées sur station, les précautions sont

prises pour conditionner les échantillons dans un local à l'abri des contaminations par les fumées d'échappement.

Les prélèvements à la benne Shipek sont à proscrire car ce type de matériel mélange irrémédiablement les couches sédimentaires. Cet équipement a été utilisé pour reconnaître la nature du fond avant d'envoyer le carottier dont les boîtes sont fragiles.

Le prélèvement est effectué dans le **premier centimètre superficiel** du sédiment. Lors du prélèvement à l'aide d'une boîte (cas avec le carottier Reineck), le sédiment destiné à la mesure de la **granulométrie** doit être prélevé dans la partie la plus périphérique de la carotte, qui a été en contact avec les parois de la boîte. Le matériel destiné à l'analyse des **métaux** doit être prélevé dans la partie centrale, la plus éloignée des parois métalliques potentiellement contaminantes. Enfin, la partie intermédiaire doit être prélevée pour l'analyse des **contaminants organiques** (Figure 2).

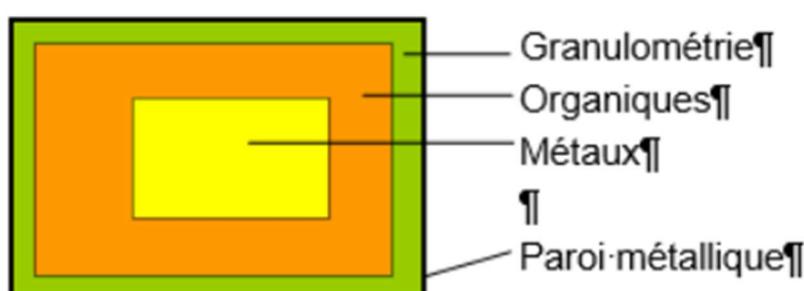


Figure 2 : détail des zones à prélever dans la carotte. Schéma d'une carotte vue de dessus.

Pour les **contaminants organiques**, le centimètre superficiel est prélevé à l'aide de la spatule ou cuillère en acier inoxydable rincée à l'eau milli-Q puis à l'éthanol et rangée dans une feuille d'aluminium calcinée. L'échantillon est placé dans un ou plusieurs bocaux en verre calcinés. Une feuille d'aluminium calcinée est intercalée entre le bocal et le couvercle.

Pour les **métaux**, le centimètre superficiel est prélevé à l'aide de la spatule en polyéthylène ou polypropylène traitée rincée à l'eau milli-Q et rangée individuellement dans un sachet en polyéthylène. L'échantillon destiné à la mesure des métaux est placé dans un pilulier lavé et préalablement traité à l'acide, ensaché individuellement dans un sac en polyéthylène fermé.

Les spatules sont manipulées avec des gants. Les échantillons "métaux" et "organiques" sont congelés.

L'échantillon destiné à la **granulométrie** est placé dans un pilulier non traité puis conservé au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

2.2 Protocoles analytiques

2.2.1 Nature des sédiments

Caractéristiques	Indicateur mesuré
Granulométrie dont part de la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 μm	Pourcentage (en poids) de chaque classe granulométrique, mesurée par granulométrie laser.
Nature calcaire du sédiment	Teneur en carbonates exprimée en % CaCO_3
Part de la fraction organique	Teneur en carbone organique exprimée en g/kg MS
Part de la fraction argileuse	[Al], [Mn], [Li] mg/kg MS [Fe] % MS

Tableau 2 : Paramètres généraux mesurés sur les échantillons du ROCCHSED19

Les caractéristiques granulométriques et minéralogiques ont été mesurées sur chaque échantillon (Tableau 2). Elles conditionnent l'aptitude du sédiment à capter les contaminants chimiques de son environnement et sont prises en compte dans l'interprétation des résultats. Les analyses granulométriques ont été réalisées par les laboratoires ALPA chimies micropolluants puis Alpa chimies hydrologie de Rouen, par granulométrie laser.

2.2.2 Analyse des contaminants chimiques

La liste des contaminants chimiques recherchés est présentée sur le Tableau 3.

Les analyses des contaminants métalliques ont été réalisées par le laboratoire de biogéochimie des contaminants métalliques de l'Ifremer à Nantes, par ICP-MS après minéralisation par voie humide. Les analyses des contaminants organiques ont été réalisées par le laboratoire d'étude des résidus et des contaminants dans les aliments (LABERCA) ou le laboratoire d'expertises et d'analyses de la Vendée (LEAV) selon les familles considérées (voir Tableau 3).

Une sélection d'échantillons prélevés dans la zone Seine – Normandie a fait l'objet de tests d'écotoxicité sur larves d'huître, réalisés par le laboratoire TOXEM au Havre, dans le cadre d'une étude de faisabilité sur les conditions de conservation des échantillons (congelés /frais).

Familles	molécules	Labo
métaux	Hg, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb	1
organo étains classiques	Butyl étains : TBT, DBT, MBT	2
<i>Pertinents à surveiller</i>	<i>Phénylétais : MPT, DPT, TPT</i>	2
HAP classiques	Phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, indéno(123 cd) pyrène, benzo(ghi)pérylène, naphtalène, acénaphène	2
<i>Pertinents à surveiller</i>	<i>alkylés + soufré : C1, C2, C3 naphtalène + C1,C12,C3 dibenzothiophène + C1,C2,C3-phénanthrène + dibenzothiophène</i>	2
PCB	PCB non dioxines : n° 28, 52, 101, 138, 153, 180, 105, 118, 156	2
	PCB de type dioxines : n°77, 81, 126, 169, 114, 123, 157, 167, 189	2
dioxines & furanes	17 composés	2
PBDE + HBCDD	BDE n°28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 66, 85, 49, 209	2
	3 HBCDD (alpha, beta, gamma)	2
Pesticides organo-chlorés	HCH (alpha, beta, gamma, delta)	3
	o p' DDT, p p' DDT ; DDD, DDE	3
Chlorobenzènes	Hexachlorobenzène, Hexachlorobutadiène, Pentachlorobenzène	3
Chloroalcanes	C10 - C13	2
Phtalates	DEHP	2
Composés perfluorés	PFOA (12) dont PFOS	2
divers	Quinoxyfène, Dicofol, heptachlore et époxydes (cis trans)	3
	<i>Tétrabromobisphénol A</i>	2

Tableau 3 : contaminants chimiques dosés dans les échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED19.

Les laboratoires d'analyses impliqués sont : 1- Ifremer/LBCM, 2- LABERCA, 3 LEAV

3 Résultats

L'ensemble des résultats est disponible dans la base de données Quadrigé. Ils ont été transmis par la France au centre de données du CIEM à Copenhague afin d'alimenter le jeu de données pour la convention OSPAR. Les résultats sont actuellement pris en compte pour le bilan de santé 2023.

Les résultats seront traités dans ce rapport, d'une part sous forme de résultat brut, pour décrire la qualité de l'écosystème marin, et d'autre part après normalisation (voir encadré ci-dessous) pour apprécier le niveau de contamination relatif du milieu.

NORMALISATION DES TENEURS EN CONTAMINANTS DANS LES SÉDIMENTS (D'APRÈS CHIFFOLEAU & al, 2003)¹ :

Le sédiment est un substrat éminemment variable par sa composition minéralogique, chimique et granulométrique.

Chacune de ces trois composantes est capable d'induire, par ses seuls changements, des variations des *concentrations en métaux traces*. On sait par exemple que les métaux ont une affinité particulière pour les sédiments fins, pour une simple raison physique : à masse égale, la surface disponible pour adsorber des métaux est plus importante pour des particules fines que pour des particules plus grossières. Outre la granulométrie, la minéralogie intervient également sur les concentrations en métaux, soit de façon triviale, parce que certains minéraux sont intrinsèquement plus riches en métaux que d'autres, soit de façon moins directe parce que leur composition chimique leur confère des capacités fixatrices particulières vis à vis des métaux (présence de sites échangeurs de cations). Il est donc nécessaire de prendre en compte l'effet de ces différents facteurs si l'on veut comparer entre eux des sédiments différents. Cette démarche est appelée "normalisation".

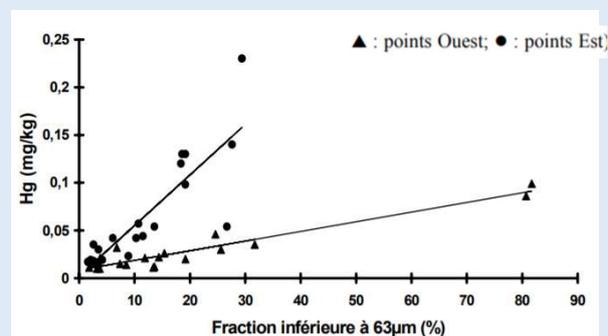
De la même façon, *les teneurs en contaminants organiques* dans le sédiment seront principalement influencées par la présence de la matière organique pour laquelle ils ont une forte affinité. La part de matière organique du sédiment sera utilement représentée par sa teneur en carbone organique.

La normalisation peut simplement consister à faire le rapport entre le contaminant étudié et l'élément normalisateur (quand il est unique). Cette technique est simple et rapide mais présente des inconvénients aux basses concentrations en élément normalisateur.

On peut également procéder par régression du contaminant étudié sur un ou plusieurs éléments normalisateurs (aluminium, carbone organique, carbonates) susceptibles chacun d'expliquer une part de la capacité du sédiment à fixer ou non le contaminant étudié. Si la relation avec les paramètres normalisateurs est

significative, on peut mettre en évidence les échantillons dont les teneurs en contaminants s'écartent significativement de ceux dont les concentrations sont expliquées par ces paramètres

Cas du mercure : cet élément métallique se distingue des autres métaux par une forte affinité pour la matière organique. Il est donc possible de normaliser les concentrations en mercure par la teneur en carbone organique.



3.1 Caractéristiques des échantillons

La fraction fine des sédiments, riche en argiles et en matière organique est celle qui capte les contaminants présents dans l'eau. Il est donc important de bien la prélever et de bien la caractériser dans chaque échantillon de manière à permettre une interprétation réaliste de la

¹ Chiffolleau Jean-François, Auger Dominique, Boutier Bernard, Rozuel Emmanuelle, Truquet Isabelle (2003). Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Quae Ed. 45p. ISSN 1637-1844, ISBN 978-2-84433-122-9.

contamination chimique sédimentaire. Lorsque cette fraction fine est presque absente du sédiment, l'intérêt de réaliser l'analyse est remis en cause et le diagnostic de l'état chimique ne peut être effectué.

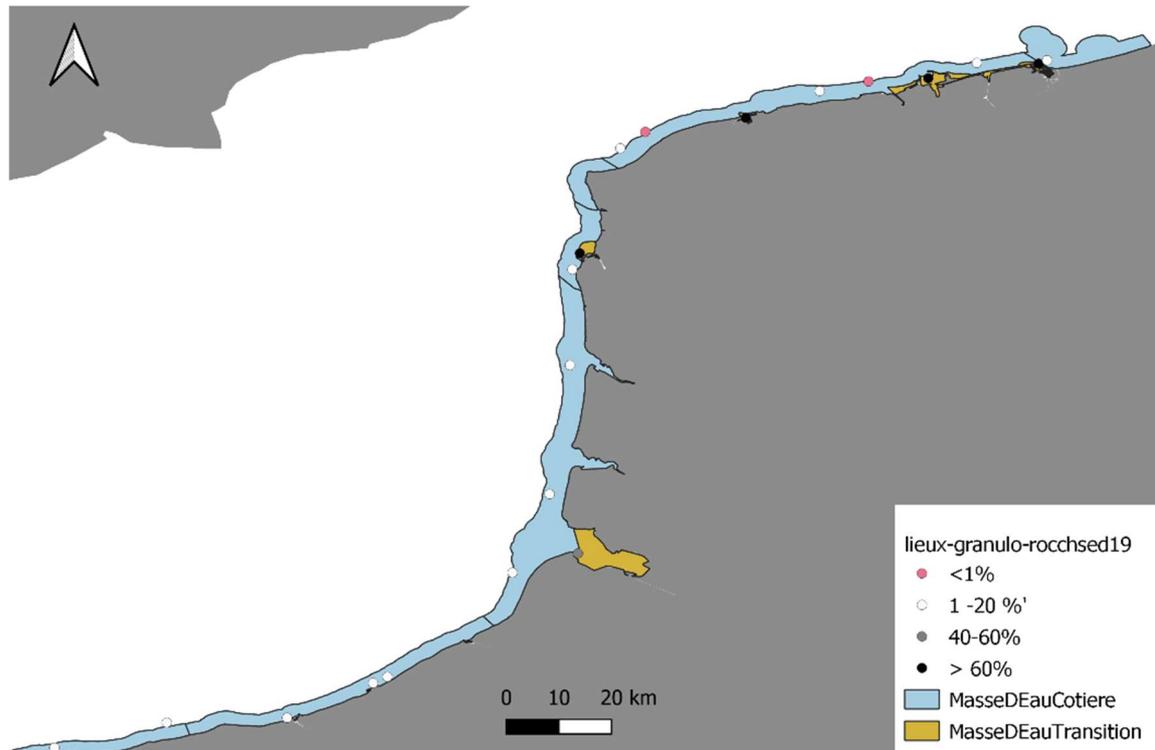


Figure 3 : localisation des points de prélèvement de la zone Artois - Picardie avec indication de la granulométrie (par classe de valeurs pour la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 μm) mesurée sur les échantillons prélevés.

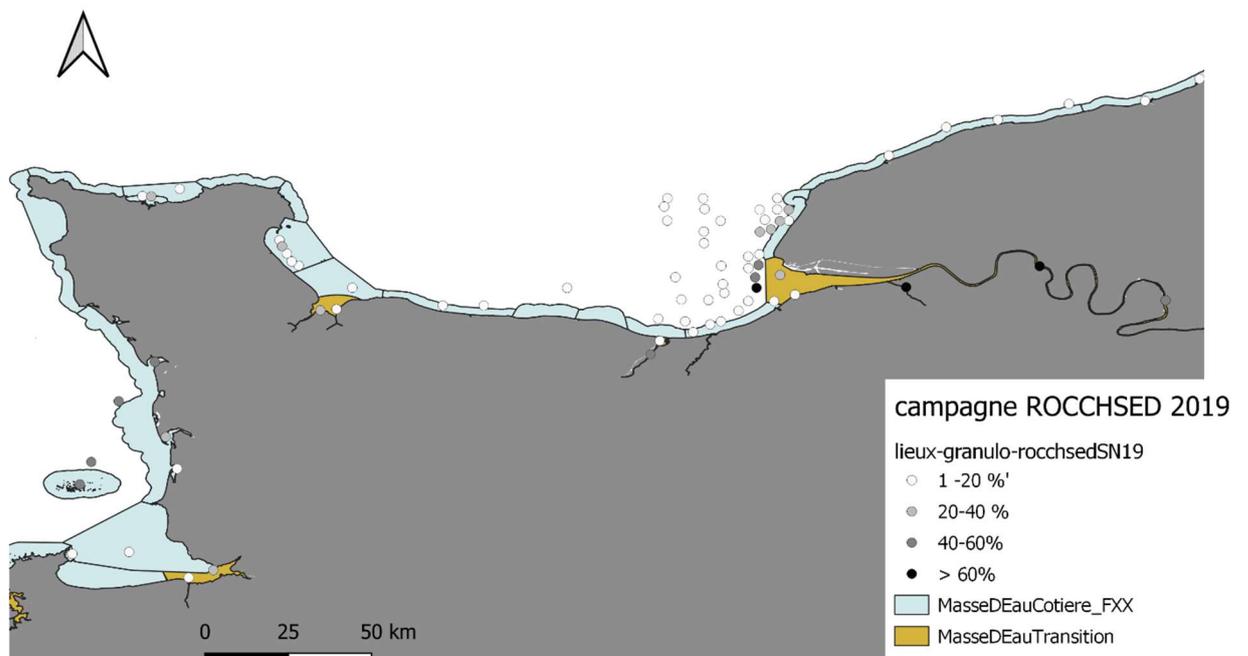


Figure 4 : localisation des points de prélèvement de la zone Seine – Normandie avec indication de la granulométrie (par classe de valeurs pour la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 μm) mesurée sur les échantillons prélevés.

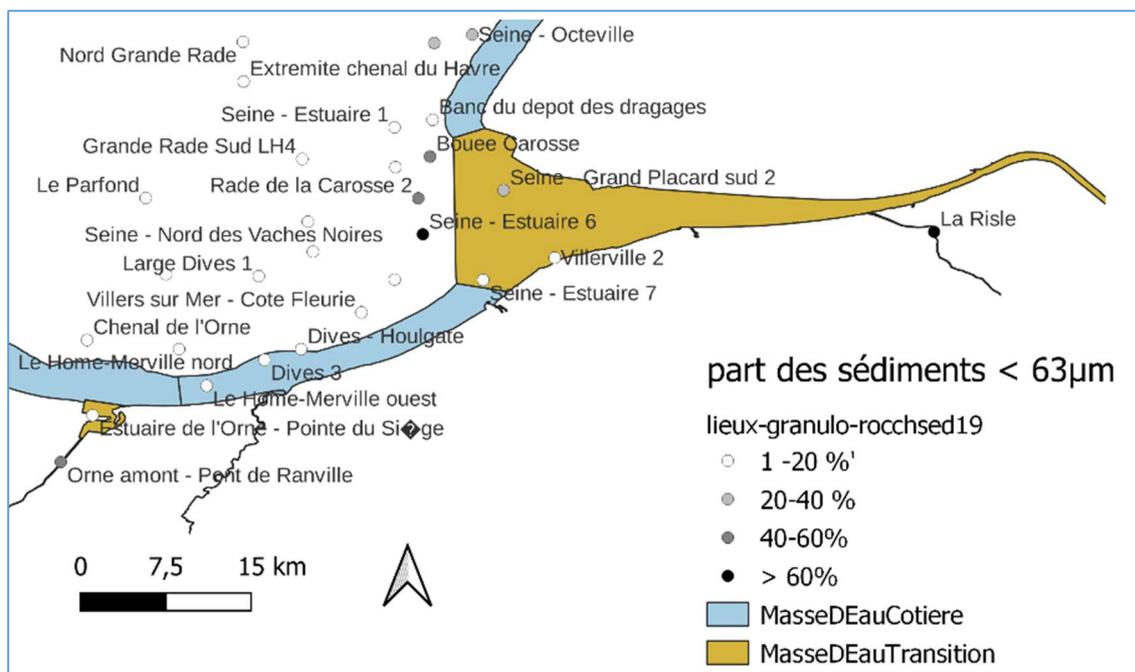


Figure 5 : carte des teneurs en particules fines (de diamètre inférieur à 63µm) des points de l'estuaire et la baie de Seine

3.1.1 Résultats des analyses granulométriques

La part fine du sédiment s'apprécie à l'aide de la granulométrie et en particulier la proportion de particules de diamètre inférieur à 63µm.

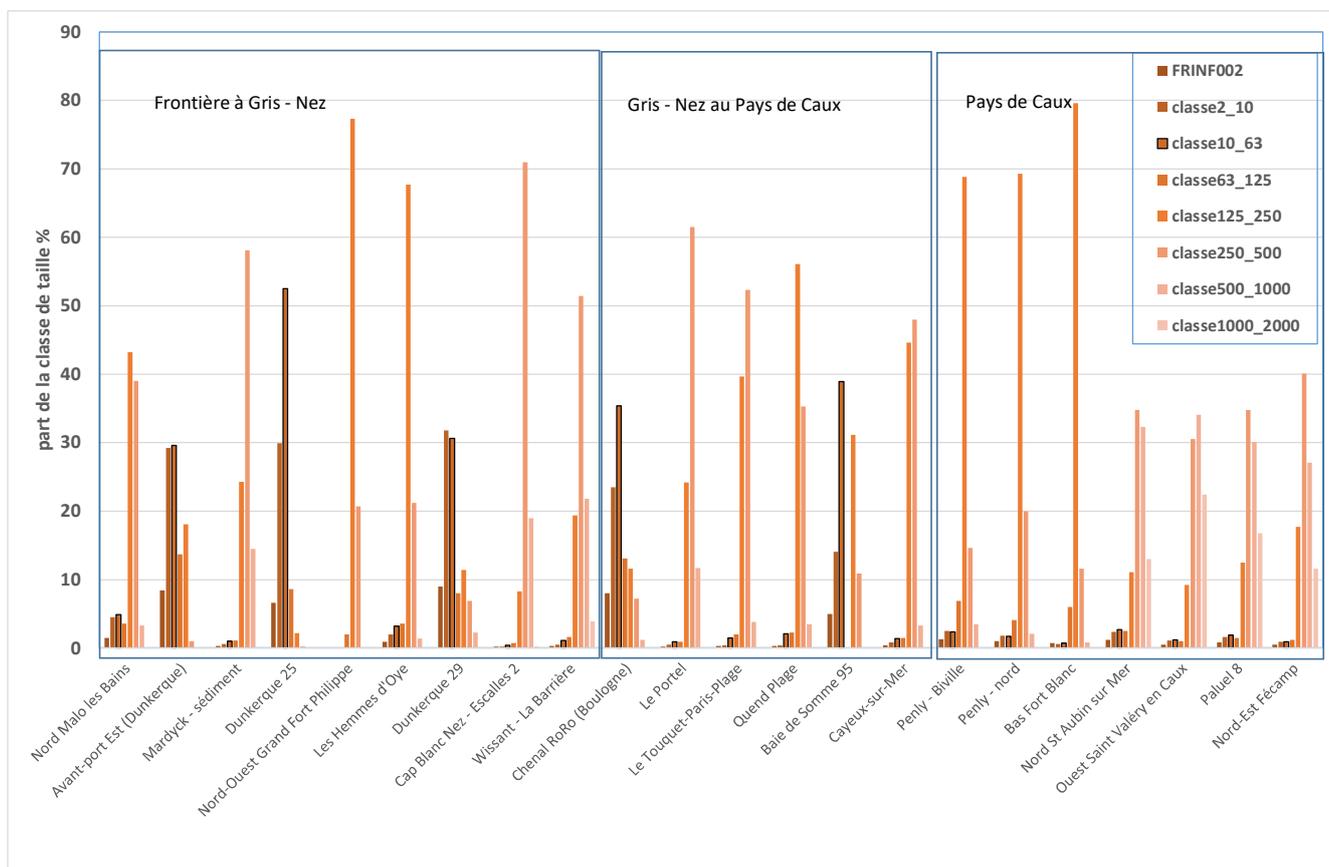


Figure 6 : distribution des classes granulométriques sur les points échantonnés entre Dunkerque et Antifer (ordre géographique du Nord est au sud ouest).

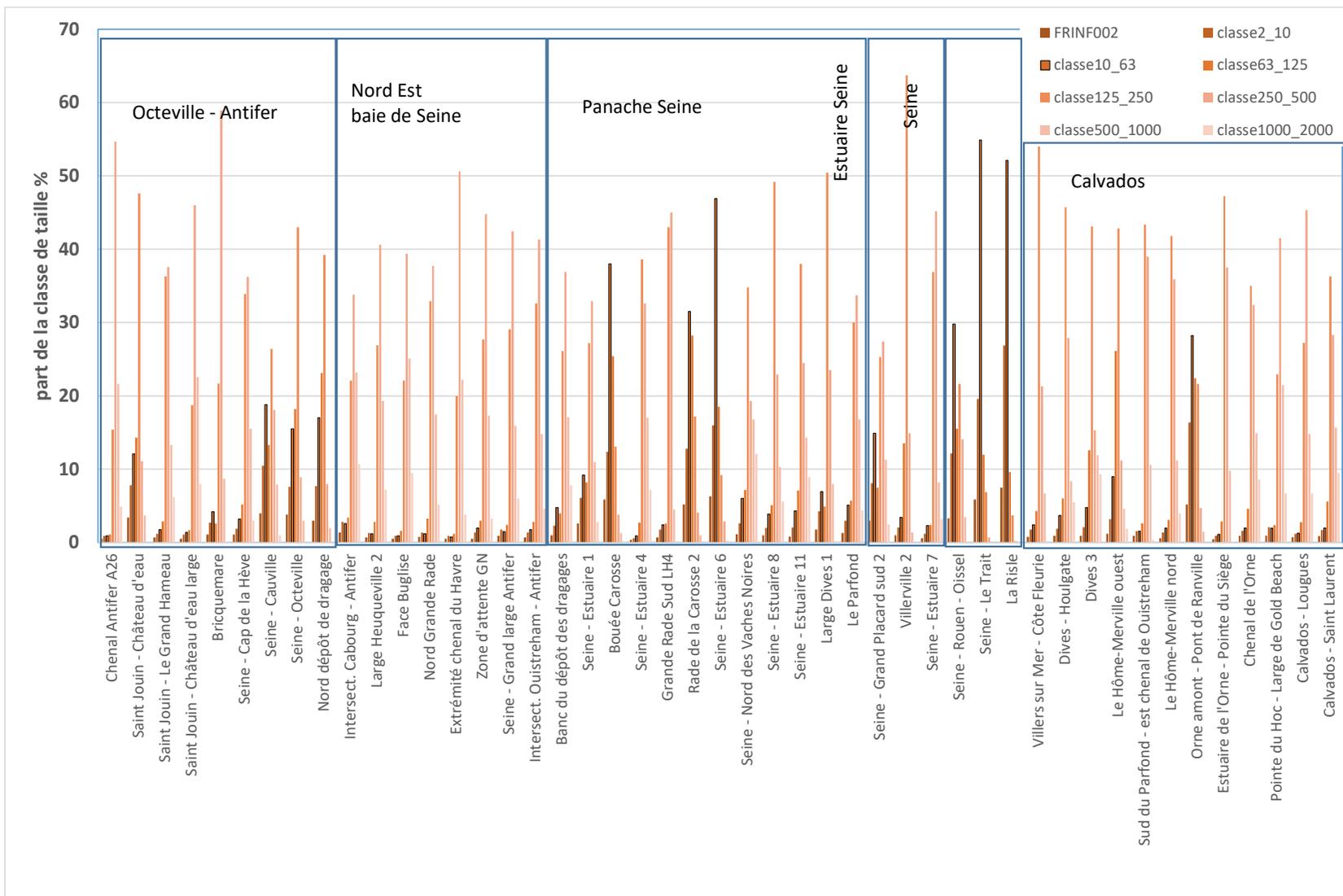


Figure 7 : distribution des classes granulométriques sur les points échantillonnés en estuaire et baie de Seine.

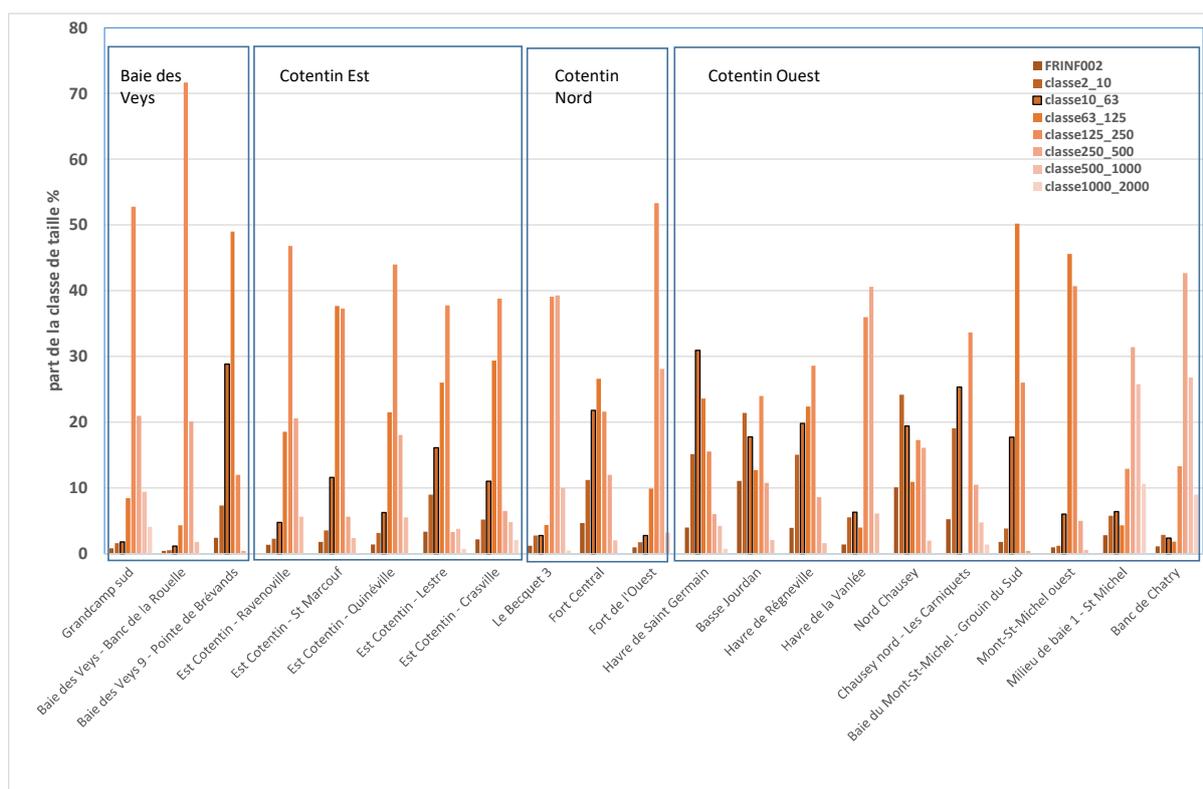


Figure 8 : distribution des classes granulométriques sur les points échantillonnés autour du Cotentin.

Les figures montrent que, pour de nombreux points entre Dunkerque à Antifer (Figure 6) comme pour l'estuaire et la baie de Seine (Figure 7), les classes granulométriques correspondant aux particules fines ne sont pas majoritaires. Les sédiments fins se trouvent dans les enceintes portuaires (Dunkerque = Avant-port Est et Dunkerque 25, Calais = Dunkerque 29, et Boulogne), à l'entrée de la baie de Somme, dans la Seine et le très proche estuaire (Figure 5) et dans l'amont de l'estuaire de l'Orne.

Sur la façade est et nord Cotentin (Figure 8), la classe de taille la plus représentée dans les échantillons est celle des diamètres compris entre 125 et 250 μm , hormis dans les points prélevés à l'intérieur des havres de l'ouest Cotentin et à proximité de Chausey.

Un compromis pour le choix des échantillons servant à qualifier la qualité chimique des côtes de la Mer du Nord et de la Manche orientale a été retenu entre les recommandations OSPAR (prise en compte des échantillons ayant au moins 20% de part de particules fines de diamètre inférieur à 63 μm) et les nécessités de trouver un support aux analyses dans les différentes masses d'eau de la zone. Les échantillons les plus fins par zone géographique font l'objet de l'ensemble des analyses de contaminants chimiques, accompagnés de la mesure des teneurs en carbonate et en carbone organique afin d'en compléter la caractérisation.

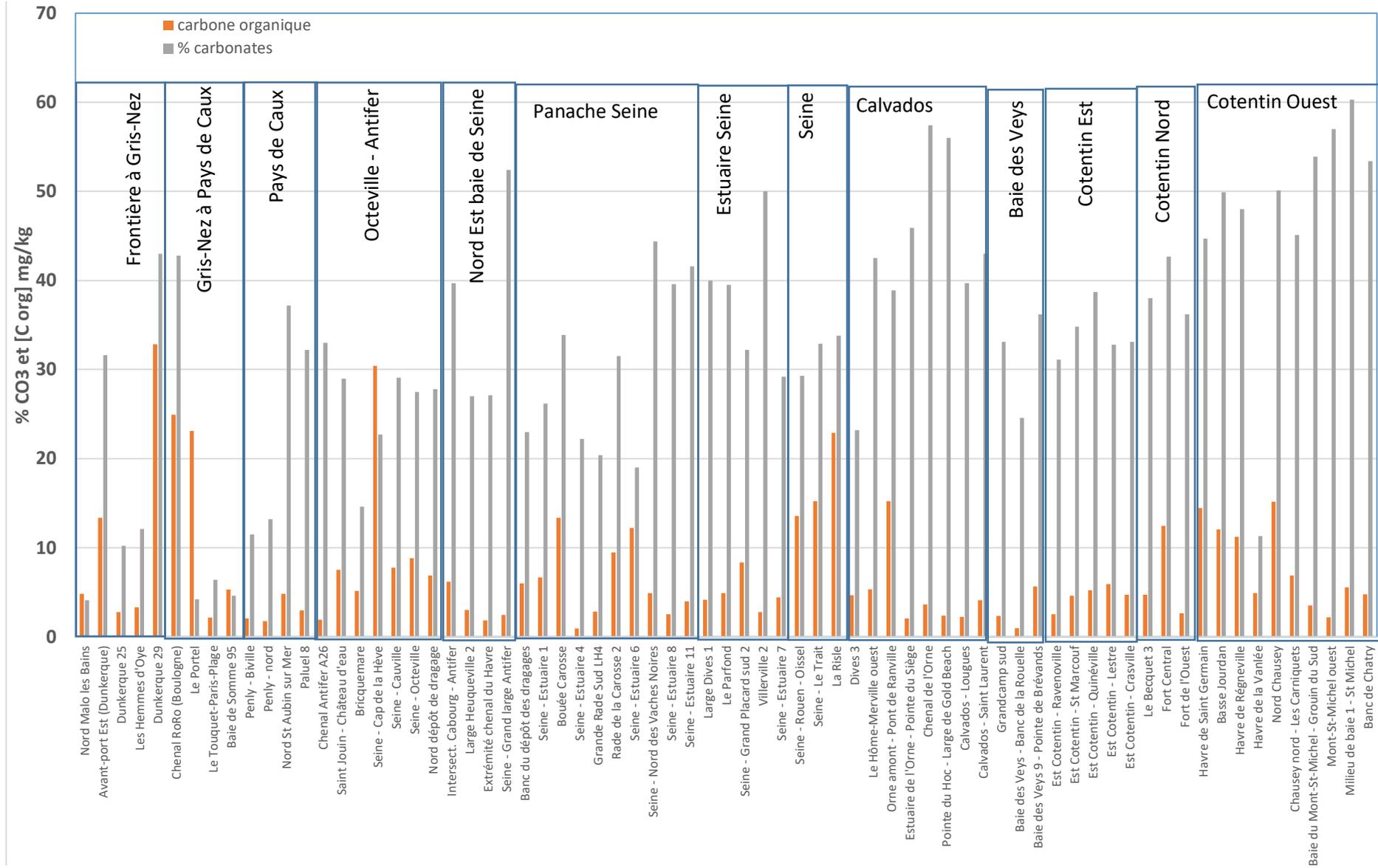
3.1.2 Composition minéralogique des échantillons

secteurs	aluminium (en % du poids sec)		carbonate (en % de CaCO ₃ p. sec)		carbone organique (en % du poids sec)	
	moyenne	<i>Ecart-type</i>	moyenne	<i>Ecart-type</i>	moyenne	<i>Ecart-type</i>
Frontière à gris-Nez	1,46	1,03	10,10	15,26	0,57	1,04
GrisNez à Caux	1,21	0,65	9,67	16,44	0,93	1,16
Pays de Caux	0,61	0,19	13,44	15,61	0,17	0,18
Octeville - Antifer	1,68	0,58	20,41	12,67	0,76	0,92
Nord-Est baie de Seine	1,24	0,56	18,28	21,09	0,17	0,22
Panache Seine	1,68	0,63	31,78	9,25	0,60	0,38
Estuaire Seine	1,37	0,36	37,13	11,24	0,52	0,29
Seine	2,87	1,02	32,00	2,38	1,72	0,50
Calvados	1,34	0,48	28,88	22,98	0,33	0,42
Baie des Veys	1,51	0,42	31,30	6,01	0,30	0,24
Cotentin Est	1,84	0,13	34,10	2,89	0,46	0,13
Cotentin Nord	1,82	0,63	38,97	3,36	0,66	0,52
Cotentin Ouest	2,27	0,64	47,37	13,61	0,81	0,47

Tableau 4 : caractéristiques des échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED19 – moyenne par secteur géographique.

En grande majorité, les teneurs en carbonates des échantillons sont supérieures à 20% (Tableau 4 et Figure 9), ce qui traduit l'influence prépondérante des débris coquilliers. On note un petit nombre de points avec des teneurs faibles en carbonate : Dunkerque 25, le Touquet et de la baie de Somme jusqu'à Dieppe, ainsi que le havre de la Vanlée dans l'ouest Cotentin.

A l'opposé, les teneurs en carbone organique sont plutôt faibles, les valeurs les plus élevées se rencontrant dans les estuaires (Seine et Orne), dans les havres (sauf celui de la Vanlée) et dans certaines enceintes portuaires (Boulogne, Calais et Cherbourg).



3.2 Concentration en métaux

3.2.1 Valeurs de référence

Les concentrations mesurées sont confrontées à des valeurs de référence, concentrations minimales reliées à des effets. Ainsi l'ERL (US Effects Range Low sediment toxicological criteria) est définie comme le percentile 10 des concentrations sédimentaires associées à des effets biologiques pour les espèces benthiques. Cette définition rejoint la philosophie des seuils d'effet dans les conventions de mers régionales (Ecological assessment criteria d'OSPAR) ou les Normes de Qualité Environnementale de la DCE (Buchman, 2008). Les valeurs considérées ici pour les métaux sont indiquées dans le Tableau 5.

Métal	Valeur d'ERL (mg/kg poids sec)	Métal	Valeur d'ERL (mg/kg poids sec)
Cd	1.2	Hg	0.15
Cr	81	Ni	20.9
Cu	34	Ag	1
Pb	46.7	Zn	150

Tableau 5 : Valeurs d'ERL pour le sédiment marin. ERL : US Effects Range Low sediment toxicological criteria.

Les résultats sont présentés ci-dessous pour chaque élément métallique considéré, les graphes présentant les points dans un ordre géographique le long de la côte, par secteur, depuis l'avant-port est de Dunkerque au nord est jusqu'à Cancale au sud ouest de la zone prospectée lors de la campagne ROCCHSED19.

3.2.2 Synthèse des données 2019

Afin de se placer dans des conditions permettant de comparer les résultats obtenus au cours de la campagne, d'une part d'un site à l'autre (et d'un secteur à l'autre) et d'autre part à d'autres résultats (concentrations mesurées antérieurement sur le même secteur ou concentrations de référence), les concentrations brutes en élément métallique mesurées sur chaque échantillon ont été normalisées par sa teneur en aluminium ou pour le mercure, par sa teneur en carbone organique (cf encart p 17).

Les concentrations mesurées, en moyenne par secteur, sont données dans le Tableau 6.

Les valeurs d'ERL traduisent un potentiel d'effet, elles sont donc considérées ici pour les *résultats bruts* de manière à traduire un potentiel toxique du sédiment en place.

Les données détaillées par élément métallique seront données d'abord par résultats bruts (**histogrammes bleus**), comparés à une valeur d'ERL lorsqu'elle existe puis par concentrations normalisées (**histogrammes verts**) afin de comparer les points entre eux.

secteur2013	Ag (mg/kg)		Cd (mg/kg)		Co (mg/kg)		Cr (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Hg (mg/kg)		Li (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Pb (mg/kg)		V (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
Frontière à gris-Nez	0,25	<i>0,07</i>	0,35	<i>0,16</i>	7,3	<i>1,6</i>	72,1	<i>22,0</i>	12,7	<i>6,2</i>	23918	<i>4690</i>			50,3	<i>10,5</i>	480	<i>143</i>	18,0	<i>5,8</i>	36,4	<i>5,2</i>	81,1	<i>28,8</i>	82,2	<i>38,4</i>
GrisNez à Caux	0,28	<i>0,12</i>	0,40	<i>0,20</i>	6,4	<i>2,0</i>	59,9	<i>24,3</i>	12,2	<i>6,3</i>	21610	<i>7643</i>			48,1	<i>8,8</i>	414	<i>136</i>	16,7	<i>7,0</i>	36,4	<i>6,8</i>	67,1	<i>28,8</i>	72,8	<i>36,8</i>
Pays de Caux	0,54	<i>0,23</i>	0,40	<i>0,10</i>	17,6	<i>2,8</i>	111,7	<i>34,1</i>	17,5	<i>4,1</i>	60670	<i>21022</i>			72,7	<i>7,7</i>	871	<i>210</i>	28,4	<i>4,1</i>	76,2	<i>12,8</i>	141,2	<i>24,5</i>	145,3	<i>19,6</i>
Octeville - Antifer	0,63	<i>0,18</i>	0,31	<i>0,11</i>	10,3	<i>4,0</i>	77,0	<i>18,4</i>	14,4	<i>3,7</i>	37639	<i>12465</i>			47,7	<i>12,5</i>	516	<i>222</i>	18,3	<i>4,7</i>	62,3	<i>15,8</i>	92,0	<i>26,2</i>	125,6	<i>32,4</i>
Nord-Est baie de Seine	0,37	<i>0,16</i>	0,26	<i>0,06</i>	9,4	<i>3,9</i>	47,2	<i>10,4</i>	9,4	<i>1,8</i>	25065	<i>9566</i>			47,1	<i>11,5</i>	723	<i>347</i>	15,4	<i>3,8</i>	52,3	<i>13,7</i>	79,4	<i>32,0</i>	84,1	<i>25,0</i>
Panache Seine	0,58	<i>0,24</i>	0,40	<i>0,08</i>	8,9	<i>1,9</i>	85,8	<i>15,5</i>	14,0	<i>4,4</i>	29724	<i>5209</i>	0,32	<i>0,25</i>	47,5	<i>4,0</i>	621	<i>145</i>	18,1	<i>2,9</i>	55,9	<i>19,4</i>	78,4	<i>8,7</i>	120,6	<i>24,4</i>
Estuaire Seine	0,51	<i>0,27</i>	0,43	<i>0,12</i>	10,2	<i>0,3</i>	76,5	<i>15,0</i>	13,5	<i>4,7</i>	38917	<i>4234</i>	0,22	<i>0,04</i>	49,9	<i>7,8</i>	961	<i>314</i>	20,6	<i>3,8</i>	60,5	<i>10,0</i>	87,8	<i>7,2</i>	167,2	<i>78,1</i>
Seine	2,54	<i>2,24</i>	3,39	<i>5,00</i>	13,2	<i>5,1</i>	121,2	<i>37,8</i>	65,1	<i>61,3</i>	31672	<i>3699</i>	0,60	<i>0,46</i>	53,7	<i>2,6</i>	865	<i>248</i>	33,9	<i>11,0</i>	194,7	<i>232,9</i>	85,8	<i>11,1</i>	298,5	<i>232,1</i>
Calvados	0,39	<i>0,11</i>	0,52	<i>0,22</i>	11,8	<i>5,6</i>	73,0	<i>10,4</i>	11,6	<i>3,0</i>	34552	<i>16704</i>			47,6	<i>6,9</i>	859	<i>510</i>	19,3	<i>4,9</i>	50,8	<i>11,0</i>	104,3	<i>61,3</i>	131,4	<i>26,4</i>
Baie des Veys	0,21	<i>0,07</i>	0,32	<i>0,08</i>	7,0	<i>1,4</i>	108,7	<i>17,1</i>	7,6	<i>2,2</i>	24738	<i>1089</i>	0,08	<i>0,03</i>	37,6	<i>8,0</i>	753	<i>178</i>	14,6	<i>2,7</i>	33,5	<i>5,8</i>	70,0	<i>4,1</i>	69,9	<i>23,9</i>
Cotentin Est	0,26	<i>0,03</i>	0,29	<i>0,04</i>	7,2	<i>0,4</i>	74,9	<i>10,0</i>	9,2	<i>1,0</i>	21670	<i>733</i>	0,09	<i>0,01</i>	41,8	<i>2,5</i>	536	<i>35</i>	16,9	<i>1,1</i>	33,8	<i>1,8</i>	73,0	<i>4,7</i>	80,6	<i>8,5</i>
Cotentin Nord	0,16	<i>0,03</i>	0,22	<i>0,03</i>	7,3	<i>0,5</i>	69,8	<i>4,1</i>	10,6	<i>3,4</i>	21182	<i>1460</i>	0,08	<i>0,06</i>	44,6	<i>5,9</i>	436	<i>104</i>	18,1	<i>4,0</i>	35,2	<i>0,5</i>	79,3	<i>12,8</i>	71,5	<i>11,1</i>
Cotentin Ouest	0,12	<i>0,03</i>	0,19	<i>0,05</i>	7,1	<i>2,1</i>	56,2	<i>12,1</i>	9,1	<i>2,6</i>	21760	<i>4826</i>	0,09	<i>0,14</i>	45,7	<i>9,2</i>	361	<i>126</i>	17,5	<i>4,0</i>	27,6	<i>5,7</i>	76,8	<i>23,9</i>	71,7	<i>26,3</i>

Tableau 6 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en métaux des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 5% d'aluminium – sauf pour le mercure, normalisé à 2.5% de carbone organique).

Lorsque la concentration en carbone organique n'a pas été mesurée sur un échantillon du secteur, la moyenne n'est pas calculée (cas des échantillons les plus grossiers).

3.2.3 Cadmium

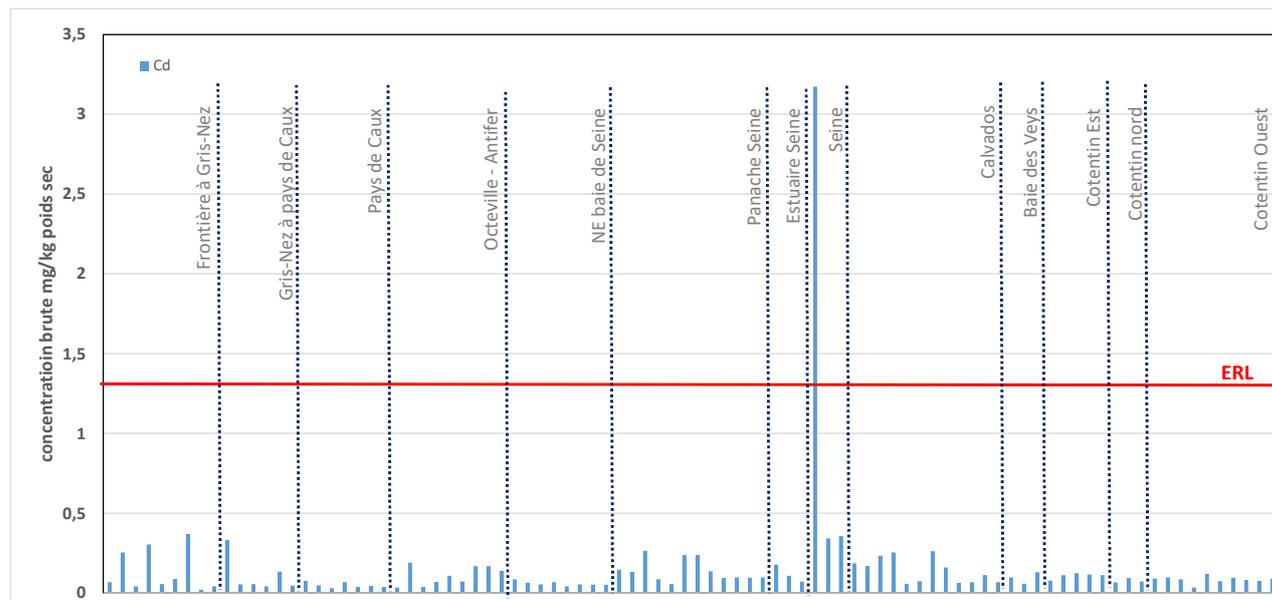


Figure 10 : teneurs en cadmium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

Sur l'ensemble de la zone, un point apparaît en net dépassement de la valeur limite d'effets : Oissel, en aval de Rouen (teneur brute en cadmium équivalente à 2.6 fois l'ERL).

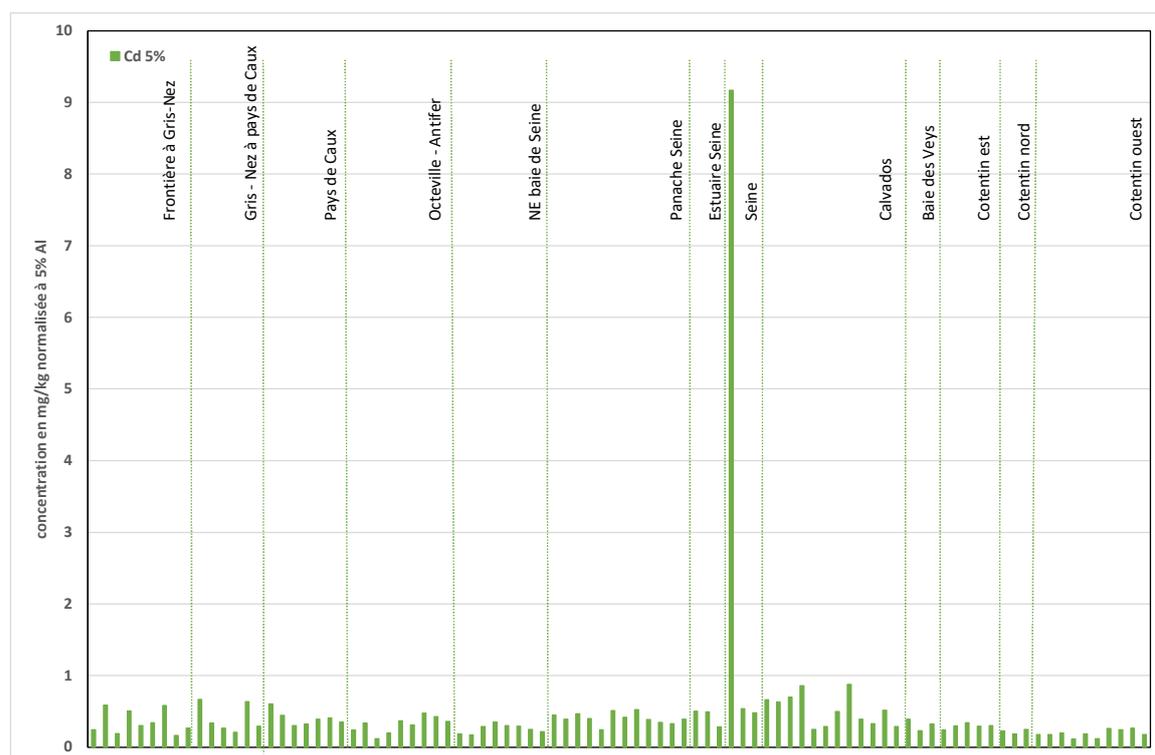


Figure 11 : teneurs en cadmium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)

La Figure 11 permet de préciser que la concentration importante en cadmium du point d'Oissel n'est pas seulement liée à la richesse en fraction fine du sédiment : à nature de sédiment équivalente, ce point présente une contamination en cadmium plus de 10 fois supérieure (9.17 mg de Cd par kg de sédiment normalisé à 5% d'Al) à celles de tous les autres points suivis pendant la campagne. On ne retrouve pas de telles valeurs aux autres points de la Seine et de l'estuaire (0.54 au Trait, 0.48 à l'embouchure de la Risle, 0.51 mg/kg dans la rade de la Carosse).

Le deuxième secteur le plus contaminé se situe dans la zone proche de la côte entre l'embouchure de l'Orne (Ouistreham - Pointe du Siège) et celle de la Touques (Deauville) avec des niveaux de concentration normalisés en cadmium compris entre 0.6 et 0.9 mg/kg.

Les points au nord de la zone (entre Dunkerque et la baie de Somme) présentent des niveaux de concentration normalisés en cadmium autour de 0.6 mg/kg.

Les points les plus éloignés de l'influence de la Seine sont également les moins contaminés en cadmium (nord et ouest Cotentin).

3.2.4 Chrome

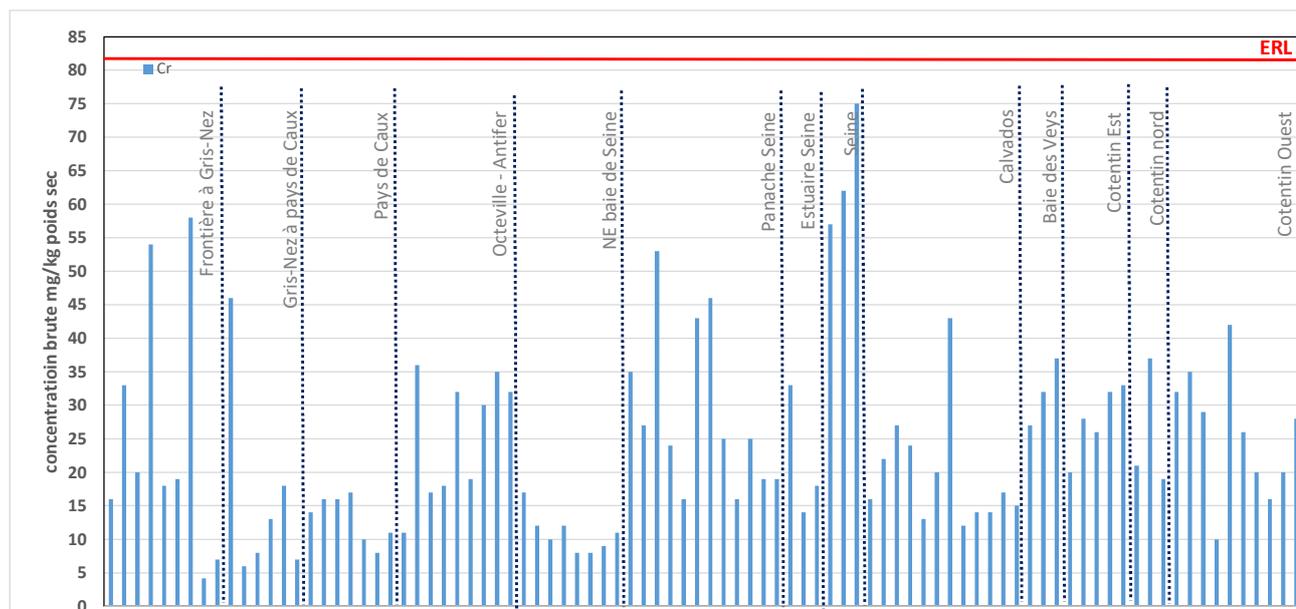


Figure 12 : teneurs en chrome dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

Aucun échantillon prélevé ne présente de teneur en chrome à risque pour l'environnement marin (concentrations partout inférieures à la valeur de l'ERL - Figure 12). La normalisation à 5% d'aluminium permet de comparer les taux d'imprégnation (Figure 13), avec un maximum au point Bas Fort Blanc près de Dieppe et un gradient vers l'est (points devant Penly jusqu'à un minimum face à Cayeux sur mer). Le point d'Oissel, en amont de l'estuaire de Seine présente une valeur forte isolée. En baie des Veys, on note un maximum près de l'embouchure de la Vire (point Banc de la Rouelle) et des valeurs plus faibles vers l'est (Grandcamp sud) et vers l'ouest (pointe de Brévands), qui pourraient être le signe d'un apport local.

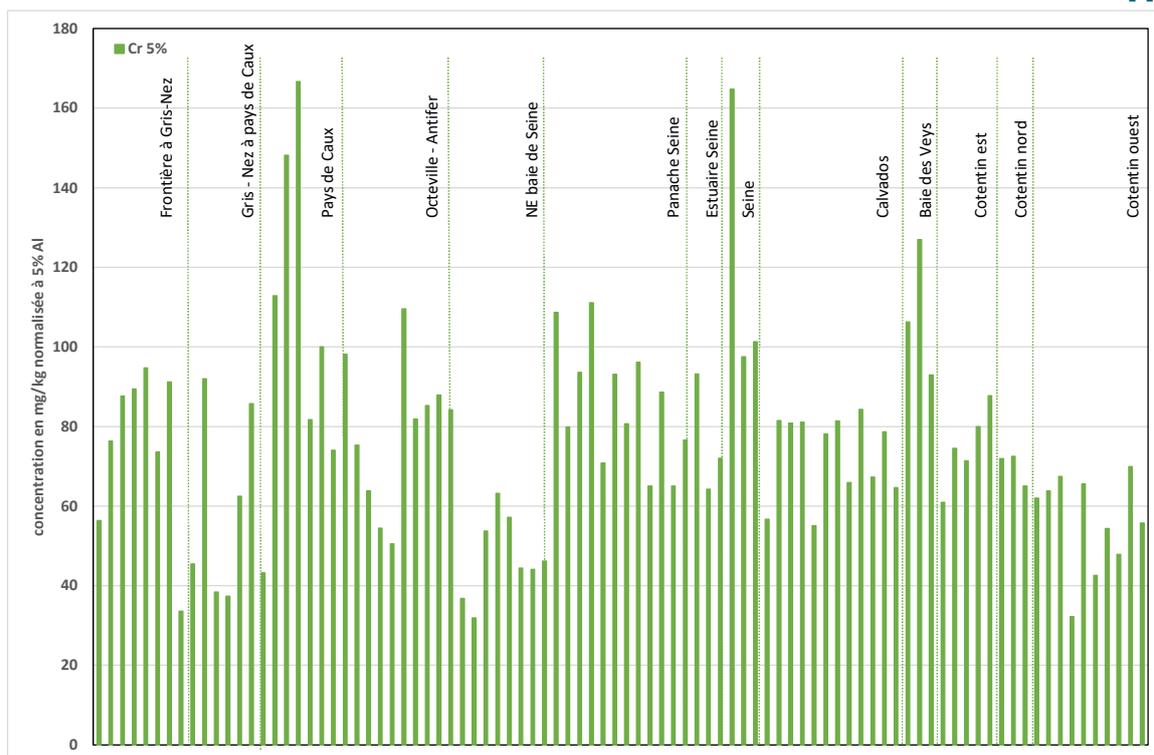


Figure 13 : teneurs en chrome dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)

3.2.5 Nickel

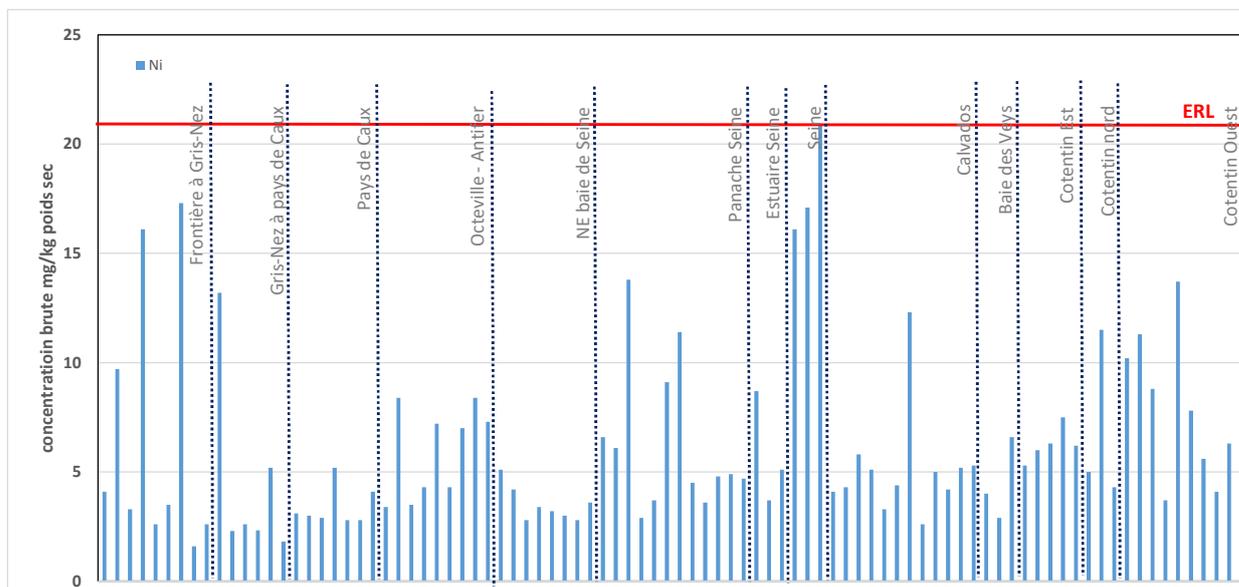


Figure 14 : teneurs en nickel dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

Pour le contaminant nickel, pris en compte par la DCE, la situation est satisfaisante dans l'ensemble de la zone (Figure 14). On note cependant une valeur à l'embouchure de la Risle qui atteint le seuil ERL.

La normalisation permet de comparer le niveau d'imprégnation des différents échantillons (Figure 15). Celui du point Oissel présente la concentration normalisée la plus élevée, avec les deux autres concentrations mesurées dans la Seine également parmi les plus fortes relevées au cours de la campagne (concentrations normalisées en nickel respectivement à 27 et 28 mg/kg) alors que la médiane de la campagne vaut 17 mg/kg). La valeur sur le point au nord est de

Fécamp se détache également des valeurs observées sur les points voisins, dénotant une source peut-être plus locale. Les concentrations entre Fécamp et la baie de Somme sont supérieures à la valeur médiane de l'ensemble de la campagne.

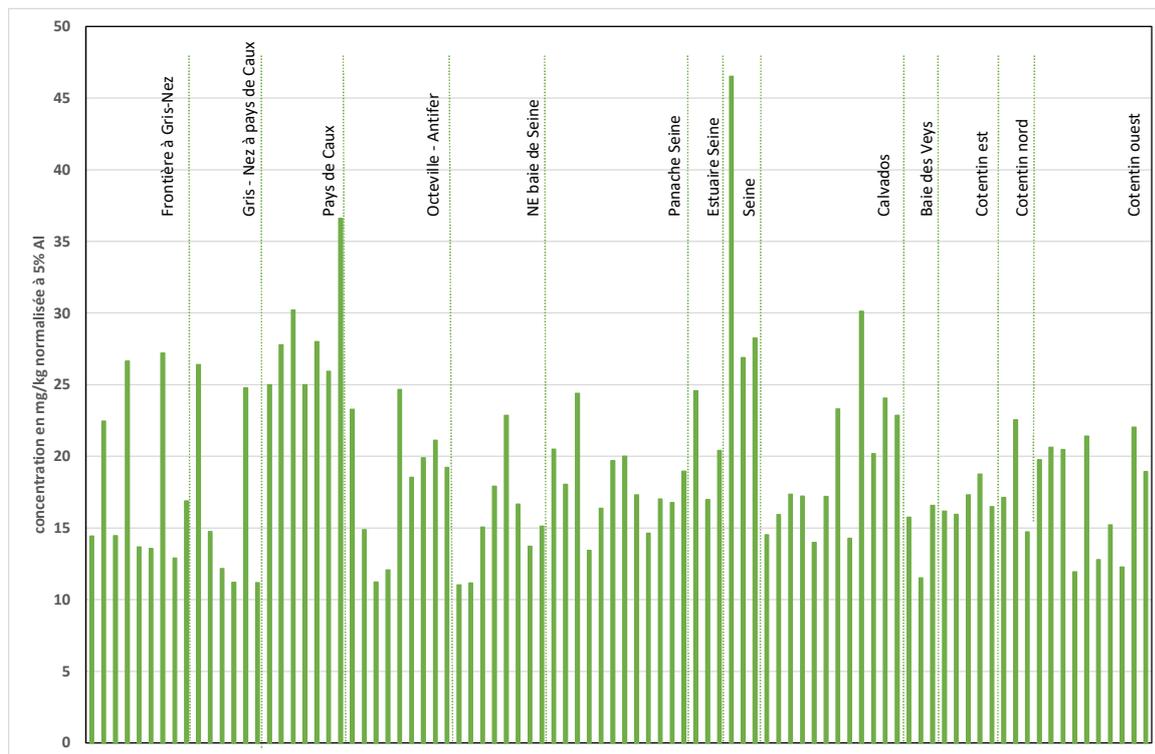


Figure 15 : teneurs en nickel dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)

3.2.6 Vanadium

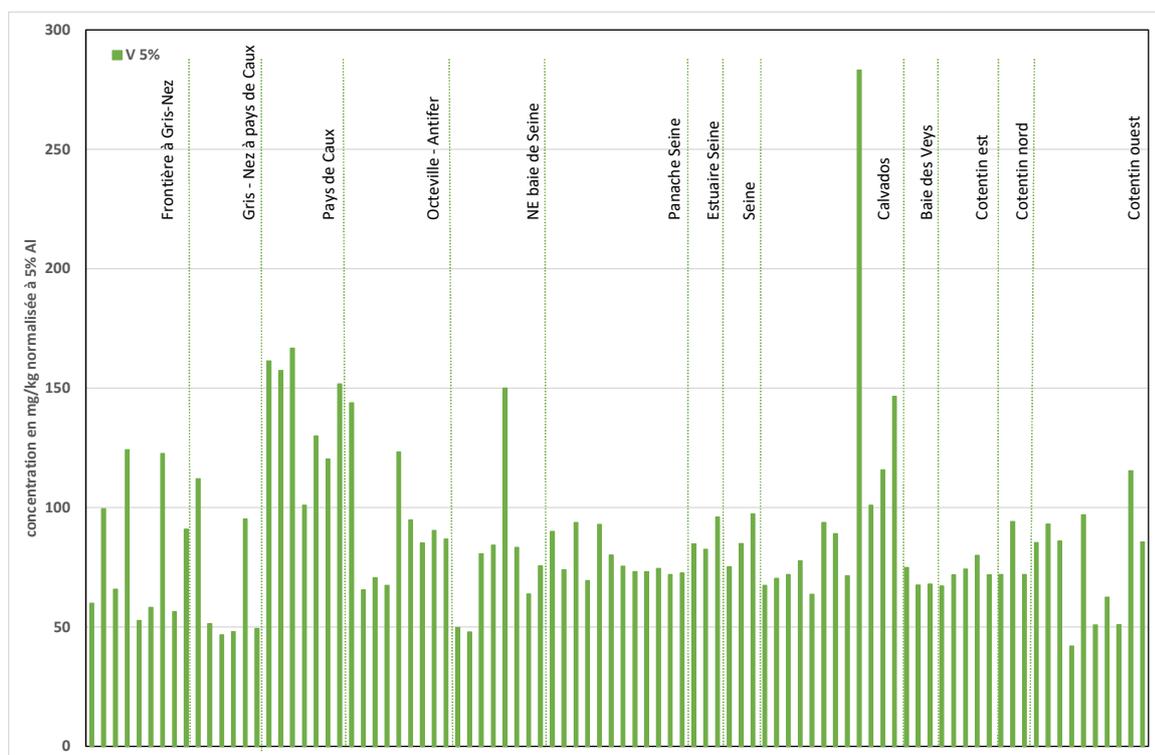


Figure 16 : teneurs en vanadium dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium)

Il n'est pas proposé de valeur seuil ERL pour le vanadium. Nous nous intéresserons donc directement à la répartition des niveaux de concentration autour de la médiane de la campagne (80 mg/kg). Les concentrations normalisées les plus élevées s'observent, ponctuellement sur le point du chenal de l'Orne face à Ouistreham et sur un secteur, celui du Pays de Caux jusqu'à la baie de Somme (entre Fécamp et Cayeux sur mer). Les concentrations les plus basses sont enregistrées à l'ouest du Cotentin et sur la côte d'opale (entre baie de Somme et Boulogne).

3.2.7 Cuivre

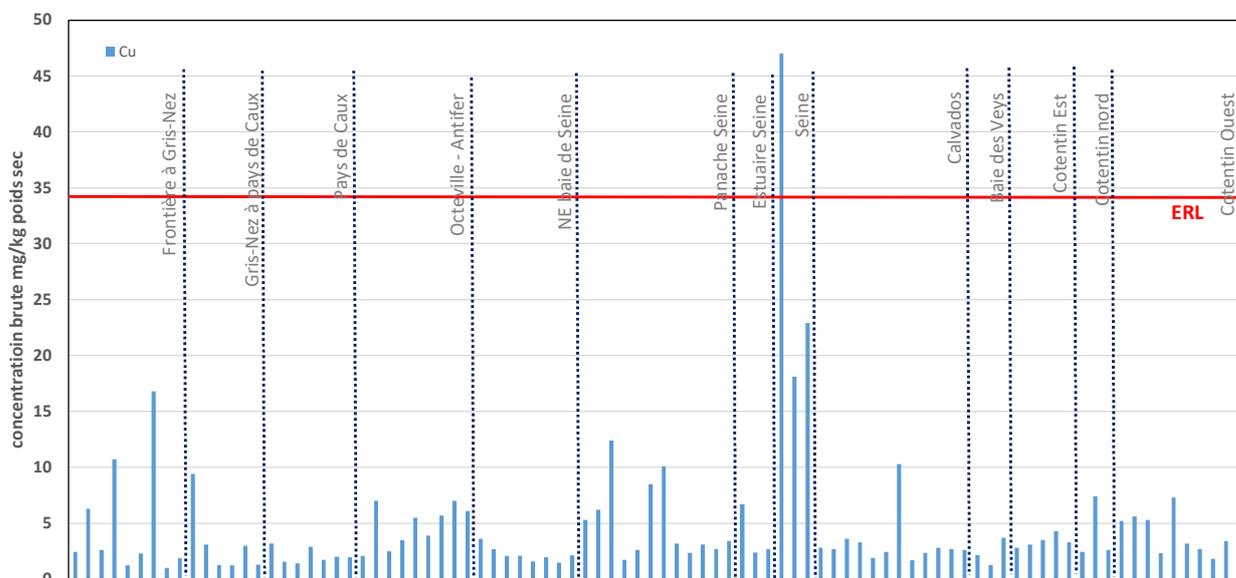


Figure 17 : teneurs en cuivre dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

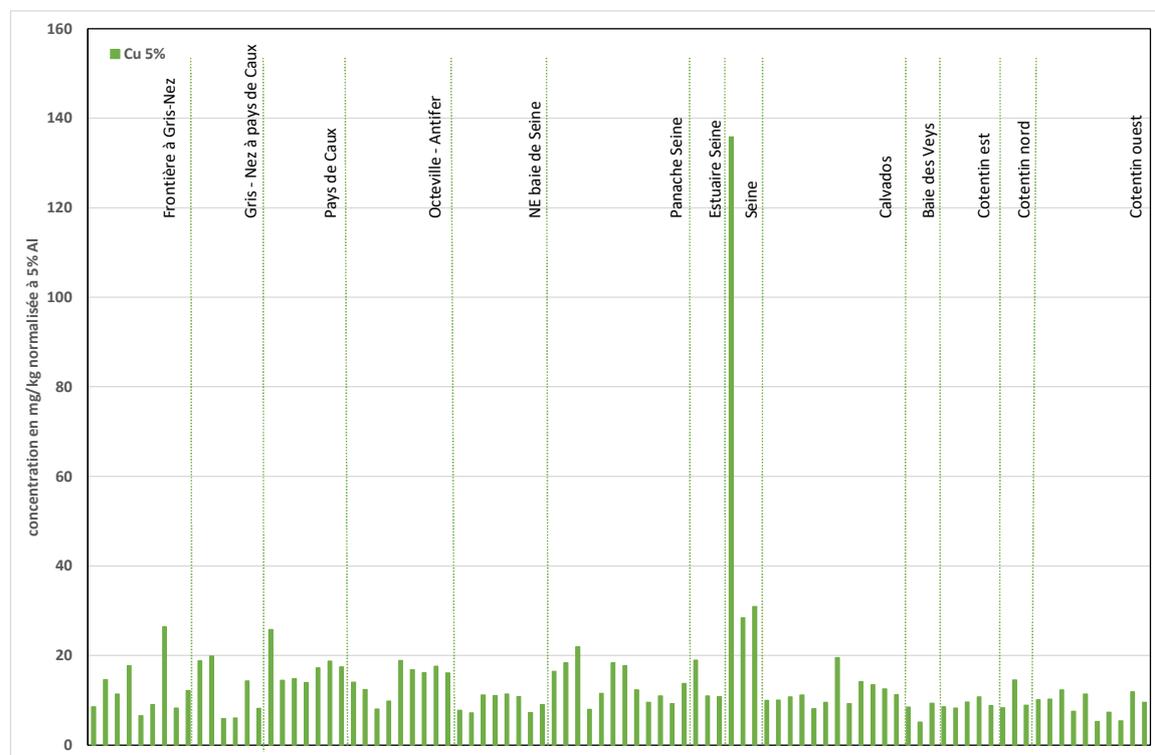


Figure 18 : teneurs en cuivre dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

Seul le point en amont de Rouen (Oissel) présente une valeur supérieure à l'ERL (Figure 17). Ce constat est à relier à la part forte de la fraction fine du sédiment, apte à retenir certains

contaminants comme les métaux. En normalisant les concentrations (Figure 18) pour comparer les niveaux rapportés à un sédiment de nature identique, on constate que les teneurs sur les points de la Seine, Oissel en particulier, restent élevées (très élevées à Oissel).

3.2.8 Argent

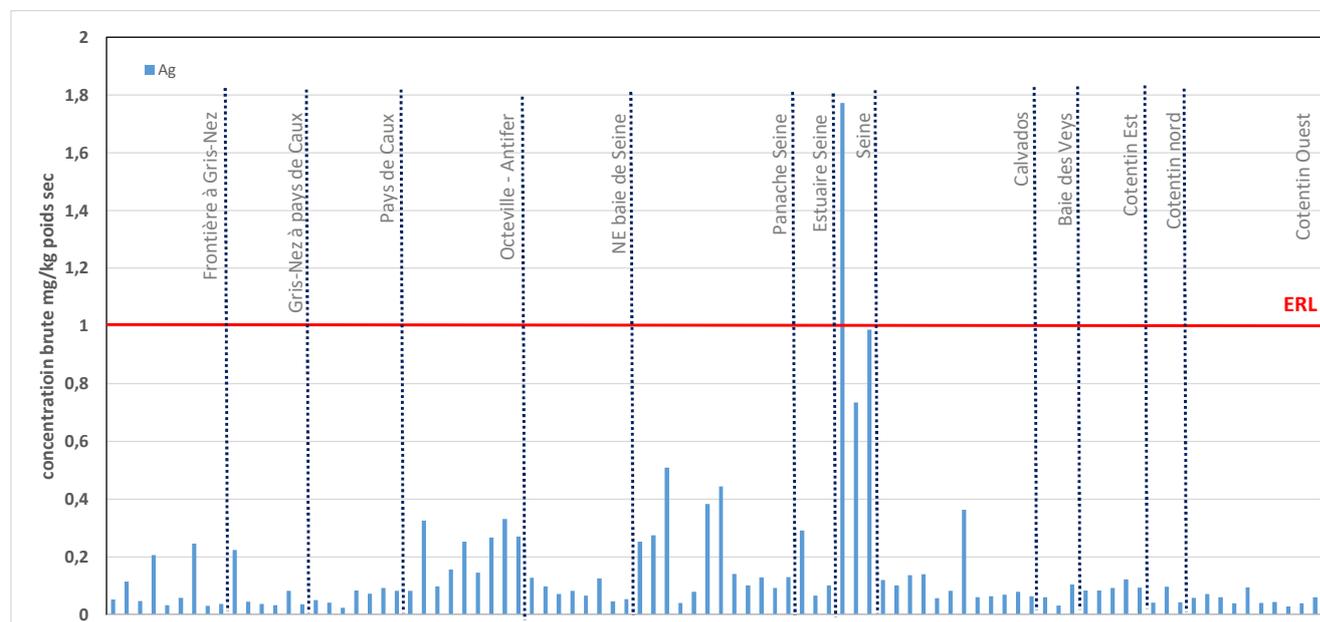


Figure 19 : teneurs en argent dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

Seul le point de Oissel en amont de Rouen présente une concentration brute en argent qui dépasse le seuil ERL indicateur d'une toxicité probable pour l'environnement (Figure 19).

On note par ailleurs une grande similitude dans la distribution des pics entre la Figure 19 et la Figure 17, donc entre la distribution des teneurs les plus élevées en argent et en cuivre des échantillons, pour les échantillons sous influence de la Seine. Et on note également une évolution conjointe des teneurs en cuivre et en argent, avec trois groupes d'échantillons ayant un rapport Cu/Ag différents (Figure 20):

- le nord et l'ouest Cotentin avec une pente de 85,5 entre la concentration en cuivre et la concentration en argent (75 lorsqu'on normalise les concentrations) ;
- les échantillons au nord du Pays de Caux avec une pente de 57 entre le cuivre et l'argent (60 lorsqu'on normalise les concentrations) ;
- les échantillons de la baie de Seine (d'Antifer à la côte est du Cotentin) avec une pente de 25 (même valeur lorsqu'on normalise les concentrations).

On peut donc faire l'hypothèse, sur l'ensemble de la zone d'étude, de trois sources différentes d'apports contaminants, caractérisées par des rapports Cu/Ag différentes. En d'autres termes, en considérant l'argent comme un marqueur des apports par la Seine ainsi que l'a montré Chiffolleau en 2005, on confirme de cette façon l'aire d'influence du panache de la Seine jusqu'au pays de Caux au nord est et à la côte Est du Cotentin vers l'ouest.

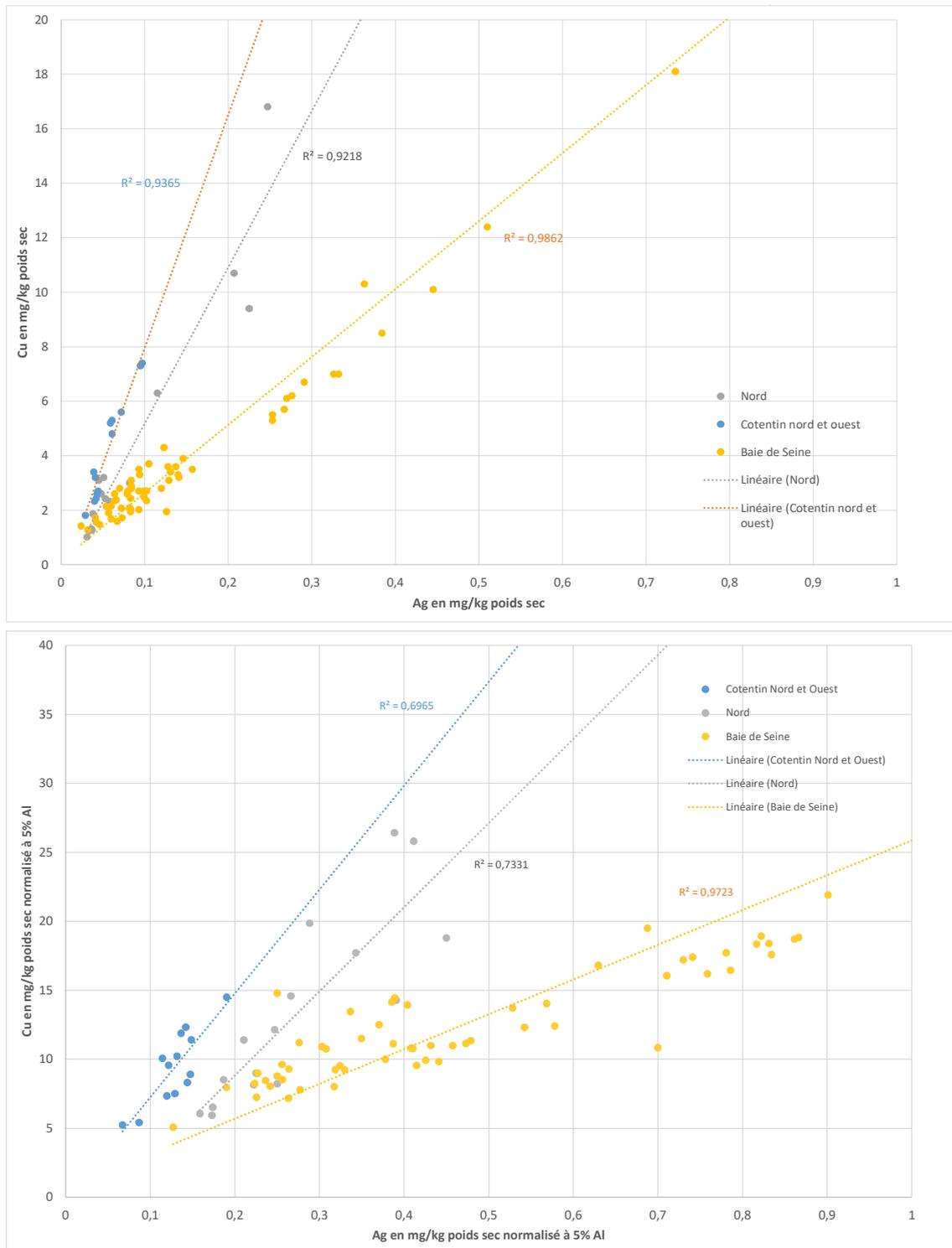


Figure 20 : teneurs en cuivre rapportées à la teneur en argent de chaque échantillon dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes en haut, valeurs normalisées à 5% d'aluminium en bas).

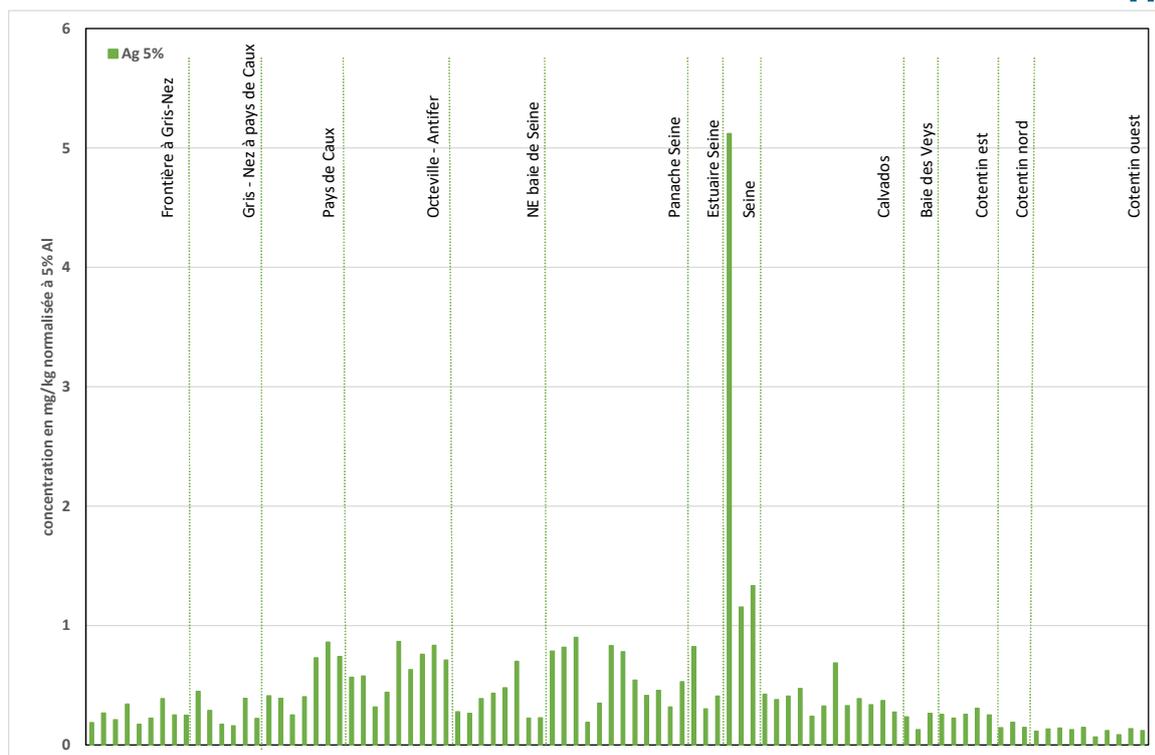


Figure 21 : teneurs en argent dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

3.2.9 Mercure

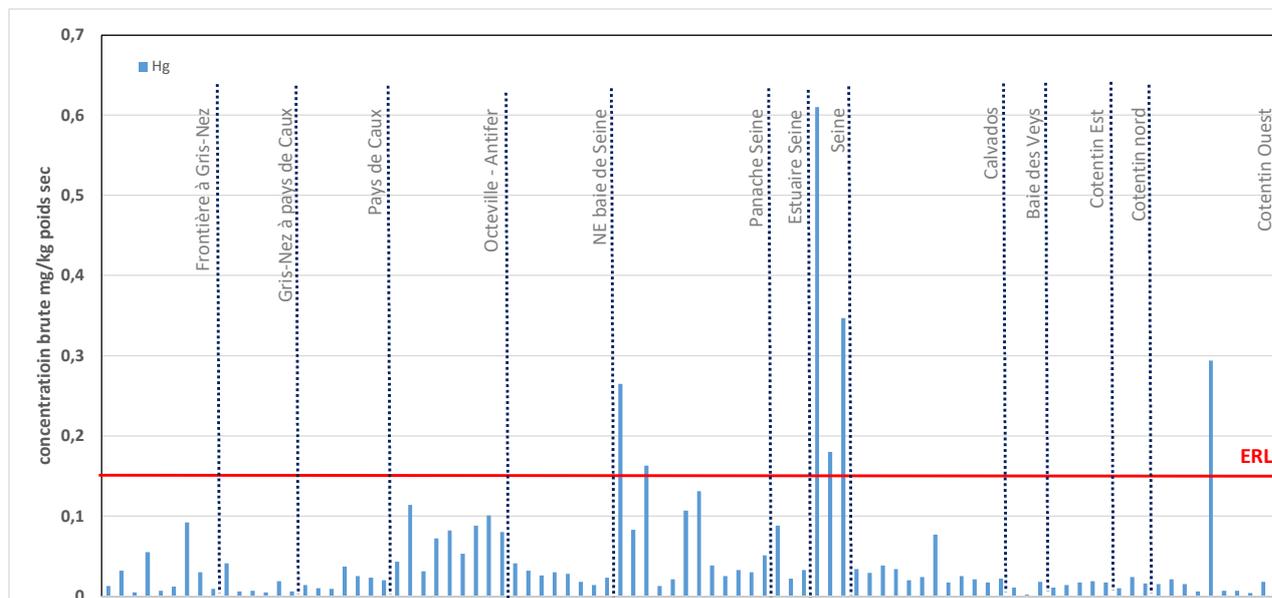


Figure 22 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

La valeur seuil d'écotoxicité en mercure (ERL) est dépassée pour les trois échantillons de la Seine (Figure 22) ainsi que pour deux points devant l'estuaire (banc du dépôt des dragages et bouée Carosse). On note également une valeur isolée forte en mercure au nord de Chausey qui dépasse la valeur de l'ERL.

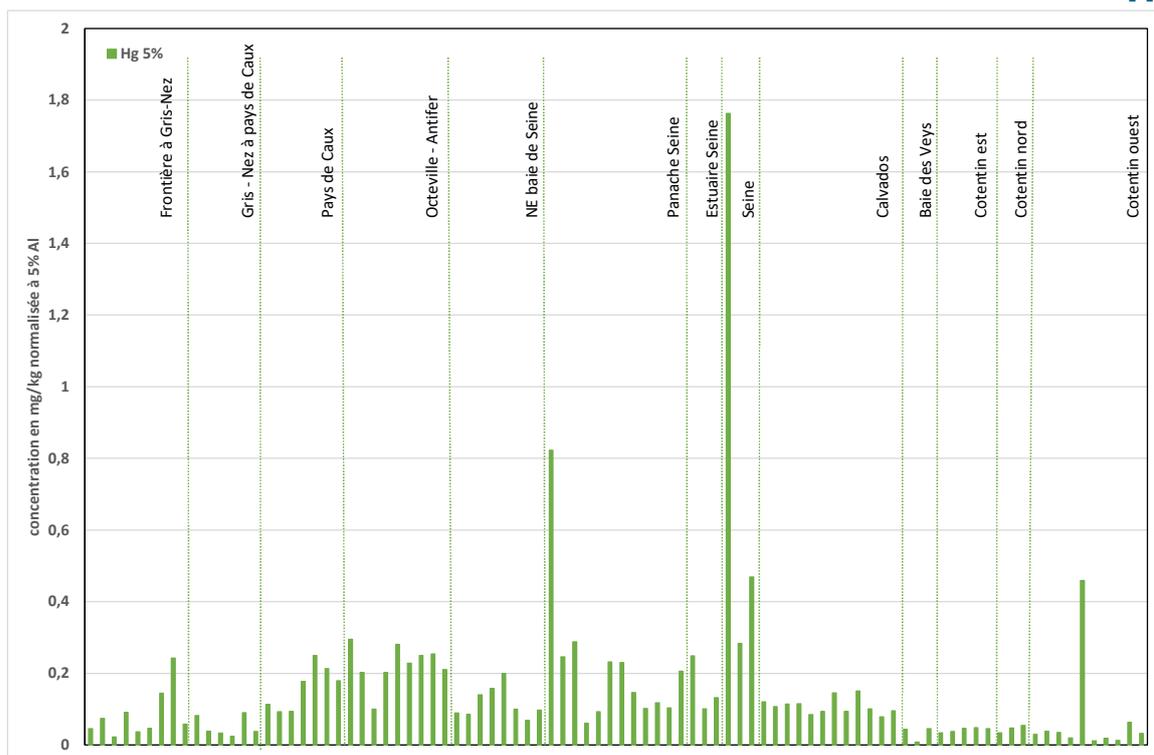


Figure 23 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

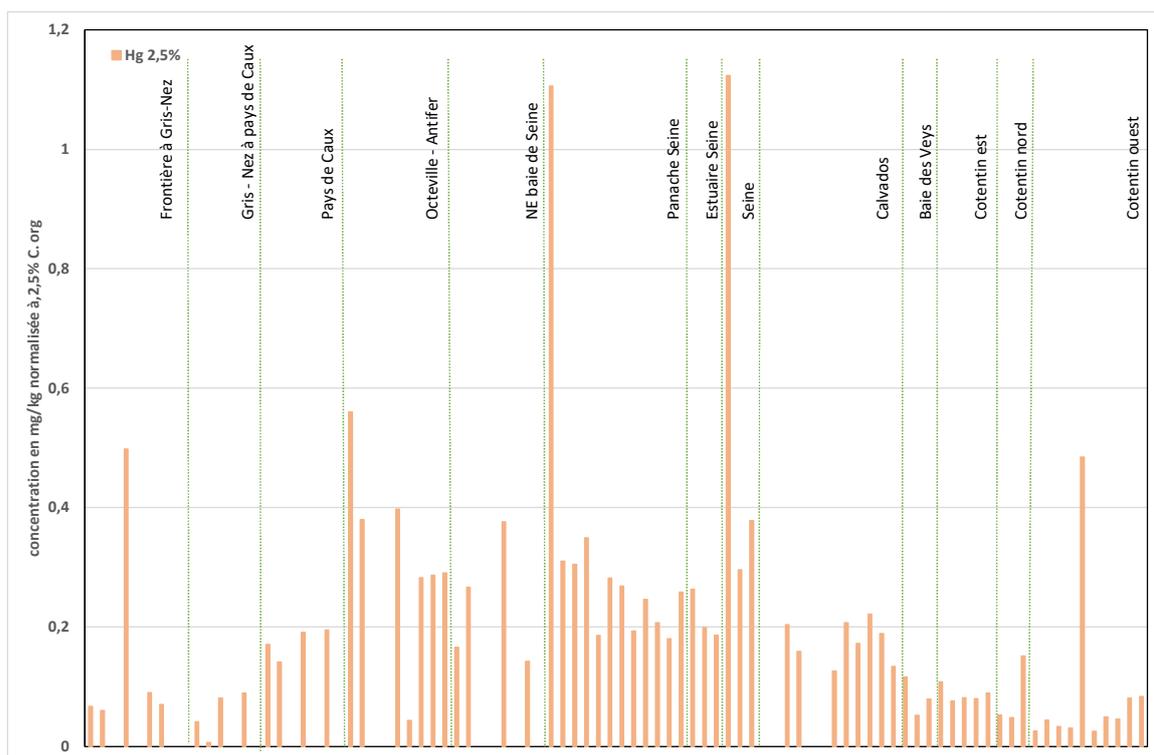


Figure 24 : teneurs en mercure dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Selon le mode de normalisation adopté pour les concentrations en mercure rapportées à un sédiment à 5% Al (Figure 23) ou rapportées à un sédiment à 2.5% de carbone organique (Figure 24) pour comparer les niveaux d'impregnation rapportés à un sédiment de même nature, le haut niveau de contamination de l'échantillon prélevé en aval de Rouen (Oissel) ressort plus ou moins notamment par rapport à celui du banc de dépôt des dragages (teneurs équivalentes en

aluminium des deux échantillons, différence d'un facteur 2 entre les teneurs en carbone organique). La forte teneur détectée au nord de Chausey est confirmée après normalisation dans les deux cas.

3.2.10 Plomb

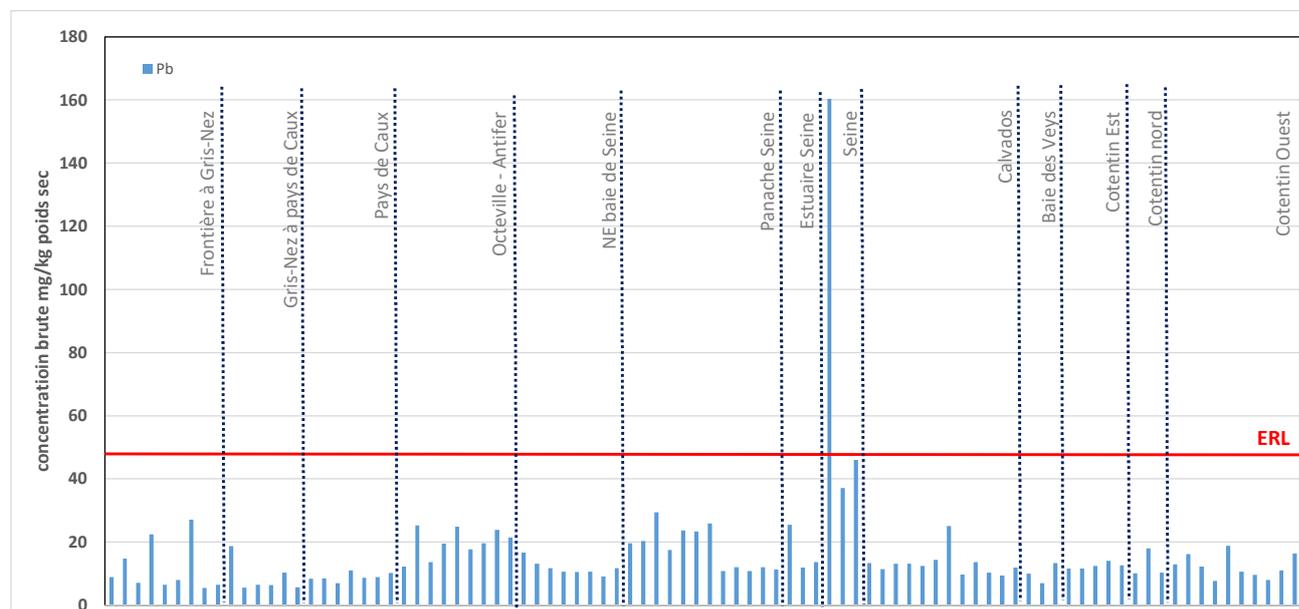


Figure 25 : teneurs en plomb dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

L'échantillon d'Oissel en amont de Rouen est le seul à présenter un large dépassement de la valeur d'écotoxicité (plus de 3 fois la valeur de l'ERL - Figure 25), l'échantillon de la Risle présentant une valeur très proche de ce seuil (46 mg/kg poids sec de sédiment). La normalisation des concentrations (Figure 26) permet d'identifier plusieurs secteurs géographiques pour lesquels une contamination par le plomb est détectée, par ordre décroissant de niveaux de contamination :

- la Seine en amont de Rouen, l'axe du panache de la Seine , puis un gradient vers le nord est de la baie de Seine décroissant jusqu'à la baie de Somme,
- le point dans le chenal de l'Orne, sans que les teneurs dans l'estuaire de l'Orne ne soient très élevées.

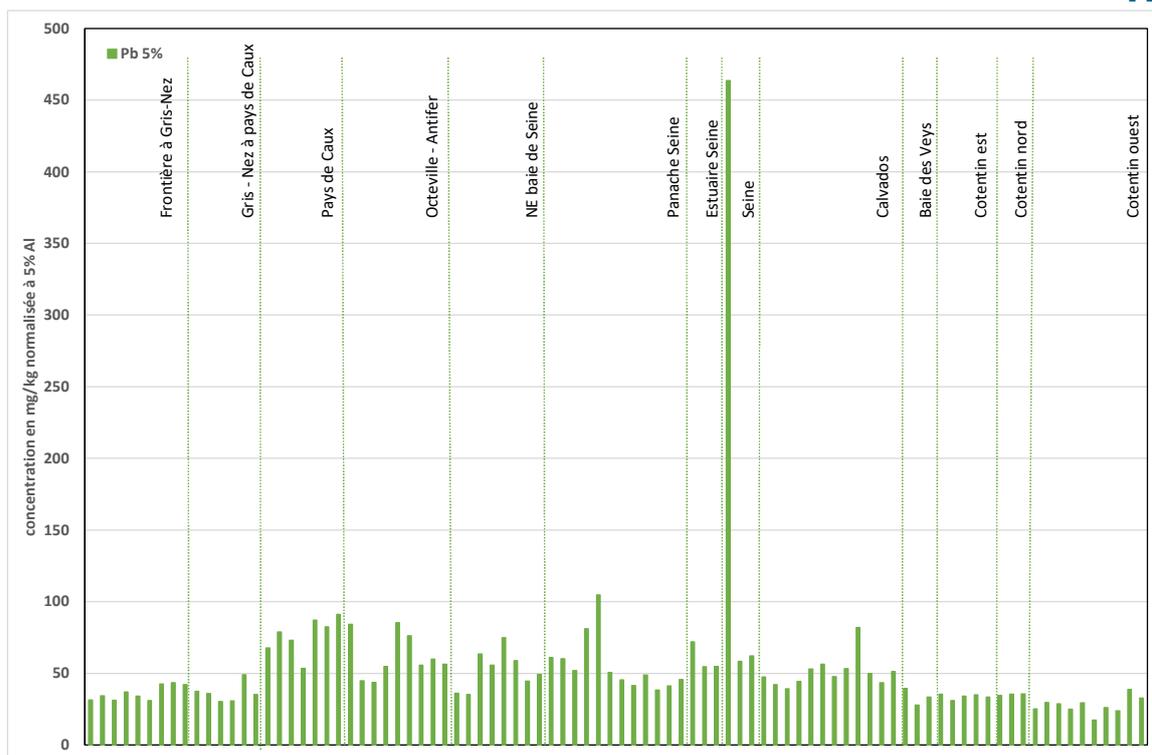


Figure 26 : teneurs en plomb dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

3.2.11 Zinc

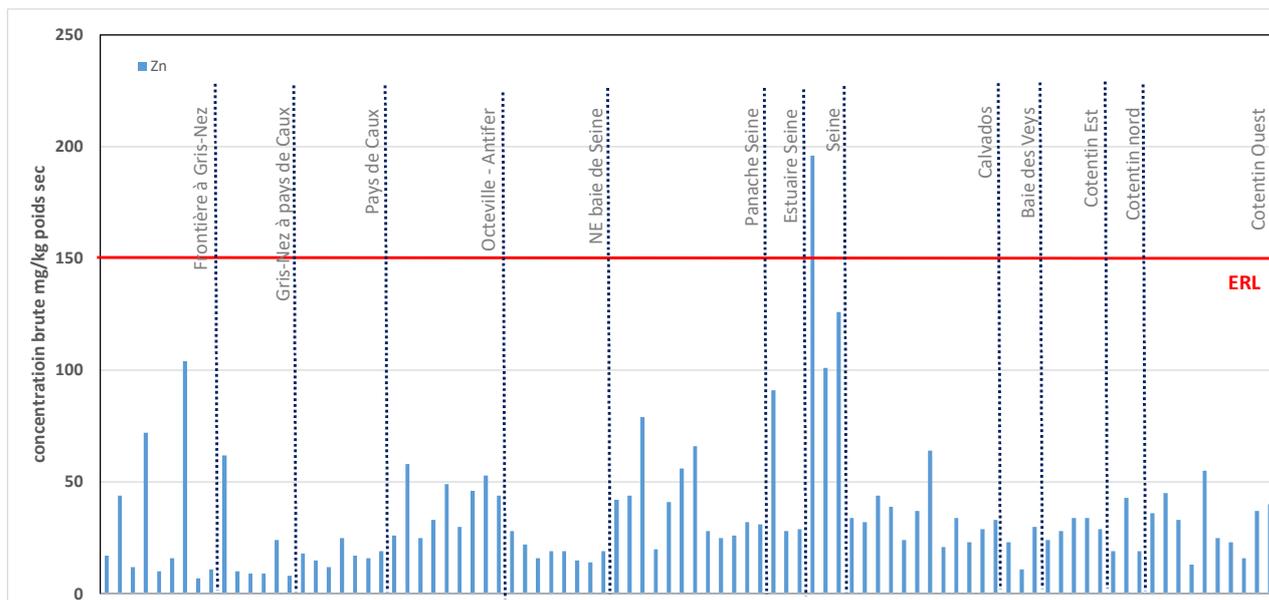


Figure 27 : teneurs en zinc dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs brutes)

L'échantillon d'Oissel en amont de Rouen est le seul à présenter un dépassement de la valeur d'écotoxicité (ERL - Figure 27), les deux autres échantillons de l'estuaire (Le Trait et La Risle) présentent des concentrations plus élevées qu'ailleurs qui restent sous le seuil d'écotoxicité. Les trois grands ports du Nord, en particulier Calais (point Dunkerque 29) présentent également des concentrations assez fortes en zinc, non classées toxiques pour l'environnement. La normalisation des concentrations (Figure 26) donne un profil assez similaire à celui des valeurs brutes, permettant d'exclure le facteur « nature de l'échantillon » comme seule explication de la distribution des concentrations observée. La normalisation met en évidence la surcontamination

en zinc des sédiments de l'Orne. Le gradient précédemment observé pour certains métaux vers le nord est de la Seine jusqu'à la baie de Somme est également marqué pour le zinc.

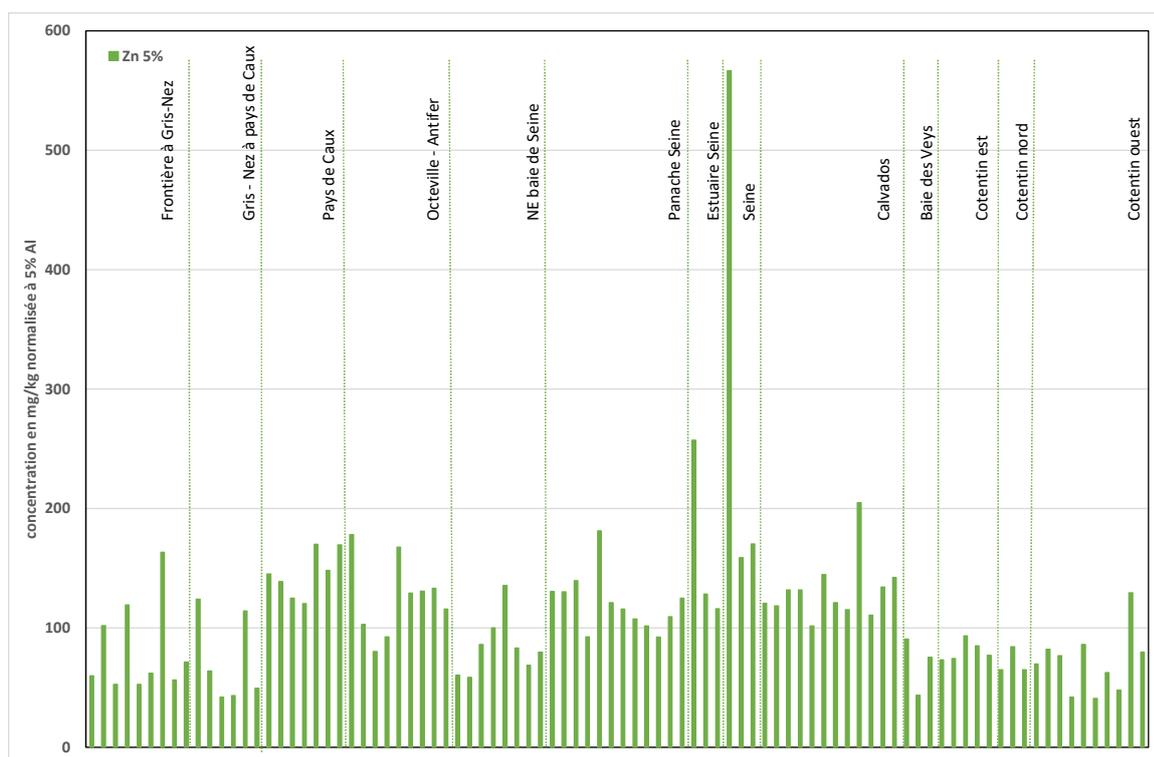


Figure 28 : teneurs en zinc dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

3.2.12 Cobalt

Il n'y a pas de valeur d'ERL proposée pour le cobalt. On regardera donc les concentrations mesurées dans les échantillons les unes par rapport aux autres, après normalisation (Figure 29). Pour cet élément, c'est le point du chenal de l'Orne qui présente la concentration normalisée la plus élevée. On note également une concentration normalisée élevée devant Saint Laurent, avec des valeurs qui décroissent vers l'est (point devant Longues s/mer, Pointe du Hoc et Le Parfond) et vers l'ouest (vers la baie des Veys). Une source locale est envisageable (présence d'une résurgence à Sainte Honorine des pertes).

Une série de valeurs équivalentes, plus élevées que sur les points autour, est enregistrée sur les points du pays de Caux entre Antifer et Biville. A défaut d'une influence de la Seine (absence de teneurs élevées dans les échantillons proches de l'embouchure), une source locale est également envisageable, des résurgences en mer d'eaux souterraines étant également rapportées pour le pays de Caux.

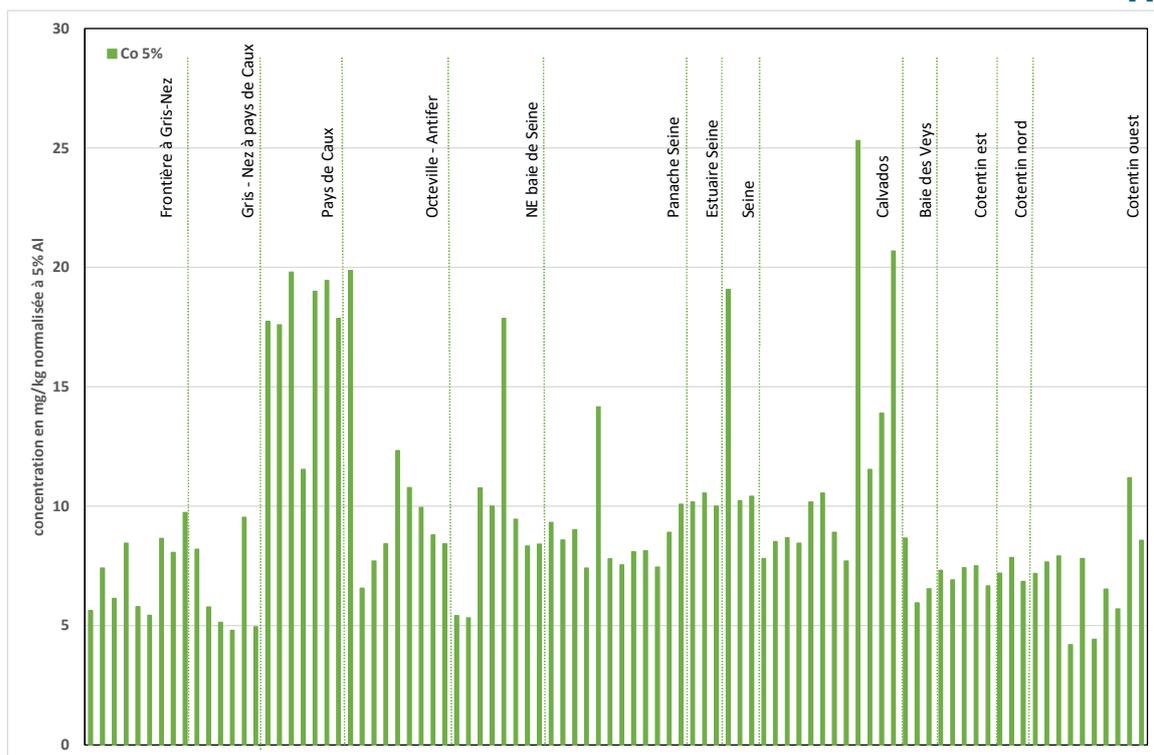


Figure 29 : teneurs en cobalt dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium – dans l'encadré : pleine échelle).

3.2.13 Conclusions pour la distribution des métaux sur la zone d'étude :

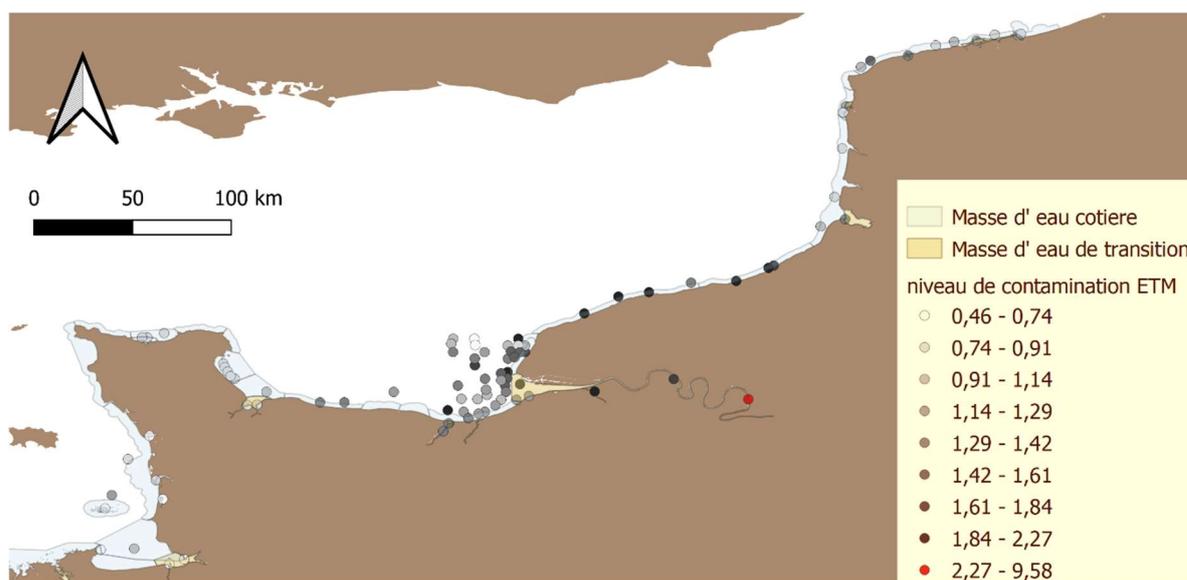


Figure 30 : ROCCHSED19 - niveaux de contamination en éléments trace métalliques : moyenne de la somme des rapports à la valeur médiane pour les 10 éléments métalliques suivis (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 5% d'aluminium).

Sur l'ensemble de la zone d'étude, trois secteurs géographiques présentent les niveaux de concentration les plus élevés pour les métaux suivis :

1. Le pays de Caux, avec un gradient plus ou moins marqué du point de prélèvement au nord-est de Fécamp jusqu'à la baie de Somme, selon l'élément métallique considéré. A noter cependant que dans cet ensemble le point devant Cayeux sur mer est une exception avec des valeurs de concentration parmi les plus basses de toute la zone d'étude, sans doute à cause de la nature très grossière de l'échantillon prélevé.

2. L'estuaire et la baie de Seine, avec les valeurs les plus fortes enregistrées au cours de la campagne sur le point de Oissel en amont de Rouen.
3. Le chenal de l'Orne, en particulier pour le cobalt, le vanadium, le zinc et le nickel.

A l'opposé, les concentrations normalisées les plus faibles sont rencontrées sur les points entre Chausey et la baie du Mont Saint-Michel et sur les points entre la baie de Somme et Boulogne (sauf pour le cuivre).

On note également un résultat particulier concernant le point au nord de Chausey : la concentration en mercure y est très importante, avec un dépassement du seuil ERL d'écotoxicité. A noter qu'en 2018 un lot d'amandes de mer débarqué à Granville présentait un dépassement du seuil sanitaire pour le mercure. Si l'origine précise du lot n'a pas pu être établie, une enquête plus approfondie serait intéressante concernant cette contamination.

Les grands ports du Nord présentent des pics de contaminations ciblés sur trois ou quatre des dix métaux suivis :

- Dunkerque (point Dunkerque 25 dans l'enceinte du port) : fortes valeurs en nickel, vanadium, cuivre et cadmium (chrome dans une moindre mesure)
- Calais (point Dunkerque 29 dans l'enceinte du port) : fortes concentrations en nickel, cuivre, zinc, vanadium et cadmium (chrome dans une moindre mesure)
- Boulogne (point chenal RoRo dans l'enceinte du port) : fortes concentrations en cadmium, nickel, cuivre et vanadium (chrome et argent dans une moindre mesure).

Parmi l'ensemble des métaux étudiés, le chrome présente certaines spécificités dans sa distribution avec un pic devant Dieppe (point Bas Fort Blanc) et des concentrations décroissantes jusqu'à la baie de Somme, un pic isolé en Seine sur le point de Oissel en amont de Rouen et un troisième pic sur deux points de l'ouest de la baie des Veys.

Le cobalt est retrouvé en plus forte concentration de manière isolée dans le chenal de l'Orne et sur le point de prélèvement des côtes du Calvados face à Saint Laurent sur mer, peut-être en lien avec une source très locale. Le cobalt est également très présent dans les échantillons du pays de Caux, à des niveaux de concentration équivalents du port d'Antifer jusqu'à Biville.

Pour la majorité des métaux suivis, la concentration maximale est mesurée dans l'échantillon prélevé dans la Seine à Oissel en amont de Rouen, avec de plus un dépassement du seuil d'écotoxicité (ERL) sur ce point pour le cadmium, le cuivre, l'argent, le mercure, le plomb et le zinc.

3.3 Concentration en contaminants organiques réglementaires

3.3.1 Mode d'expression des résultats et valeurs de référence

Comme pour les contaminants métalliques, l'interprétation des mesures de concentration en composés organiques doit tenir compte de la nature du sédiment. Elle s'appuie à la fois sur la comparaison des résultats obtenus entre échantillons (après normalisation) et sur la référence à des valeurs consensuelles associées à des effets toxiques sur l'environnement.

Les contaminants organiques se lient préférentiellement à la matière organique sédimentaire, alors que les éléments métalliques se lient préférentiellement aux argiles, on retiendra la teneur en carbone organique comme paramètre de normalisation des concentrations. Celle-ci est mesurée en même temps que les concentrations en contaminants organiques. Selon les recommandations d'OSPAR, on adoptera la valeur 2.5% en carbone organique comme valeur de normalisation.

Deux sources de valeurs de référence sont prises ici pour le diagnostic de la qualité du sédiment : l'ERL (US Effects Range Low sediment toxicological criteria) ou les seuils d'effet pris dans les conventions de mers régionales (EAC ou Ecological Assessment criteria d'OSPAR) et les valeurs de bruit de fonds. Les valeurs considérées ici sont indiquées dans le Tableau 7.

famille	molécule	Valeur d'ERL (µg/kg poids sec)	Valeur d'EAC (µg/kg poids sec)	Bruits de fonds (OSPAR) (µg/kg poids sec)
HAP	Acénaphène	16		
	Anthracène	85.3		
	Benzo(a)anthracène	261		
	Benzo(a)pyrène	430		15
	Fluoranthène	600		20
	Naphtalène	160		
	Phénanthrène	240		17
	Pyrène	665		
PCB	CB28		1.7	0.22
	CB52		2.7	0.12
	CB101		3	0.14
	CB118		0.6	0.17
	CB138		7.9	0.15
	CB153		40	0.19
	CB180		12	0.1
TBT	TBT cation		0.01	

Tableau 7 : Valeurs seuils pour le sédiment marin. ERL : US Effects Range Low sediment toxicological criteria. EAC : ecological assesment criteria (OSPAR).

Pour la comparaison aux valeurs ERL, nous prenons en compte, comme pour les métaux, les concentrations brutes qui traduisent les conditions réelles de vie des organismes marins alors que pour la comparaison à des valeurs d'EAC ou de bruit de fonds établies par OSPAR, nous appliquons la normalisation à 2.5% de carbone organique recommandée pour les exercices d'évaluation.

Les résultats sont présentés ci-dessous pour chaque famille de contaminants organiques suivie, les graphes présentant les points dans un ordre géographique le long de la côte, depuis l'avant-port est de Dunkerque au nord est jusqu'à Cancale au sud ouest de la zone prospectée lors de la campagne ROCCHSED19 (**histogrammes orange** pour les valeurs normalisées à 2.5% de carbone organique).

3.3.2 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

3.3.2.1 Distribution sur la zone d'étude

24 molécules de HAP ont été dosées au cours de l'analyse : 14 HAP^{2 3} classiquement pris en compte pour l'évaluation de la qualité du milieu, dont 4 légers, auxquels s'ajoutent 10 HAP alkylés et soufrés⁴. Ces analyses ont été réalisées dans les échantillons retenus après vérification de la granulométrie, soit un total de 72 analyses de HAP réalisées sur la zone d'étude.

Les résultats présentés ci-dessous sont maximisés, les concentrations inférieures au seuil de quantification ayant été traitées comme égales à ce seuil.

secteur2013	Benzo(a)pyrène		Fluoranthène		Phénanthrène		Anthracène		Somme 10 HAP		Somme HAP alkylés	
Frontière à gris-Nez	59,7	<i>89,8</i>	110,2	<i>154,4</i>	65,7	<i>86,1</i>	24,6	<i>34,8</i>	592	<i>848,6</i>	-	-
GrisNez à Caux	76,8	<i>119,4</i>	97,4	<i>126,6</i>	48,6	<i>46,2</i>	18,1	<i>21,4</i>	564	<i>768,0</i>	258	204
Pays de Caux	183,7	<i>258,9</i>	373,7	<i>581,4</i>	199,1	<i>301,2</i>	37,4	<i>31,1</i>	1664	<i>2358,8</i>	561	153
Octeville - Antifer	122,3	<i>82,0</i>	169,1	<i>126,3</i>	95,6	<i>66,6</i>	63,2	<i>47,4</i>	986	<i>663,1</i>	589	266
Nord-Est baie de Seine	117,7	<i>179,1</i>	242,8	<i>405,7</i>	109,5	<i>110,6</i>	32,0	<i>22,7</i>	1004	<i>1401,4</i>	1333	1205
Panache Seine	95,5	<i>64,2</i>	124,1	<i>79,9</i>	82,1	<i>45,1</i>	47,6	<i>25,0</i>	762	<i>431,8</i>	541	204
Estuaire Seine	224,7	<i>329,2</i>	374,2	<i>565,3</i>	242,0	<i>353,2</i>	92,5	<i>136,8</i>	1771	<i>2539,4</i>	507	391
Seine	525,3	<i>600,6</i>	983,3	<i>1299,7</i>	483,7	<i>623,3</i>	356,9	<i>461,8</i>	5316	<i>6961,8</i>	5658	7927
Calvados	93,2	<i>85,9</i>	117,1	<i>117,8</i>	66,6	<i>42,0</i>	31,3	<i>29,8</i>	681	<i>550,1</i>	573	265
Baie des Veys	512,9	<i>859,3</i>	1104,1	<i>1862,9</i>	349,3	<i>539,0</i>	189,7	<i>316,1</i>	4380	<i>7256,5</i>	643	485
Cotentin Est	14,4	<i>3,2</i>	21,6	<i>3,1</i>	30,2	<i>11,6</i>	7,4	<i>1,4</i>	158	<i>19,4</i>	214	64
Cotentin Nord	79,4	<i>8,3</i>	161,4	<i>21,8</i>	96,6	<i>13,0</i>	25,8	<i>1,7</i>	751	<i>62,9</i>	258	81
Cotentin Ouest	13,0	<i>10,4</i>	20,5	<i>16,6</i>	23,1	<i>15,1</i>	4,7	<i>2,6</i>	132	<i>78,8</i>	176	89

Tableau 8 : moyennes (en µg/kg poids sec) et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

1 valeur manquante pour le secteur Frontière à Gris-Nez n'a pas permis de calculer la moyenne

3.3.2.2 HAP classiques

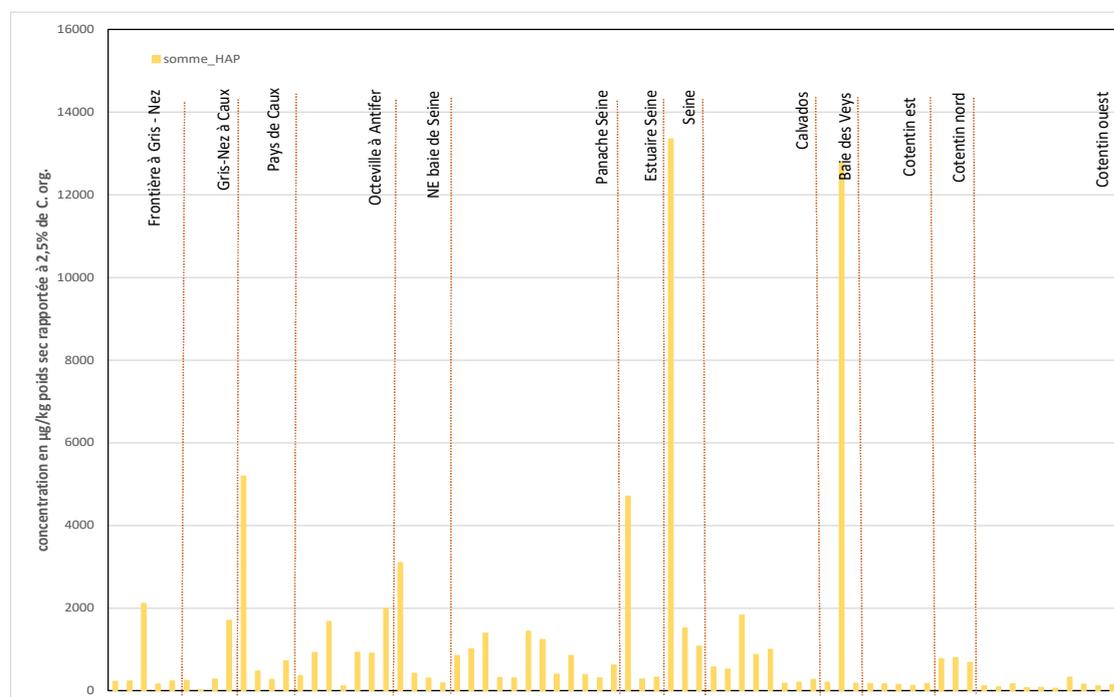


Figure 31 : teneurs en HAP (somme des 10 concentrations individuelles rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.

² Anthracène, Fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Benzo(g,h,i)pérylène, Acénaphthène, Indeno(1,2,3-cd)pyrène, Phénanthrène, Benz[a]anthracène, Chrysène, Pyrene

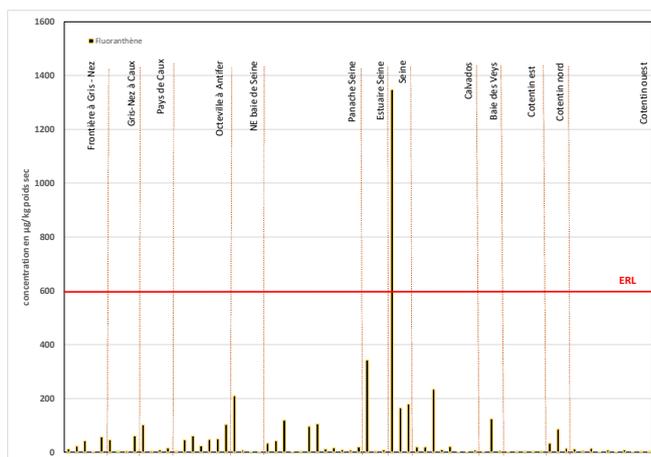
³ HAP légers : Naphtalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène

⁴ C1, C2 et C3 naphtalènes, C1, C2 et C3 phénanthrènes, dibenzothiophène et C1, C2 et C3 dibenzothiophènes.

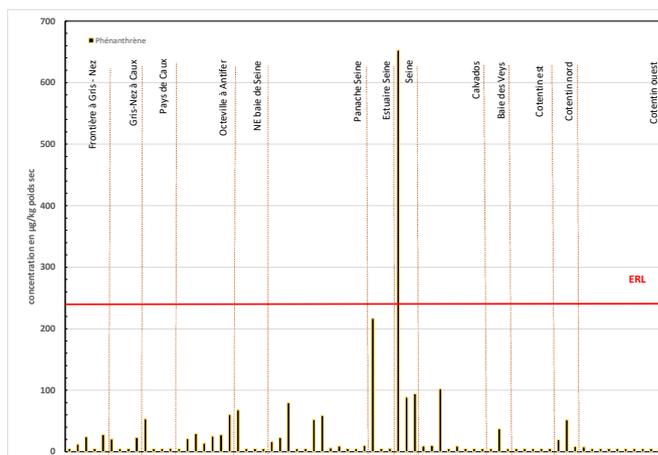
En considérant globalement les 10 molécules de HAP « classiques » (Figure 31), hors HAP légers pour lesquels les incertitudes analytiques sont très fortes, deux points présentent une contamination nettement plus élevée qu'ailleurs : Oissel, dans la Seine en amont de Rouen et le banc de la Rouelle en Baie des Veys. Les caractéristiques intrinsèques de ce dernier point (fraction organique, traduite par la teneur en carbone organique, parmi les plus faibles de la zone d'étude) devraient se traduire par une faible capacité à retenir les contaminants et donc des concentrations mesurées dans l'échantillon faible. Or les concentrations individuelles brutes en HAP sont équivalentes, voire supérieures, à celles du point présentant la plus forte teneur en carbone organique de la zone d'étude.

Dans des niveaux de concentration moindres, on trouve ensuite Biville sur mer (voir encadré) et le port de Dunkerque (à l'intérieur de l'enceinte du port).

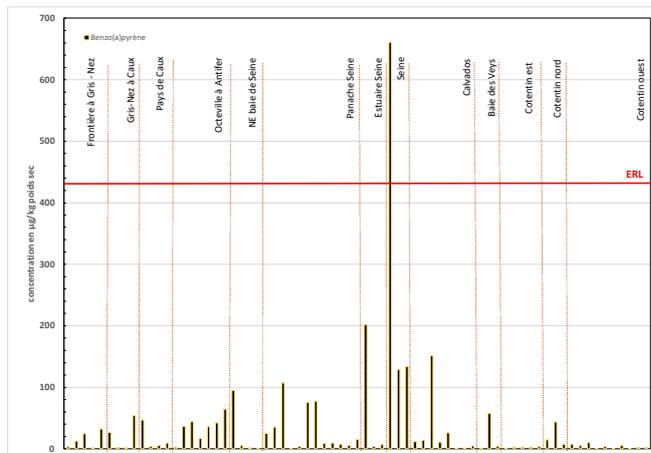
L'examen des concentrations brutes individuelles comparées aux seuils ERL afin d'évaluer la toxicité du sédiment brut vis-à-vis de l'écosystème marin met systématiquement et exclusivement le point amont de la Seine (Oissel) en évidence avec des teneurs qui atteignent 2 à plus de 5 fois la valeur de l'ERL (pour l'anthracène), selon les molécules considérées (Figure 32).



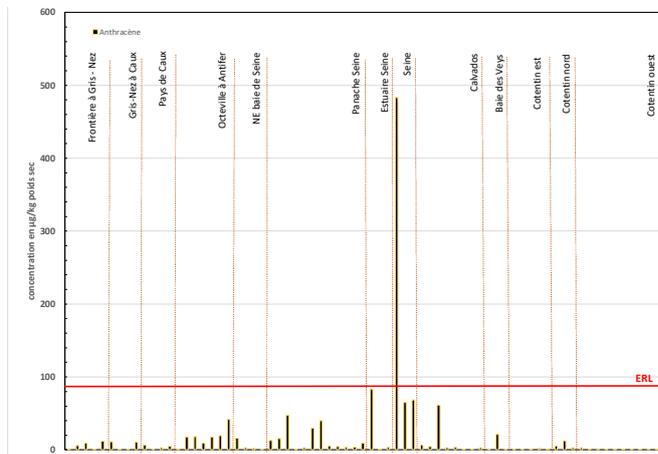
a) Fluoranthène



b) phénanthrène



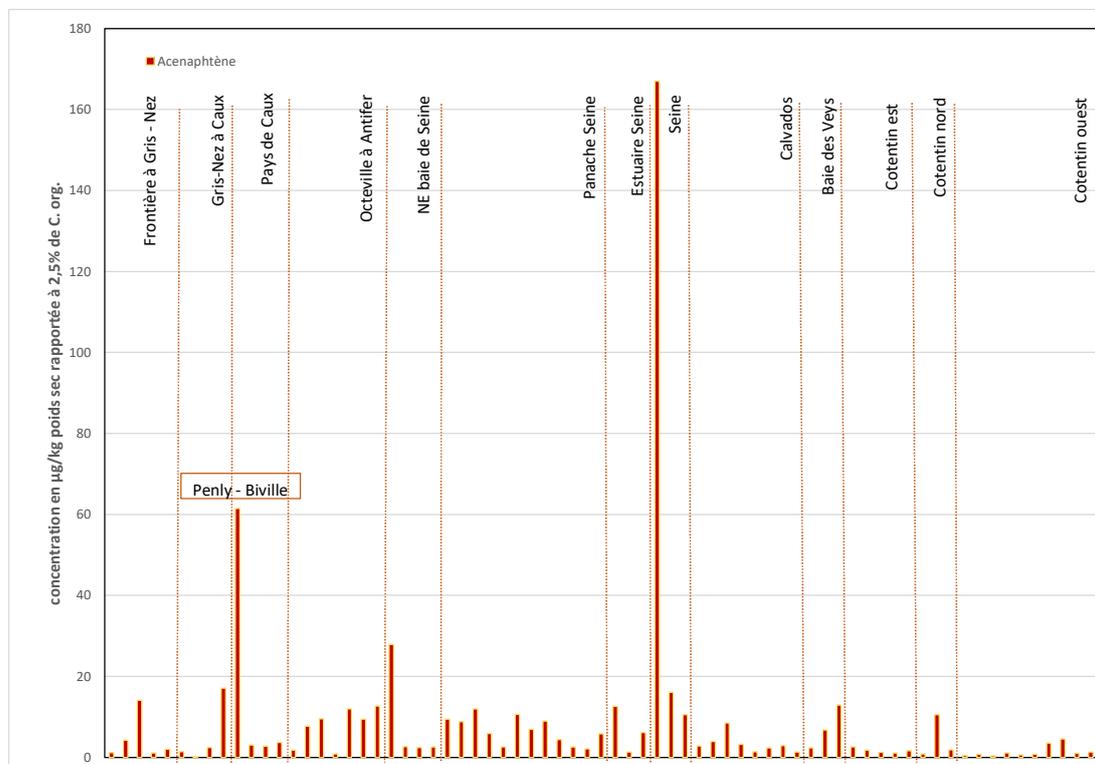
c) benzo(a)pyrène



d) anthracène

Figure 32 : teneurs en fluoranthène (a), phénanthrène (b), benzo(a) pyrène (c), et anthracène (d) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.

Acénaphène : le point de Penly-Biville présente une teneur en acénaphène proportionnellement forte par rapport aux autres points de la baie de Seine : 5.04 ng/g sec en valeur brute, 61 ng/g en normalisant à 2.5% de carbone organique, contre moins de 3 ng/g à 2.5% carbone organique sur le point voisin de Penly nord, et 17 ng/g à 2.5% de carbone organique en baie de Somme. Il n'y a qu'un point dans la Seine, à Oissel, qui présente une teneur supérieure en acénaphène (167 ng/g à 2.5% C. organique).



Le constat a été fait également début 2021 par les exploitants de la centrale de Penly, de teneurs inhabituelles en HAP et notamment en acénaphène dans les sédiments du chenal de pompage d'eau de refroidissement de la centrale. Le point de suivi des contaminants chimiques sur mollusque le plus proche, à Varengueville, ne présente pas de teneurs inhabituelles en acénaphène. La contamination des sédiments de ce secteur pourrait donc être très localisée.

3.3.2.3 HAP alkylés et soufrés

Lorsqu'on regarde globalement ce groupe de molécules, c'est toujours le point en amont de Rouen qui présente la concentration normalisée la plus forte, 40 fois plus élevée que la valeur médiane de la zone d'étude (Figure 33).

Pour la famille des méthylnaphtalènes (Figure 34), on retrouve le même profil de contamination sur la zone d'étude que pour les HAP classiques : contamination la plus importante dans la Seine en amont de Rouen, en particulier pour le composé C3, alors que pour le point de Dunkerque, les niveaux des composés C2 et C3 sont équivalents. On retrouve également l'anomalie sur le point de la baie des Veys – banc de la Rouelle, en particulier pour le C3 naphtalène.

L'extrémité du chenal du Havre et Oissel présentent des concentrations plus fortes, avec la même empreinte en méthylphénanthrènes pour les deux points, signature d'une origine commune de la contamination (Figure 35). En revanche, les points du port de Dunkerque et au large d'Antifer présentent un profil différent avec la prédominance du composé C1.

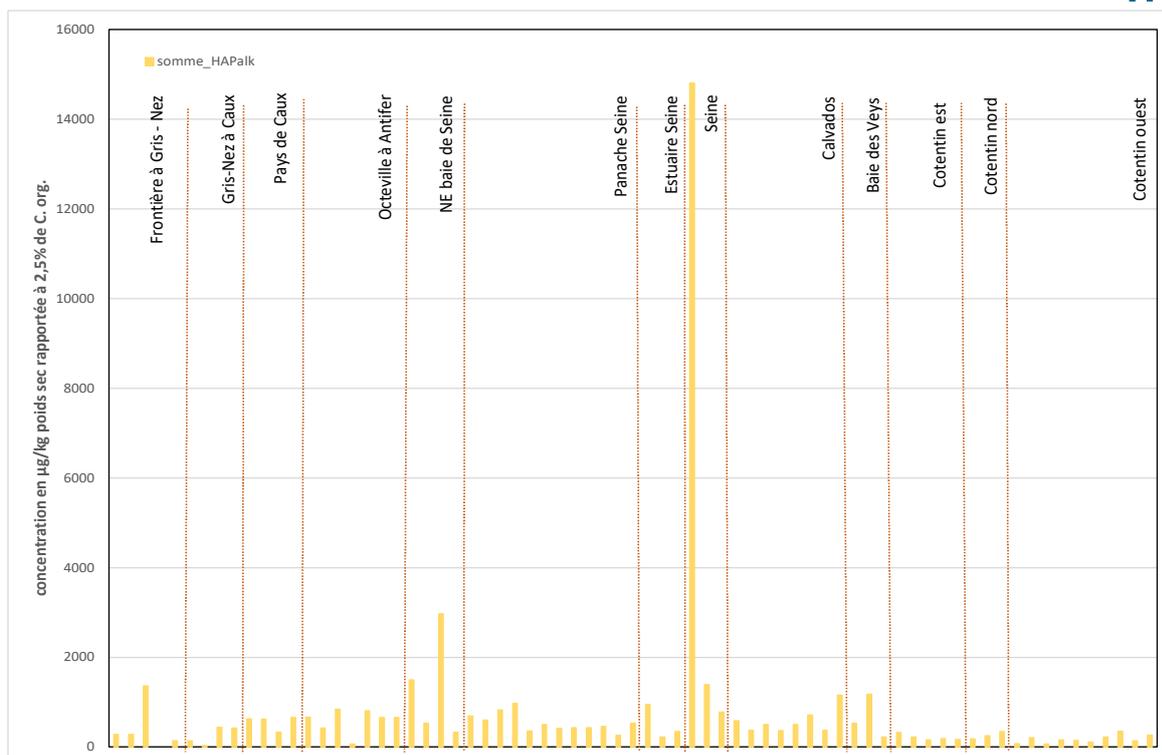


Figure 33 : teneurs en HAP alkylés et soufrés (somme des 10 concentrations individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19.

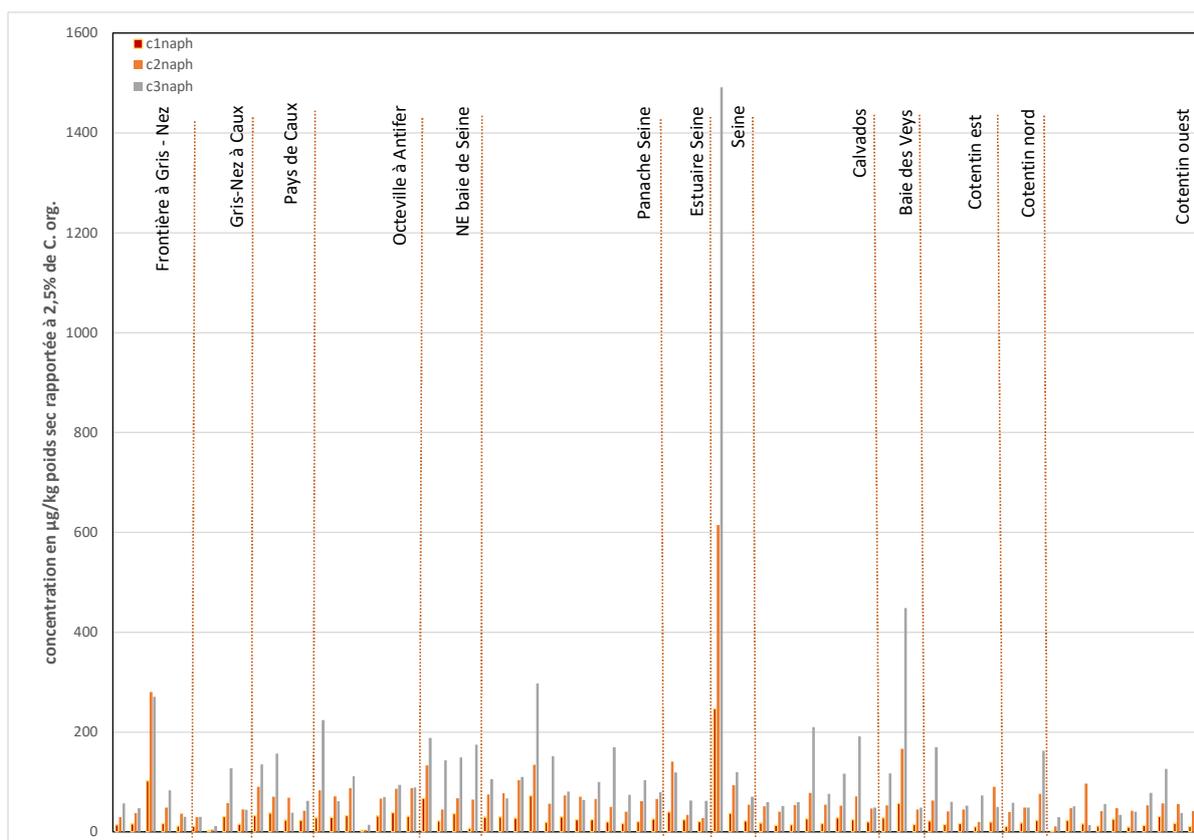


Figure 34 : teneurs en méthyl naphthalènes (C1, C2 et C3 naphthalènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

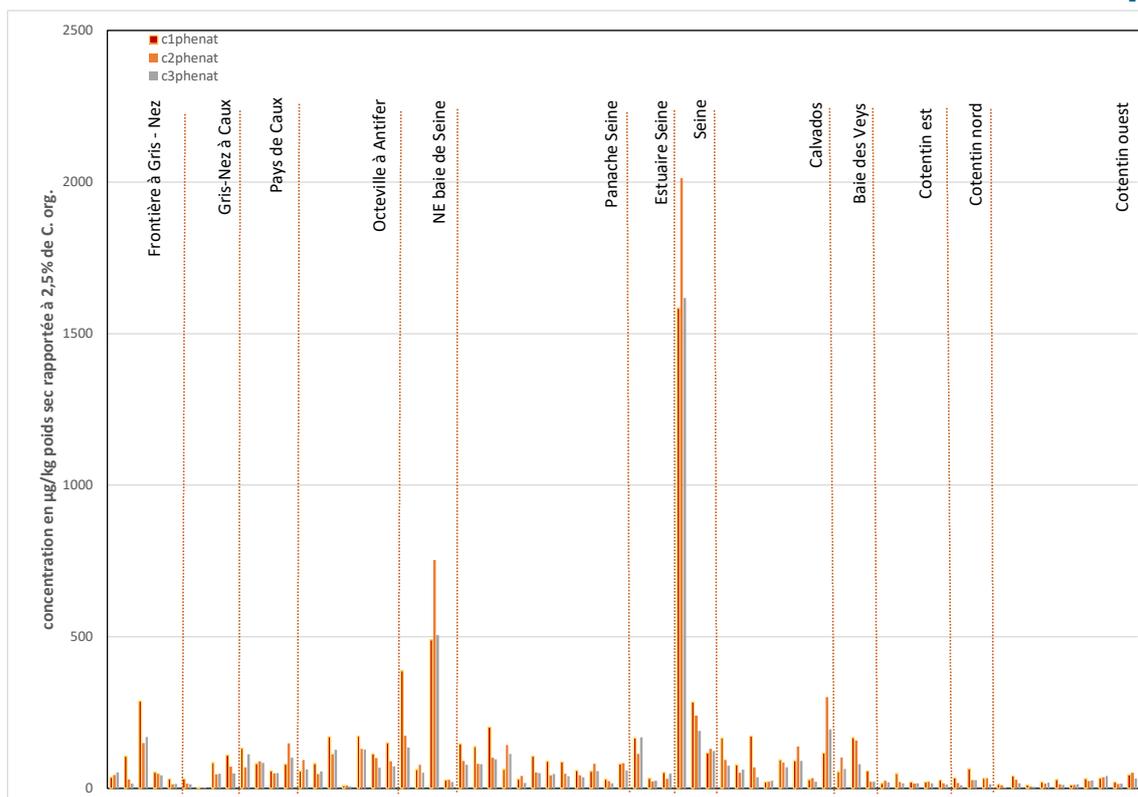


Figure 35 : teneurs en méthylphénanthrènes(c1, c2 et C3 phénanthrènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

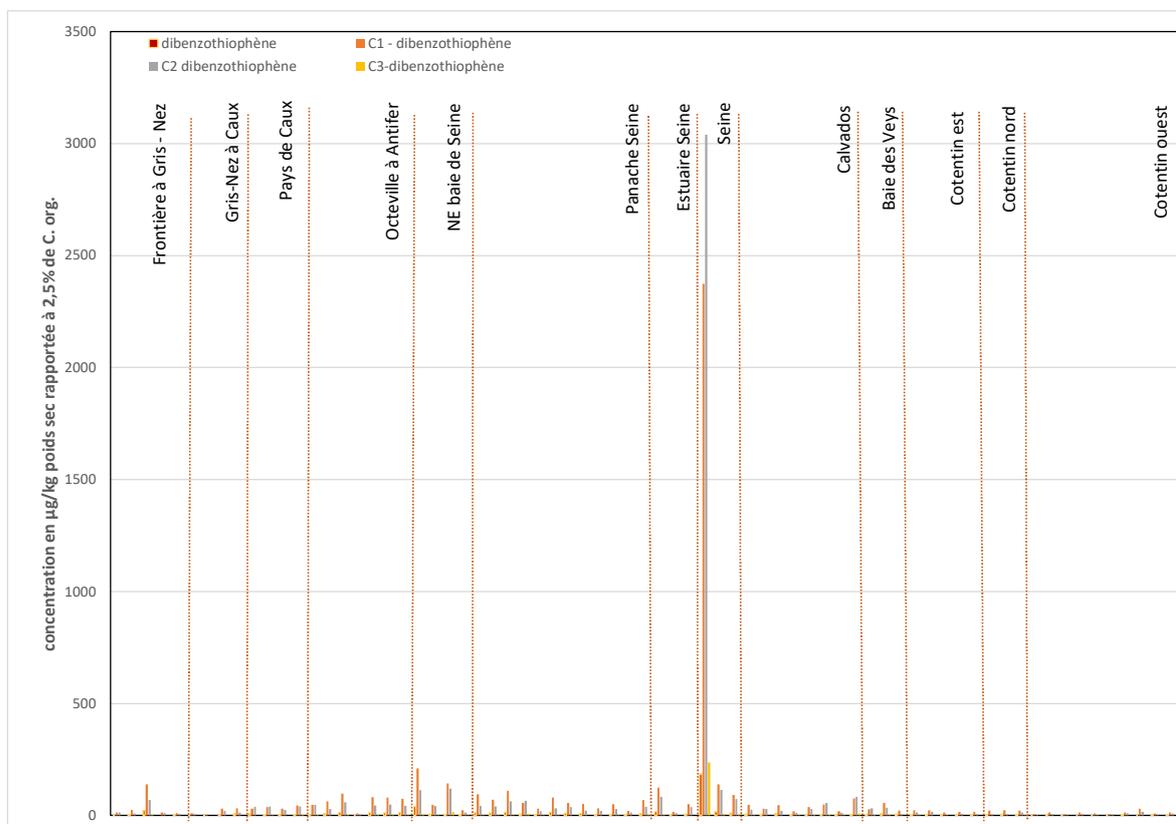


Figure 36 : teneurs en dibenzothiophènes (dibenzothiophène et C1, C2 et C3 dibenzothiophènes) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Dans l'échantillon de Oissel, les formes soufrées (dibenzothiophènes) et en particulier les C1 et C2 dibenzothiophènes (Figure 36) sont les formes de HAP les plus abondantes parmi les molécules de HAP recherchées.

3.3.3 PCB et composés de type dioxines

3.3.3.1 PCB non de type dioxines

Cette famille comprend 6 congénères, parmi les 7 qui constituent les PCB indicateurs représentant plus de 80% des PCB totaux : CB28, CB52, CB101, CB138, CB153 et CB180.

secteur2013	CB28		CB52		CB101		CB138		CB153		CB180	
Frontière à gris-Nez	0,65	<i>0,91</i>	0,47	<i>0,59</i>	0,70	<i>0,81</i>	1,04	<i>1,39</i>	1,47	<i>1,81</i>	0,56	<i>0,72</i>
GrisNez à Caux	0,23	<i>0,15</i>	0,24	<i>0,25</i>	0,44	<i>0,45</i>	0,51	<i>0,49</i>	0,64	<i>0,55</i>	0,19	<i>0,17</i>
Pays de Caux	0,45	<i>0,11</i>	0,38	<i>0,06</i>	0,87	<i>0,21</i>	0,98	<i>0,21</i>	1,65	<i>0,27</i>	0,45	<i>0,10</i>
Octeville - Antifer	1,77	<i>0,94</i>	1,34	<i>0,68</i>	2,34	<i>1,20</i>	3,12	<i>1,51</i>	4,50	<i>2,17</i>	1,65	<i>0,81</i>
Nord-Est baie de Seine	0,88	<i>0,38</i>	0,57	<i>0,22</i>	1,17	<i>0,56</i>	1,71	<i>0,71</i>	2,53	<i>1,03</i>	0,78	<i>0,28</i>
Panache Seine	1,49	<i>0,78</i>	1,43	<i>0,72</i>	2,43	<i>1,10</i>	3,28	<i>1,30</i>	4,63	<i>1,79</i>	1,68	<i>0,86</i>
Estuaire Seine	1,39	<i>1,61</i>	1,41	<i>1,51</i>	2,27	<i>2,26</i>	2,81	<i>2,65</i>	4,22	<i>3,96</i>	1,74	<i>1,94</i>
Seine	68,68	<i>113,89</i>	136,93	<i>232,50</i>	122,25	<i>204,32</i>	87,54	<i>141,15</i>	103,61	<i>163,97</i>	42,85	<i>67,38</i>
Calvados	0,51	<i>0,23</i>	0,52	<i>0,27</i>	0,99	<i>0,42</i>	1,28	<i>0,50</i>	2,00	<i>0,84</i>	0,50	<i>0,22</i>
Baie des Veys	0,17	<i>0,07</i>	0,14	<i>0,08</i>	0,33	<i>0,29</i>	0,41	<i>0,26</i>	0,74	<i>0,49</i>	0,23	<i>0,15</i>
Cotentin Est	0,24	<i>0,04</i>	0,16	<i>0,02</i>	0,28	<i>0,05</i>	0,50	<i>0,05</i>	0,69	<i>0,09</i>	0,16	<i>0,02</i>
Cotentin Nord	0,12	<i>0,02</i>	0,10	<i>0,03</i>	0,18	<i>0,07</i>	0,28	<i>0,09</i>	0,42	<i>0,17</i>	0,17	<i>0,10</i>
Cotentin Ouest	0,06	<i>0,03</i>	0,04	<i>0,02</i>	0,06	<i>0,02</i>	0,10	<i>0,04</i>	0,13	<i>0,05</i>	0,06	<i>0,02</i>

Tableau 9 : moyennes(en µg/kg poids sec) et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en polychlorobiphényles non de type dioxine (PCB indicateurs) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

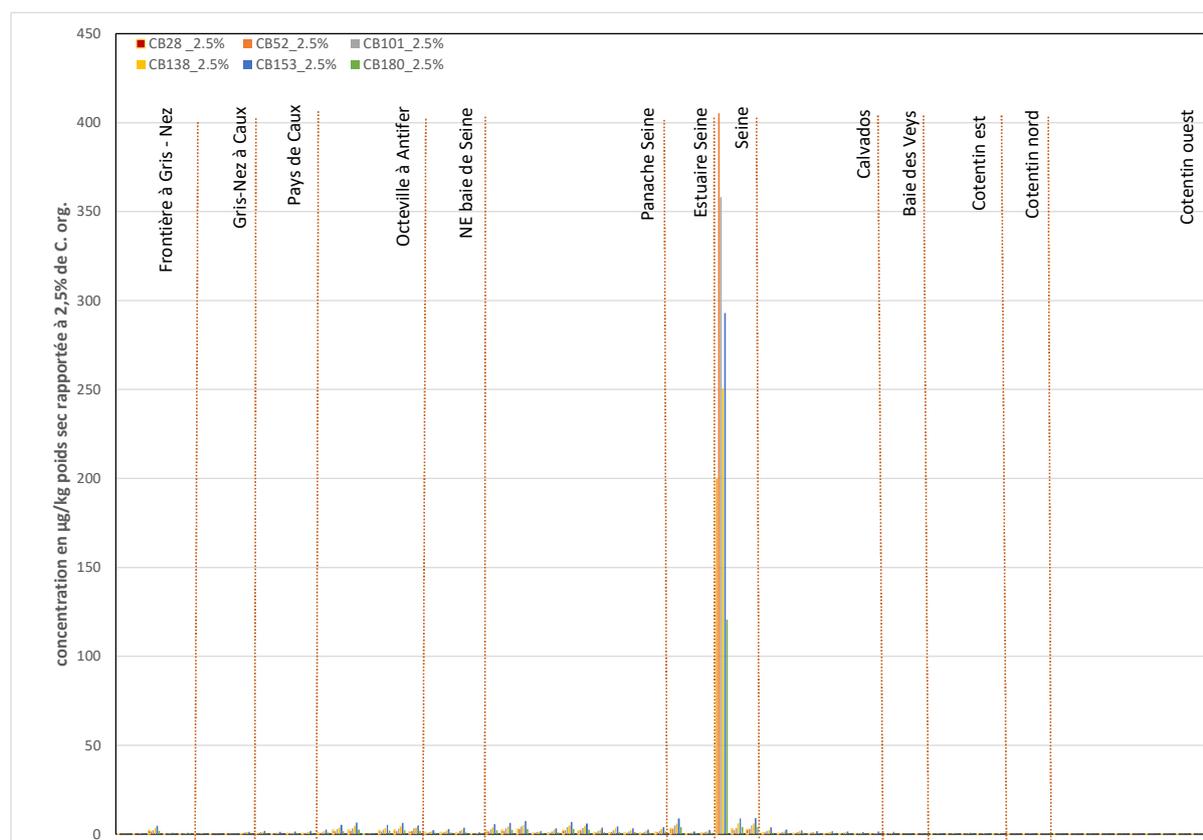


Figure 37 : teneurs en PCB indicateurs (CB28, CB52, CB101, CB138, CB153 et CB180) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

On note (Figure 37) que le graphique est totalement écrasé par les concentrations en PCB indicateurs du point amont en Seine (Oissel) avec des teneurs qui y sont 100 fois plus élevées

qu'ailleurs. Les valeurs seuils EAC sont très largement dépassées pour tous les congénères sur ce point.

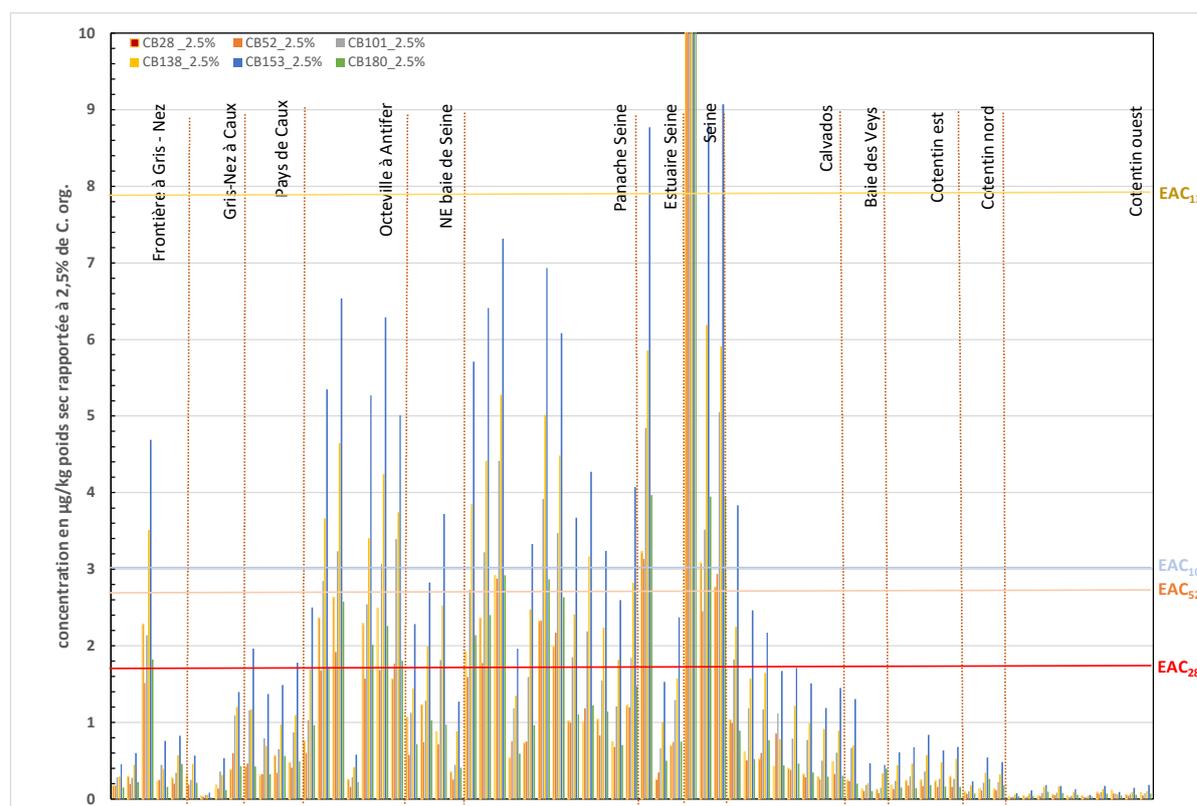


Figure 38 : (détail de la figure 35) teneurs en PCB indicateurs (CB28, CB52, CB101, CB138, CB153 et CB180) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles normalisées, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

La Figure 38 permet de voir le gradient des concentrations autour de l'estuaire de Seine, vers le nord est jusqu'à la baie de Somme et à l'ouest jusqu'au Cotentin. Le congénère 153 est majoritaire sur tous les points de suivi, sauf sur le point de Oissel (CB52 le plus abondant - Figure 37). Les concentrations en PCB indicateurs restent partout en –deçà des valeurs d'EAC pour les congénère 153 (valeur d'EAC hors échelle du graphique de la Figure 38) et 138 ; elles sont atteintes et dépassées pour le congénère 28 sur de nombreux points du proche estuaire de la Seine et au nord, entre le Cap de la Hève et le port d'Antifer (points sous une influence majoritaire du panache de la Seine), et dans l'enceinte du port de Dunkerque (point Dunkerque 25). Les dépassements sont limités au très proche estuaire pour les congénères 52 et 101.

3.3.3.2 PCB de type dioxine

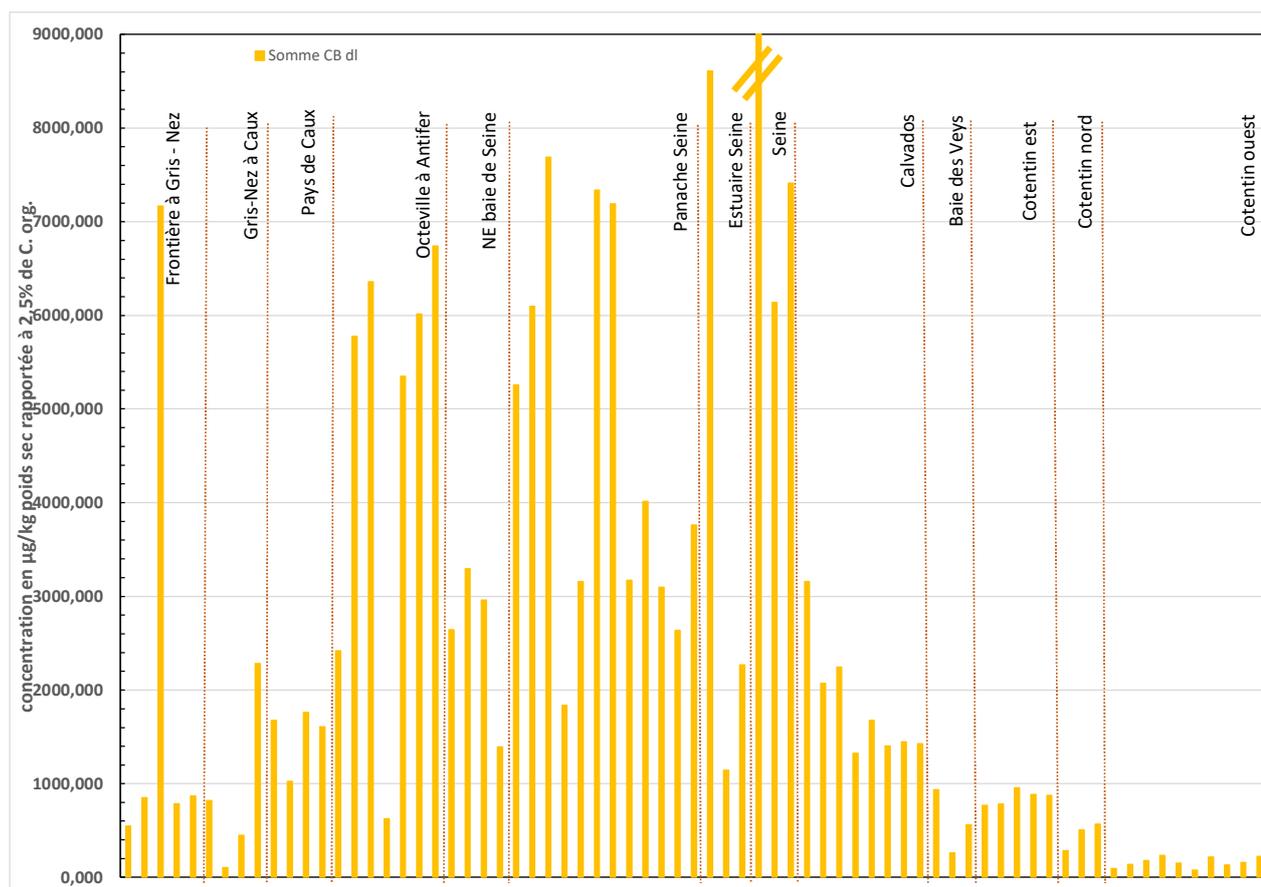


Figure 39 : teneurs en PCB de type dioxine (somme des 12 congénères CB77, CB81, CB105, CB114, CB118, CB123, CB126, CB156, CB157, CB167, CB169, CB189) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique – échelle adaptée : les très fortes valeurs sont tronquées).

La distribution des PCB de type dioxine (Figure 39) suit celle des PCB indicateurs (Figure 38), avec le gradient autour de l'estuaire de Seine, le pic dans le port de Dunkerque et des teneurs faibles à l'ouest du Cotentin.

3.3.3.3 Dioxines et furanes

secteur2013	Somme dioxines et furanes (µg/kg poids sec normalisé 2,5% de C. org)		TEQ _{2,5} µg/kg poids sec normalisé)	
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
Frontière à gris-Nez	414,3	553,5	7,94	11,90
GrisNez à Caux	75,9	46,7	1,85	1,23
Pays de Caux	218,0	29,9	3,87	0,74
Octeville - Antifer	419,2	194,4	6,17	2,75
Nord-Est baie de Seine	312,9	113,1	5,04	1,70
Panache Seine	367,9	100,6	5,35	1,50
Estuaire Seine	311,7	254,8	5,19	3,90
Seine	2776,3	4135,4	20,87	22,97
Calvados	201,4	63,3	3,71	0,95
Baie des Veys	80,2	51,6	2,06	0,51
Cotentin Est	137,9	12,6	3,03	0,39
Cotentin Nord	97,9	29,9	2,39	0,63
Cotentin Ouest	66,4	15,1	1,93	0,46

Tableau 10 : dioxines et furanes : moyennes et écart-types (en italiques) par secteur de la campagne ROCCHSED de la sommes des concentrations individuelles (en µg/kg poids sec) rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de teneur en carbone organique et valeur toxique équivalente (TEQ) par secteur.

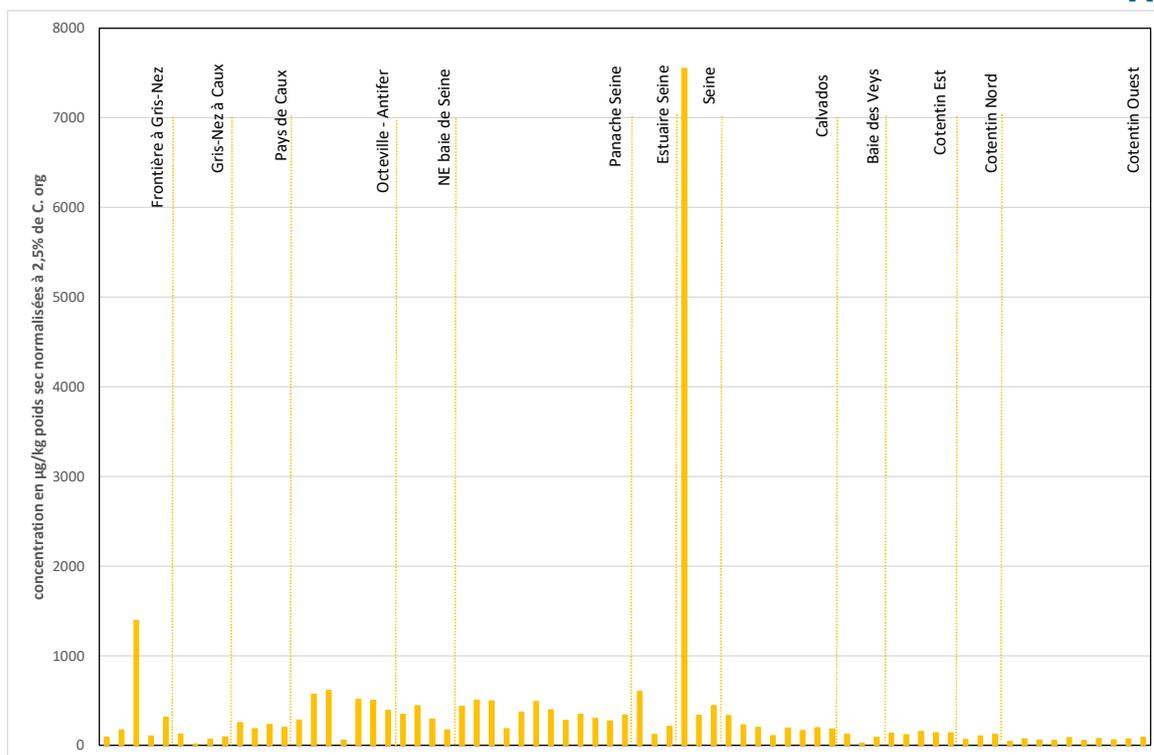
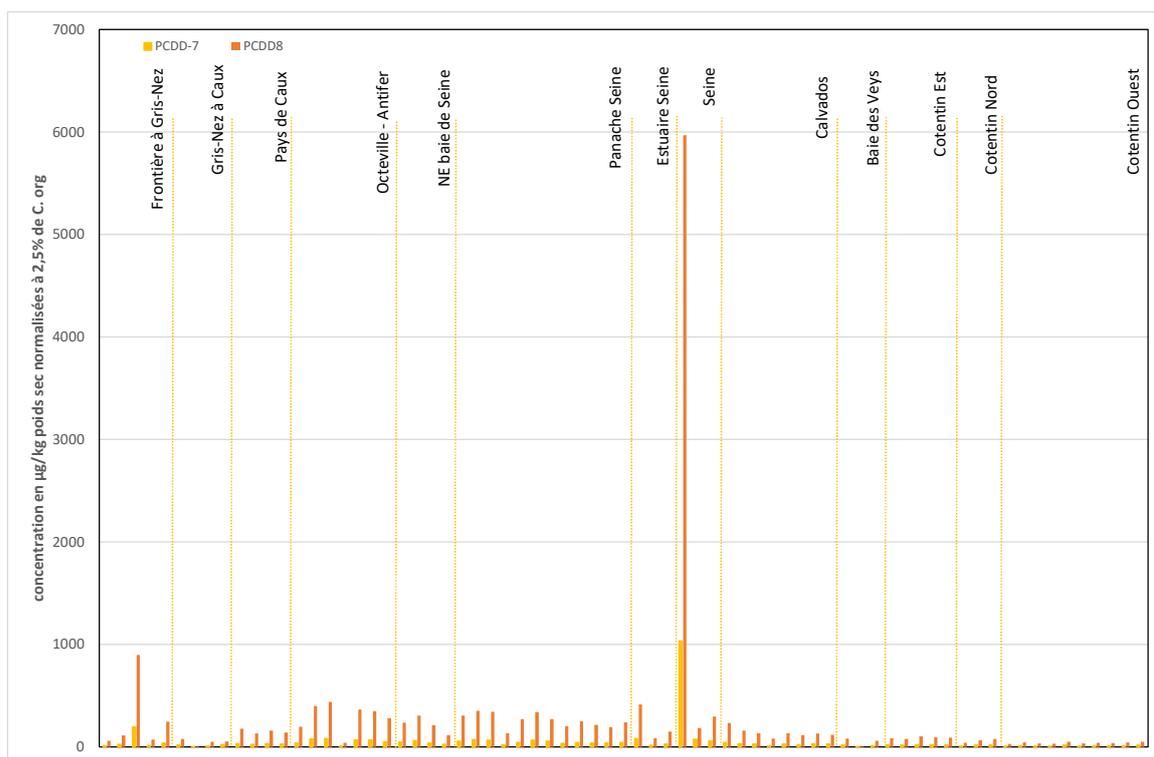


Figure 40 : concentrations en dioxines et furanes (somme des concentrations individuelles des 17 composés⁵) des échantillons de la campagne ROCCHSED19, rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).



Figures 41 : concentrations pour les deux dioxines les plus abondantes (1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD, OCDD) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

⁵ PCDD : 2,3,7,8-tétraCDD, 1,2,3,7,8-pentaCDD, 1,2,3,4,7,8-hexaCDD, 1,2,3,6,7,8-hexaCDD, 1,2,3,7,8,9-hexaCDD, 1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD, OCDD et PCDF : 2,3,7,8-TCDF, 1,2,3,7,8-pentaCDF, 2,3,4,7,8-pentaCDF, 1,2,3,4,7,8-hexaCDF, 1,2,3,6,7,8-hexaCDF, 1,2,3,7,8,9-hexaCDF, 2,3,4,6,7,8-hexaCDF, 1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF, 1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF, OCDF

La distribution des concentrations normalisées à 2.5% de carbone organique des dioxines et furanes (Figures 41) ressemble à celle des PCB de type dioxine (Figure 39), en particulier pour le PCDD7 et PCDD8 (1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD, OCDD) qui sont les plus abondants.

Une façon synthétique de voir la question des composés de type dioxine est le calcul d'une valeur équivalente de toxicité (TEQ) calculée par application à chaque concentration individuelle du facteur d'équivalence toxique (TEF) des dioxines et furanes établi par l'OMS en 2005 pour les mammifères, humains compris. On obtient alors le bilan suivant (Figure 42) qui fait toujours apparaître le point amont de la Seine comme très contaminé et qui montre un deuxième site préoccupant - celui du port de Dunkerque notamment du fait d'une forte teneur en furane PCDF-4.

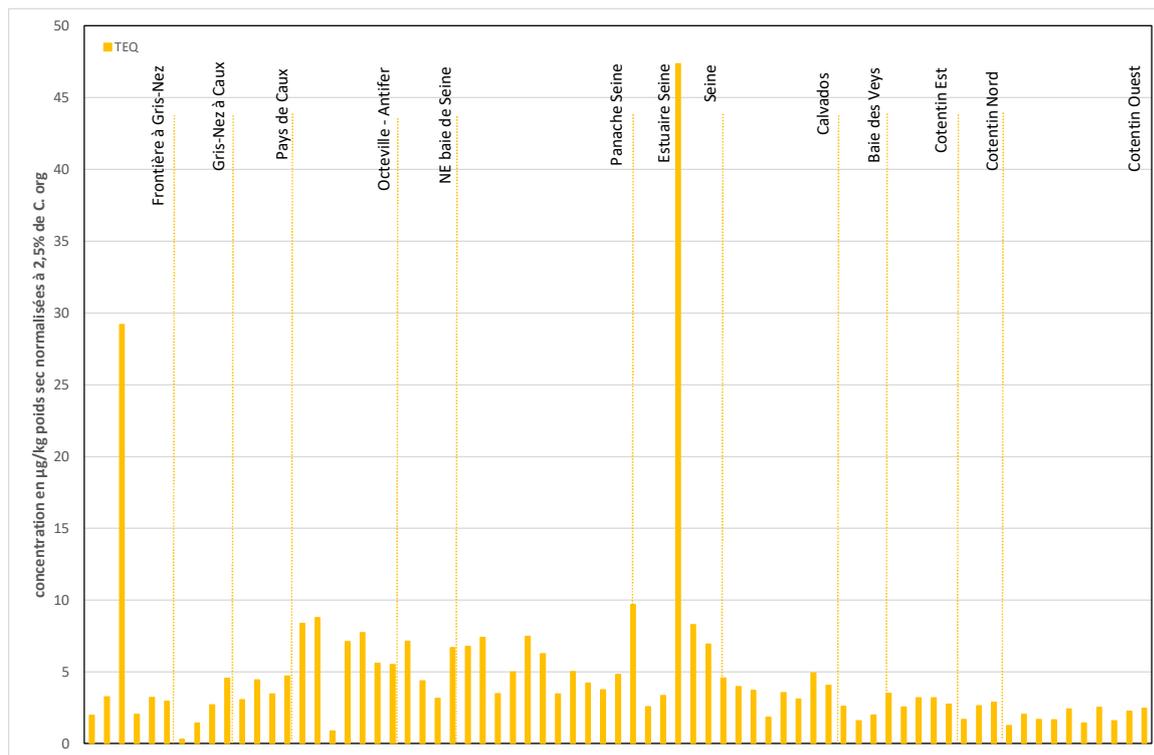


Figure 42 : valeur de toxicité équivalente (TEQ) pour les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (somme des concentrations individuelles normalisées en dioxine et furane pondérées des facteur d'équivalence toxique de l'OMS).

3.3.4 Composés organostanniques

3.3.4.1 Butylétains

Interdit en France depuis 1982 dans les usages antisalissures pour les peintures sur les coques de bateau, le TBT et ses produits de dégradation (di et mono butylétain, un peu moins toxiques) sont des composés très persistants dans l'environnement. La forme la plus active, le tributylétain, se dégrade dans l'environnement en dibutylétain puis monobutylétain.

secteur2013	TBT µg/kg poids sec normalisé		MBT µg/kg poids sec normalisé		DBT µg/kg poids sec normalisé	
	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>
Frontière à gris-Nez	1,59	<i>1,59</i>	3,81	<i>5,21</i>	1,44	<i>2,01</i>
GrisNez à Caux	0,21	<i>0,30</i>	1,08	<i>1,36</i>	0,55	<i>0,70</i>
Pays de Caux	1,51	<i>2,78</i>	0,30	<i>0,12</i>	0,55	<i>0,87</i>
Octeville - Antifer	1,66	<i>1,38</i>	4,29	<i>1,74</i>	3,12	<i>1,40</i>
Nord-Est baie de Seine	0,32	<i>0,44</i>	3,00	<i>2,19</i>	1,80	<i>1,33</i>
Panache Seine	1,22	<i>1,06</i>	4,43	<i>3,81</i>	2,54	<i>1,06</i>
Estuaire Seine	2,48	<i>2,21</i>	6,79	<i>6,64</i>	3,82	<i>3,49</i>
Seine	4,15	<i>1,23</i>	12,92	<i>10,05</i>	10,42	<i>12,79</i>
Calvados	0,21	<i>0,39</i>	1,77	<i>1,82</i>	1,18	<i>1,44</i>
Baie des Veys	0,13	<i>0,10</i>	4,49	<i>7,39</i>	2,74	<i>4,62</i>
Cotentin Est	0,06	<i>0,02</i>	0,80	<i>1,37</i>	1,31	<i>1,24</i>
Cotentin Nord	0,47	<i>0,45</i>	1,94	<i>1,82</i>	2,02	<i>3,09</i>
Cotentin Ouest	0,04	<i>0,03</i>	0,31	<i>0,39</i>	0,08	<i>0,12</i>

Tableau 11 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en mono, di et tri butyl étains des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

L'examen des concentrations de chaque composé, exprimées en teneur en étain, permet d'analyser la part respective de chaque forme pour chaque site prélevé (Figure 43). On constate ainsi que la forme monobutylétain, qui traduit le stade le plus avancé de la dégradation du TBT, est la forme majoritaire dans la très grande majorité des échantillons et des secteurs (Tableau 11). Ceci traduit bien l'ancienneté des apports en TBT.

Les exceptions sont (Figure 43):

- Les points où la forme dibutyl est la forme majoritaire (exprimée en étain) de l'ensemble mono, di et tributylétain :
 - o un point du NE de la baie de Seine panache de la Seine (Seine – grand large Antifer) avec 85% du butyl étain sous forme de dibutyl étain ;
 - o deux points du panache de la Seine : nord des Vaches noires et Large Dives 1 avec respectivement 60% et 84% sous forme de dibutylétain ;
 - o un point du Calvados devant Longues sur mer (80% de dibutyl étain) ;
 - o deux points de l' Est du Cotentin : Ravenoville et Quinéville, (84 et 86 % respectivement de dibutyl étain) ;
 - o Le point ouest du port de Cherbourg (Fort de l'Ouest) avec 49 % sous forme de dibutylétain ;
- Les points où la forme Tributyl étain reste majoritaire, dans le pays de Caux au Nord de Saint Aubin sur mer, où la forme tributylétain représente encore 69 % de l'ensemble :

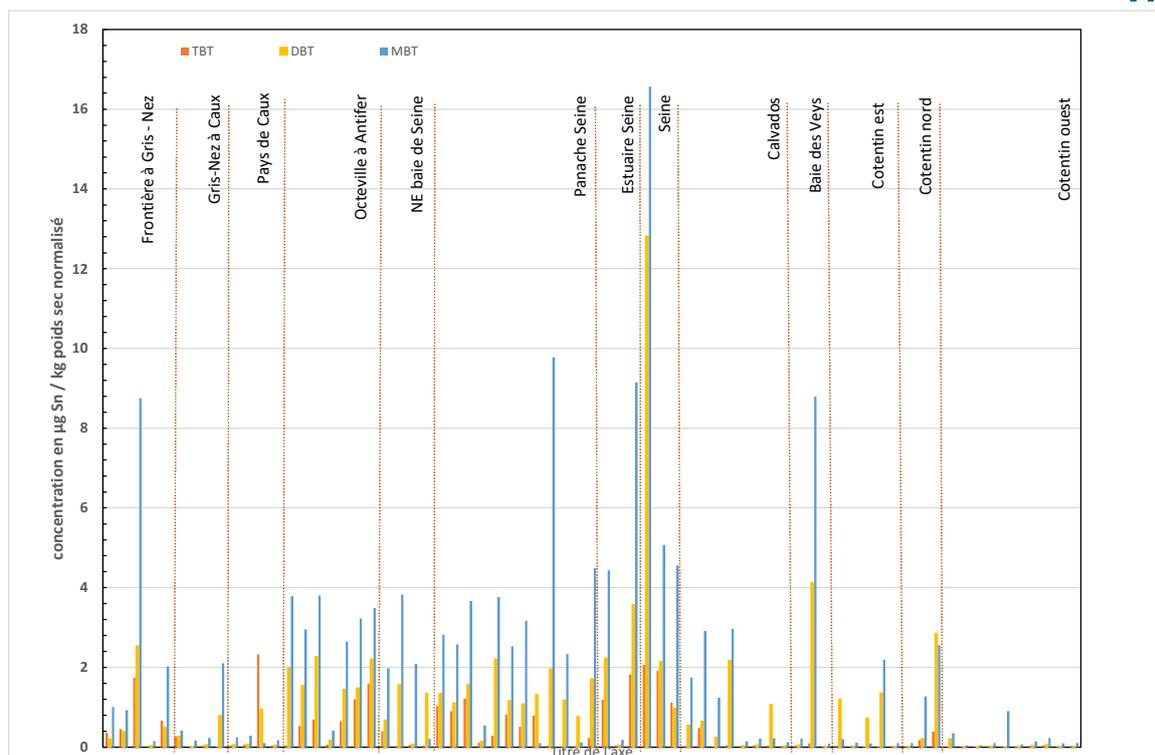


Figure 43 : teneurs en composés butylétains, exprimées en étain, pour les formes mono, di et tributyl étain (MBT, DBT et TBT) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Les travaux de la commission OSPAR considère un seuil d'effet EAC pour le TBT à 0.01 µg TBT/kg sédiment sec (normalisé à 2.5% de carbone organique). Le TBT est quantifié dans 41% des échantillons et compte-tenu des teneurs en carbone organique de ceux-ci, toutes les concentrations exprimées, rapportées à 2.5% de carbone organique dépassent le seuil EAC d'OSPAR.

3.3.4.2 Phénylétains

Les trois formes phénylées (mono, di et tri phényl étain) sont à des concentrations faibles, non quantifiables dans 94% des cas (94,4% des échantillons pour la forme monophénylétain, 87,5% pour la forme biphenylétain et 100% pour la forme tri-phénylétain) à des limites de quantification égales respectivement à 0.006 µg/kg pour le triphénylétain, 0.02 µg/kg pour le diphenylétain et 0.04 µg/kg pour le monophénylétain.

3.3.5 Pesticides organochlorés historiques : DDT et lindane

Deux familles de pesticides organochlorés font partie depuis longtemps des polluants persistants pris en compte dans le suivi chimique : le DDT et ses métabolites DDD et DDE, ainsi que le lindane (ou γ HCH) et ses isomères α, β et δ, insecticides organochlorés interdits en France depuis de nombreuses années.

Ces molécules ne sont plus présentes qu'à l'état de trace dans les sédiments et rares sont les échantillons dans lesquels l'une ou l'autre molécule a pu être quantifiée :

- Le pp'DDE à Oissel, dans la Seine en amont de Rouen (3.89 µg/kg de poids sec soit 7.17 µg/kg en concentration normalisée) ;
- Le pp'DDT sur les deux autres points de la Seine (Le Trait et la Risle) respectivement à 3.34 et 4.25 µg/kg de poids sec de sédiment normalisé à 2.5% de carbone organique.

Dans le cas de Oissel, la valeur dépasse le seuil d'effet retenu par OSPAR pour le pp' DDE (EAC : 2.2 µg/kg ps). Il n'y a pas d'EAC proposée pour le DDT.

Pour le lindane et ses isomères, aucune concentration ne dépasse la limite de quantification.

3.3.6 Polybromodiphényl éthers (PBDE) et HBCDD : retardateurs de flamme bromés

Les deux familles sont classées polluants organiques persistants au titre de la convention de Stockholm, depuis 2009 pour les PBDE et 2013 pour HBCDD⁶. Certains mélanges commerciaux de PBDE (les pentaBDE et octaBDE) sont interdits en Europe depuis 2004 et l'utilisation des HBCDD comme ignifugeant est interdite dans l'union européenne depuis 2015.

secteur2013	HBCDD µg/kg poids sec normalisé		PBDE47 µg/kg poids sec normalisé		PBDE183 µg/kg poids sec normalisé		PBDE 209 µg/kg poids sec normalisé	
	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>
Frontière à Gris-Nez	0,462	<i>0,496</i>	0,046	<i>0,034</i>	0,077	<i>0,131</i>	10,05	<i>14,38</i>
Gris-Nez à Caux	0,101	<i>0,13</i>	0,022	<i>0,027</i>	0,017	<i>0,022</i>	1,8	<i>1,93</i>
Pays de Caux	0,092	<i>0,045</i>	0,046	<i>0,028</i>	0,003	<i>0,004</i>	2,22	<i>0,78</i>
Octeville - Antifer	0,98	<i>0,593</i>	0,029	<i>0,013</i>	0,178	<i>0,423</i>	5,99	<i>3,38</i>
Nord-Est baie de Seine	0,224	<i>0,129</i>	0,077	<i>0,114</i>	0,016	<i>0,018</i>	3,89	<i>1,04</i>
Panache Seine	0,683	<i>0,436</i>	0,049	<i>0,051</i>	0,022	<i>0,017</i>	4,77	<i>2,35</i>
Estuaire Seine	0,64	<i>0,68</i>	0,038	<i>0,03</i>	0,021	<i>0,022</i>	4,55	<i>3,65</i>
Seine	2,168	<i>1,745</i>	0,134	<i>0,098</i>	0,057	<i>0,002</i>	9,58	<i>2,54</i>
Calvados	0,135	<i>0,107</i>	0,071	<i>0,04</i>	0,008	<i>0,003</i>	3,55	<i>2,46</i>
Baie des Veys	0,06	<i>0,058</i>	0,08	<i>0,081</i>	0,003	<i>0,003</i>	11,04	<i>14,63</i>
Cotentin Est	0,068	<i>0,011</i>	0,018	<i>0,015</i>	0,007	<i>0,004</i>	3,21	<i>1,59</i>
Cotentin Nord	0,053	<i>0,037</i>	0,016	<i>0,012</i>	0,006	<i>0,006</i>	4,69	<i>2,21</i>
Cotentin Ouest	0,03	<i>0,02</i>	0,009	<i>0,007</i>	0,003	<i>0,003</i>	1,93	<i>0,74</i>

Tableau 12 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en PBDE (congénères 47, 183 et 209, majoritaires parmi les PBDE recherchés) et Y-HBCDD des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

⁶ Munsch C., Tixier C., Olivier N., Héas-Moisan K., Pollono C., Veyrand B., Marchand P., 2017. Niveaux et tendances de la contamination des côtes françaises par les POP émergents. ESTIVAL ROCCH 2017.

3.3.6.1 Hexabromocyclododécane (HBCDD)

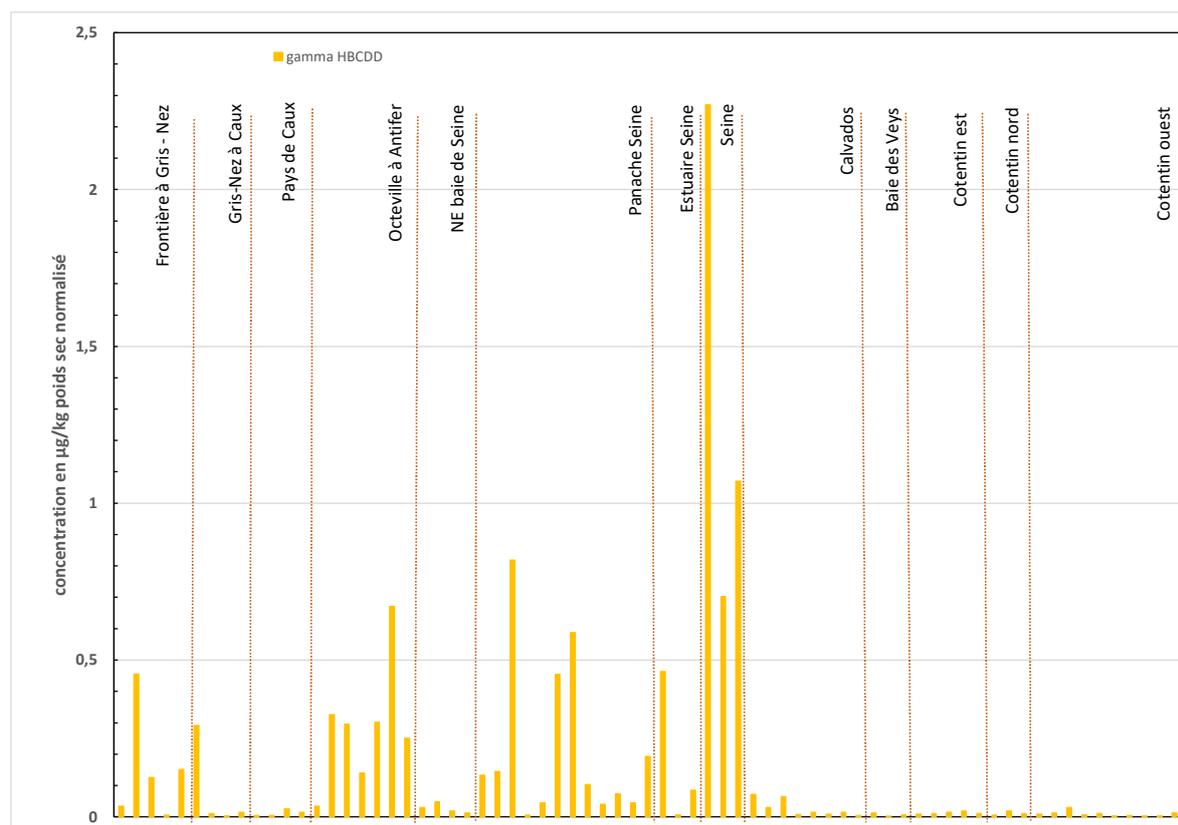


Figure 44 : teneurs en γ HBCDD dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs individuelles, rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Dans le mélange technique HBCDD, l'isomère γ est majoritaire. C'est également ce qu'on retrouve dans les échantillons de sédiment, avec les isomères α et β non quantifiables (à des seuils compris entre 0.001 et 0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de poids sec de sédiment) dans 58% et 74% des échantillons respectivement. L'isomère γ est quantifié dans 60% des échantillons.

La zone la plus contaminée est celle de la baie de Seine (Figure 44).

Un second secteur contaminé est détecté autour du port de Dunkerque, depuis l'intérieur de l'enceinte du port (point Dunkerque 25) jusqu'à Nord Malo les bains à l'est.

3.3.6.2 Polybromo diphényl éthers (PBDE)

La famille compte 209 composés. Le PBDE209 est le plus abondant dans les échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED19 (exemple du point Dunkerque 25 -Figure 45) dont il représente 80 (Le Touquet – Paris plage) à plus de 99% de l'ensemble de la famille (points à l'ouest du Cotentin).

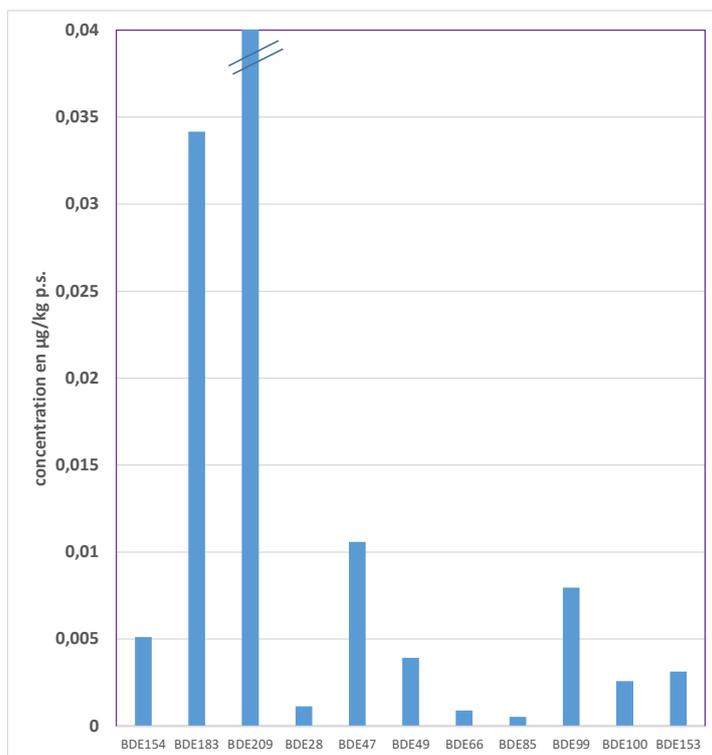


Figure 45 : abondance des différentes molécules de la famille PBDE dans l'échantillon de sédiment du point Dunkerque 25 prélevé au cours de la campagne ROCCHSED19. La concentration réelle en PBDE 209 a été tronquée (3,95 µg/kg ps) afin de faciliter la lecture.

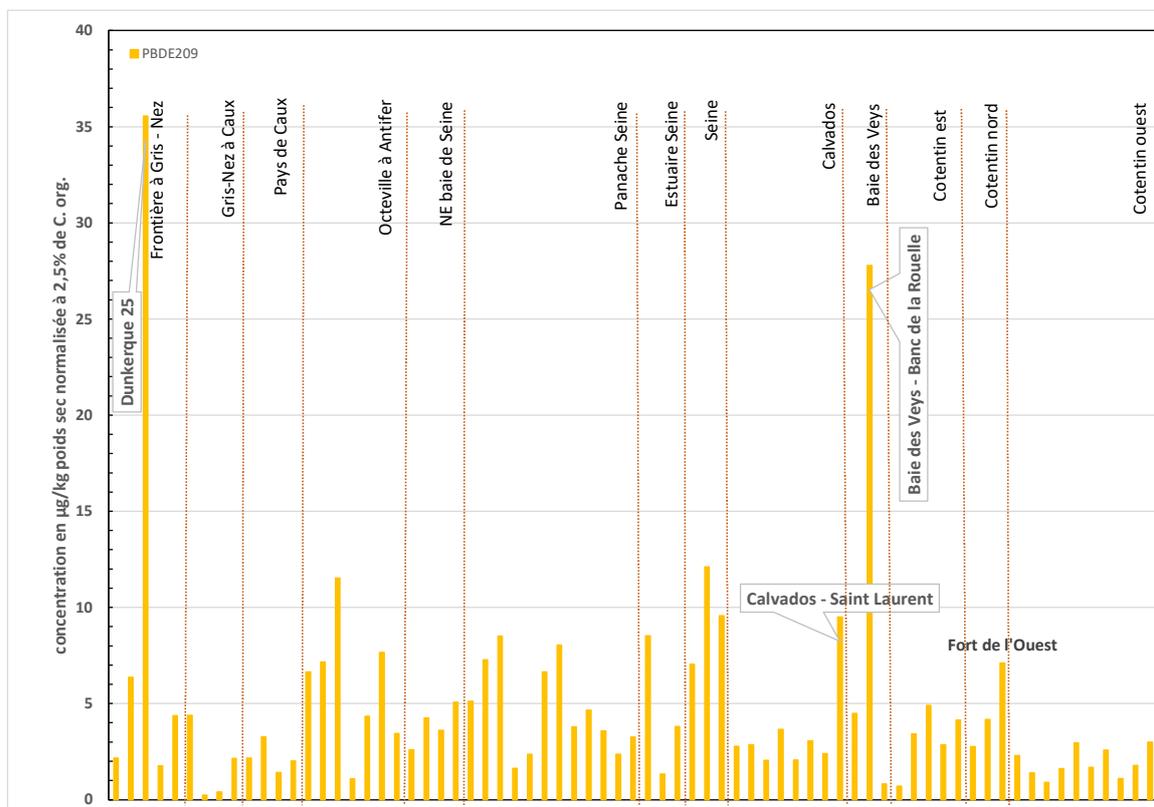


Figure 46 : teneurs en PBDE 209 dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Pour le composé majoritaire PBDE 209 (Figure 46), les plus fortes contaminations sont enregistrées dans le port de Dunkerque et sur le point de la baie des Veys- banc de la Rouelle. A un niveau moindre, on note également un gradient autour de l'embouchure de la Seine et deux

valeurs ponctuellement plus élevées que sur les points autour : le point devant St Laurent sur mer (côte du Calvados) et le point du fort de l'ouest dans le nord Cotentin.

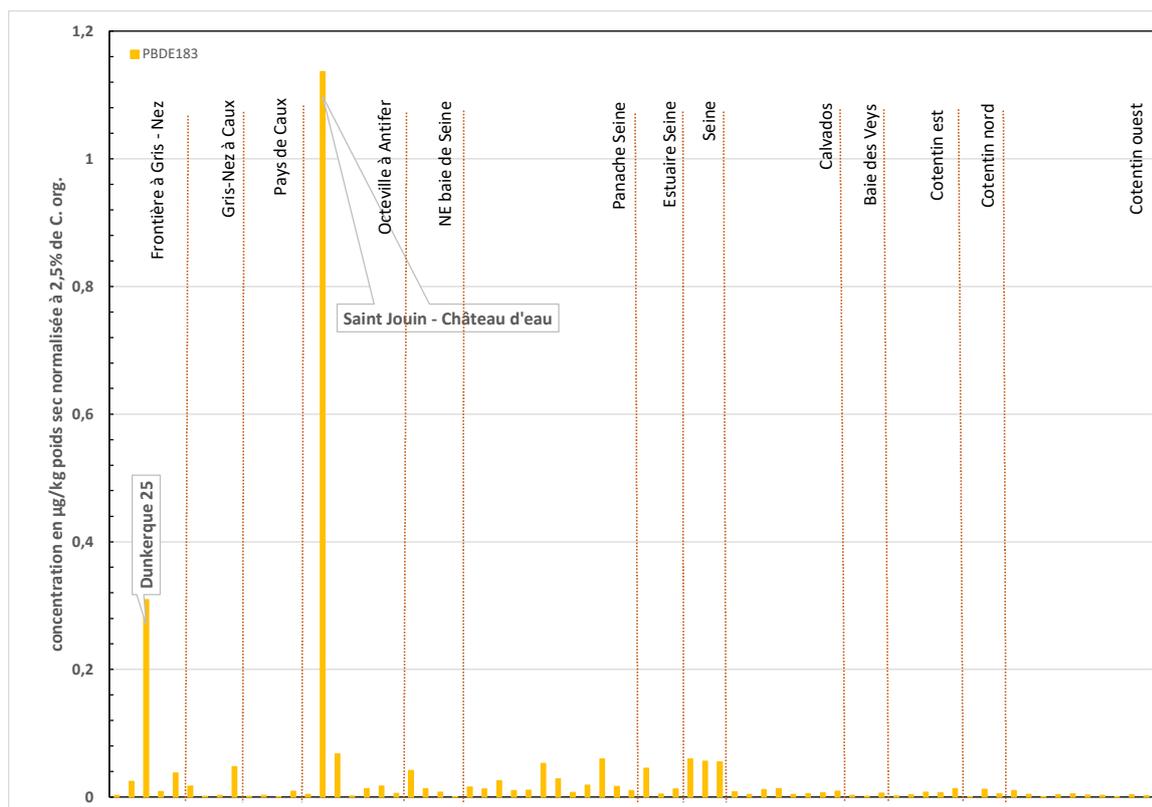


Figure 47 : teneurs en PBDE 183 dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Le port de Dunkerque présente également une forte concentration en PBDE183 mais pour ce composé c'est sur le point de Saint-Jouin – château d'eau que la concentration enregistrée est la plus forte, 4 fois plus importante qu'à Dunkerque et plus de 100 fois celles des autres points. Cette pollution est peut-être à relier à la proximité du port pétrolier d'Antifer ?

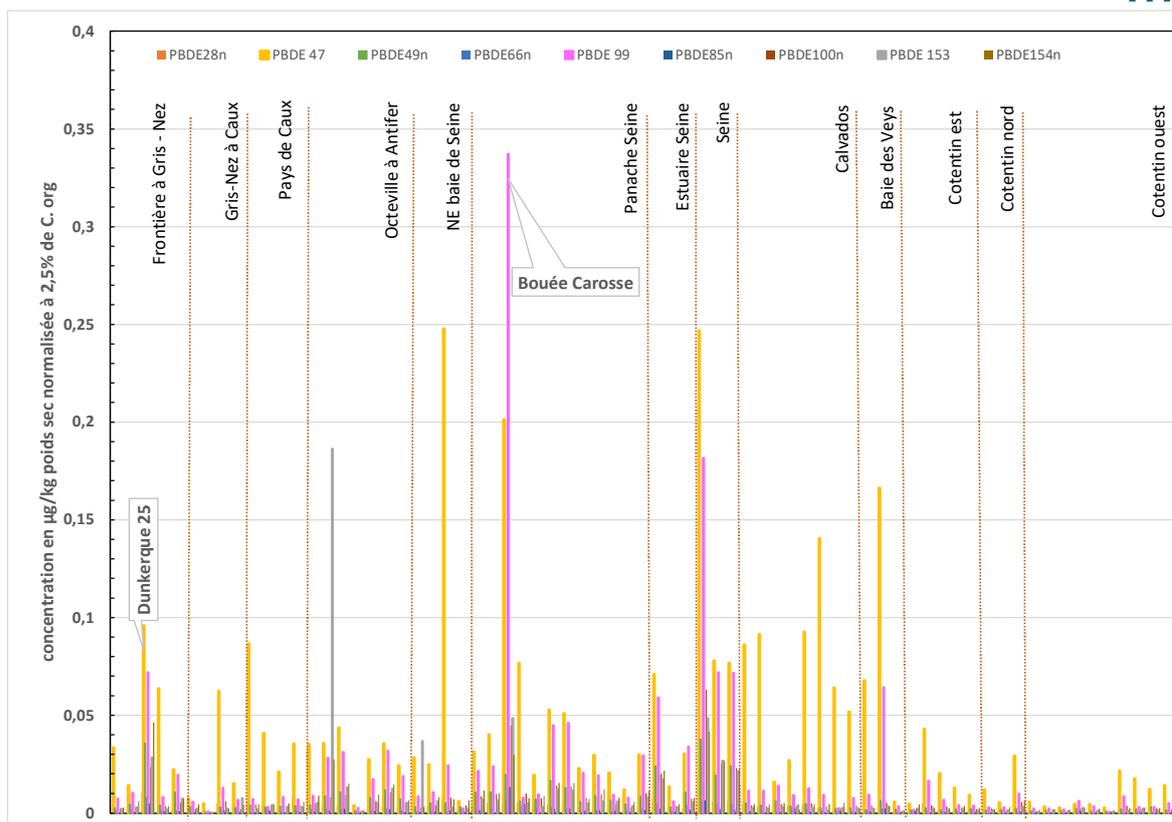


Figure 48 : teneurs en PBDE (sauf 209 et 183) dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Pour les autres congénères analysés, la distribution du PBDE 99 (et celle du PBDE 47) ressemble à celle des autres familles de composés organiques étudiées, avec prédominance des concentrations à proximité de l'embouchure de la Seine (valeur maximale enregistrée sur le point Bouée Carosse) et dans le port de Dunkerque (Figure 48).

Le PBDE 153, comme le congénère 183, présente un pic à proximité du port d'Antifer.

3.3.7 Composés perfluoroalkylés (PFC)

La méthode d'analyse permet de doser 14 composés de cette famille, dont le composé majoritaire PFOS (acide perfluoro-octane sulfonique).

Le PFOS est le seul composé quantifié, à part sur les points :

- la Risle (6 composés quantifiés),
- Nord Malo les bains (composé PFNA quantifié à une concentration proche de la limite de quantification)
- pointe du Hoc (composé PFBA quantifié, à un niveau proche de la limite de quantification).

secteur2013	PFOS $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec normalisé	
	moyenne	<i>écart-type</i>
Frontière à gris-Nez	1,39	<i>2,06</i>
GrisNez à Caux	0,26	<i>0,22</i>
Pays de Caux	0,45	<i>0,07</i>
Octeville - Antifer	0,42	<i>0,31</i>
Nord-Est baie de Seine	0,85	<i>0,47</i>
Panache Seine	0,56	<i>0,38</i>
Estuaire Seine	0,45	<i>0,17</i>
Seine	1,11	<i>0,94</i>
Calvados	0,73	<i>0,62</i>
Baie des Veys	0,46	<i>0,30</i>
Cotentin Est	0,39	<i>0,14</i>
Cotentin Nord	0,29	<i>0,15</i>
Cotentin Ouest	0,23	<i>0,07</i>

Tableau 13 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en PFOS des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

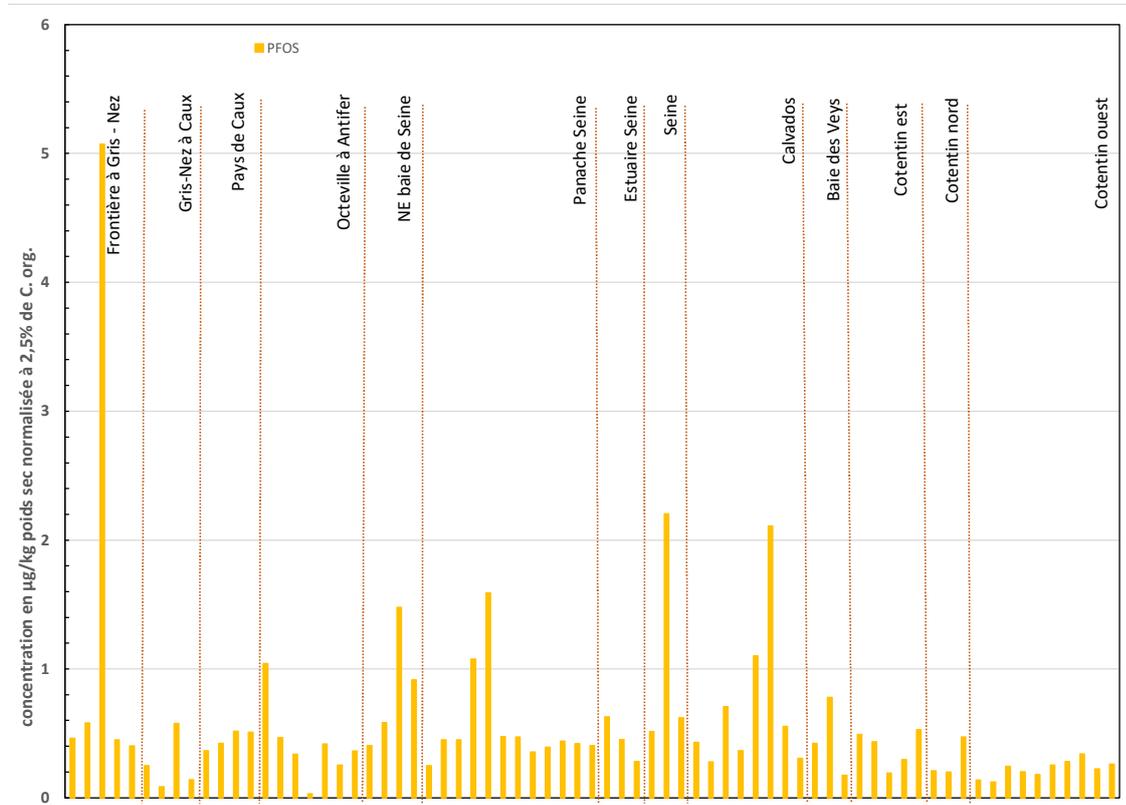


Figure 49 : teneurs en PFOS dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Pour le PFOS (Figure 49), la concentration normalisée la plus élevée est rencontrée dans le port de Dunkerque, à un niveau plus de 2 fois plus élevé que sur le point de la Seine en aval de la zone industrielle du Trait ou à la pointe du Hoc.

3.3.8 Molécules de la liste des substances dangereuses ou pertinentes à surveiller

Parmi les échantillons prélevés au cours de la campagne ROCCHSED19, une sélection de 50 échantillons a été faite pour l'analyse de molécules inscrites sur les listes des substances dangereuses de la DCE ou des substances pertinentes à surveiller. La sélection a retenu

notamment des échantillons répartis dans les différentes masses d'eau côtières du contrôle de surveillance.

secteur2013	DEHP $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec normalisé		Chloroalcanes $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec normalisé		TBBPA $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec normalisé	
	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>	moyenne	<i>écart-type</i>
Frontière à gris-Nez	59,58	<i>58,75</i>	5,84	<i>6,06</i>	-	-
GrisNez à Caux	27,77	<i>27,37</i>	2,74	<i>2,18</i>	0,019	<i>0,010</i>
Pays de Caux	122,15	<i>181,33</i>	4,99	<i>1,99</i>	0,020	<i>0,008</i>
Octeville - Antifer	-	-	-	-	-	-
Nord-Est baie de Seine	-	-	-	-	-	-
Panache Seine	-	-	-	-	-	-
Estuaire Seine	101,93	<i>126,64</i>	13,62	<i>17,24</i>	0,055	<i>0,061</i>
Seine	1233,40	<i>1736,30</i>	78,96	<i>70,70</i>	0,202	<i>0,073</i>
Calvados	-	-	-	-	-	-
Baie des Veys	27,25	<i>17,73</i>	6,84	<i>5,57</i>	0,032	<i>0,018</i>
Cotentin Est	-	-	-	-	-	-
Cotentin Nord	-	-	-	-	-	-
Cotentin Ouest	12,89	<i>6,51</i>	2,23	<i>1,52</i>	0,016	<i>0,020</i>

Tableau 14 : moyennes et écart-types (en italiques,) par secteur, des concentrations en diéthyl phtalate (DEHP), chloroalcanes à chaînes courtes, tétrabromobisphénol A (TBBPA) des échantillons de la campagne ROCCHSED19 (concentrations rapportées à un sédiment virtuel à 2.5% de carbone organique).

Pour les secteurs dans lesquels les concentrations n'ont pas été mesurées sur tous les points, ces valeurs n'ont pas été calculées.

3.3.8.1 Hexachlorobenzène, pentachlorobenzène et hexachlorobutadiène

Sur les 50 échantillons analysés, l'hexachlorobenzène et le pentachlorobenzène ne sont détectés dans aucun échantillon au-delà de la limite de quantification d'1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec de sédiment et l'hexachlorobutadiène est quantifié sur un seul échantillon (point les Hemmes d'Oye).

3.3.8.2 Dicofol et quinoxyfène

Sur les 50 échantillons analysés, ni le dicofol ni le quinoxyfène n'ont été détectés au-delà de la limite de quantification, respectivement 2 et 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec de sédiment.

3.3.8.3 Heptachlore et heptachlore époxydes cis et trans

Sur les 50 échantillons analysés, aucun de ces composés n'a été détecté au-delà de la limite de quantification de 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec de sédiment.

3.3.8.4 Di éthyl phtalate (DEHP)

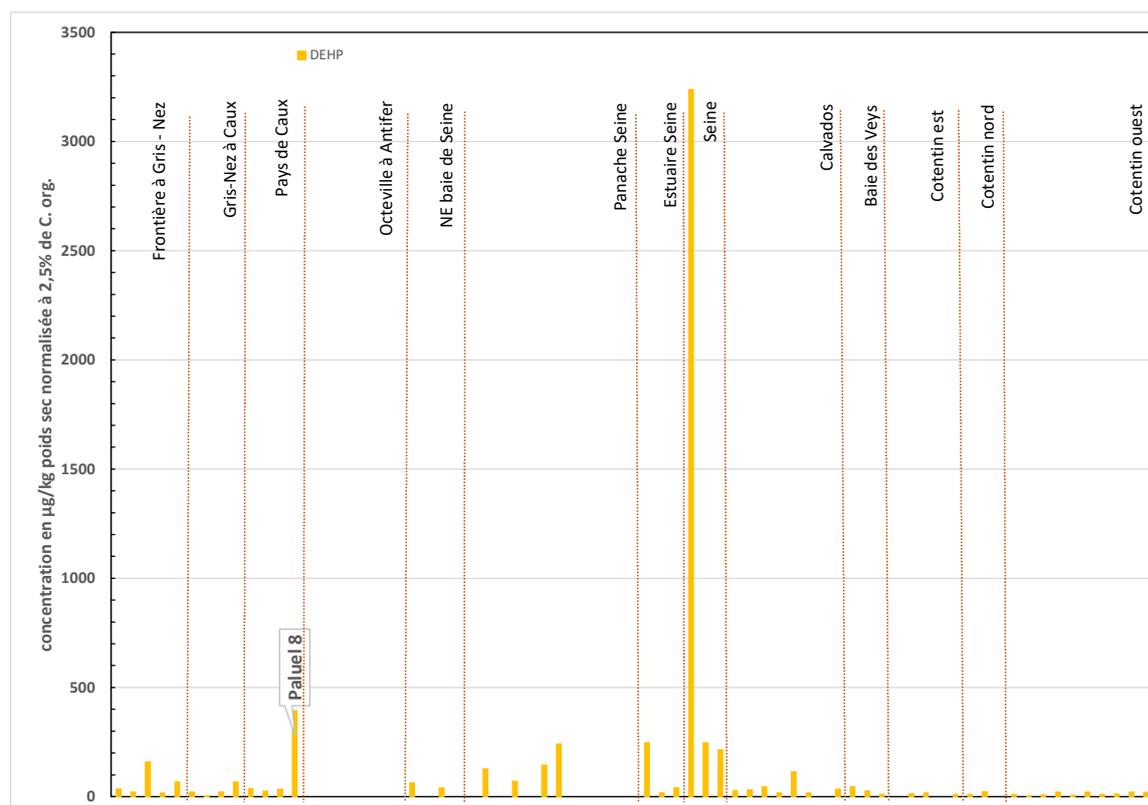


Figure 50 : teneurs en DEHP dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

Sur les 50 échantillons analysés, le DEHP a été détecté au-delà de la limite de quantification (1 µg/kg poids sec de sédiment) dans 48 échantillons (Figure 50). La zone contaminée se situe dans la Seine et sur les points autour de son embouchure. Un deuxième pic, beaucoup plus petit qu'à Oissel, est détecté sur le point Paluel 8 entre Fécamp et Saint Valéry en Caux alors que la contamination n'est pas détectée plus à l'Est (point Nord St Aubin sur mer).

3.3.8.5 Chloroalcanes à chaînes courtes (C10-C13 chloroalcanes)

Sur les 50 échantillons analysés, les chloroalcanes à chaînes courtes (C10-C13) n'ont été mesurés au-delà de la limite de quantification de 0.5 µg/ kg poids sec de sédiment que dans 14 échantillons (Figure 51). La zone contaminée se situe autour de l'embouchure de la Seine. La source de la contamination apparait de deux origines : la Risle, affluent de la Seine et la zone industrielle du Trait dans la Seine en aval de Rouen. On note également plusieurs valeurs élevées sur des points a priori isolés de l'influence directe de la Seine :

- Le port de Calais (point Dunkerque 29) ;
- La pointe du Hoc
- Le banc de la Rouelle en baie des Veys.

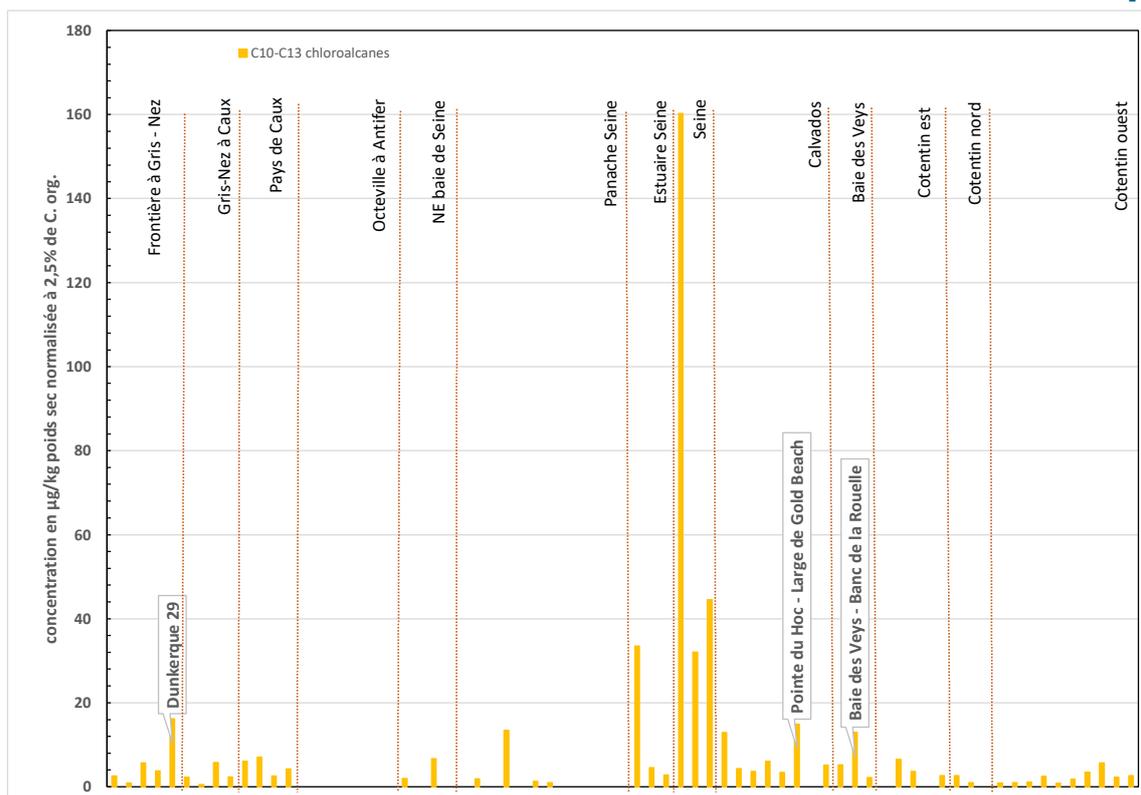


Figure 51 : teneurs en chloroalcane à chaînes courtes dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

3.3.8.6 Tétrabromo bisphénol a (TBBPA)

Sur les 50 échantillons analysés, le TBBPA a été détecté au-delà de la limite de quantification de 0.002 µg/ kg poids sec de sédiment dans 20 échantillons (Figure 52).

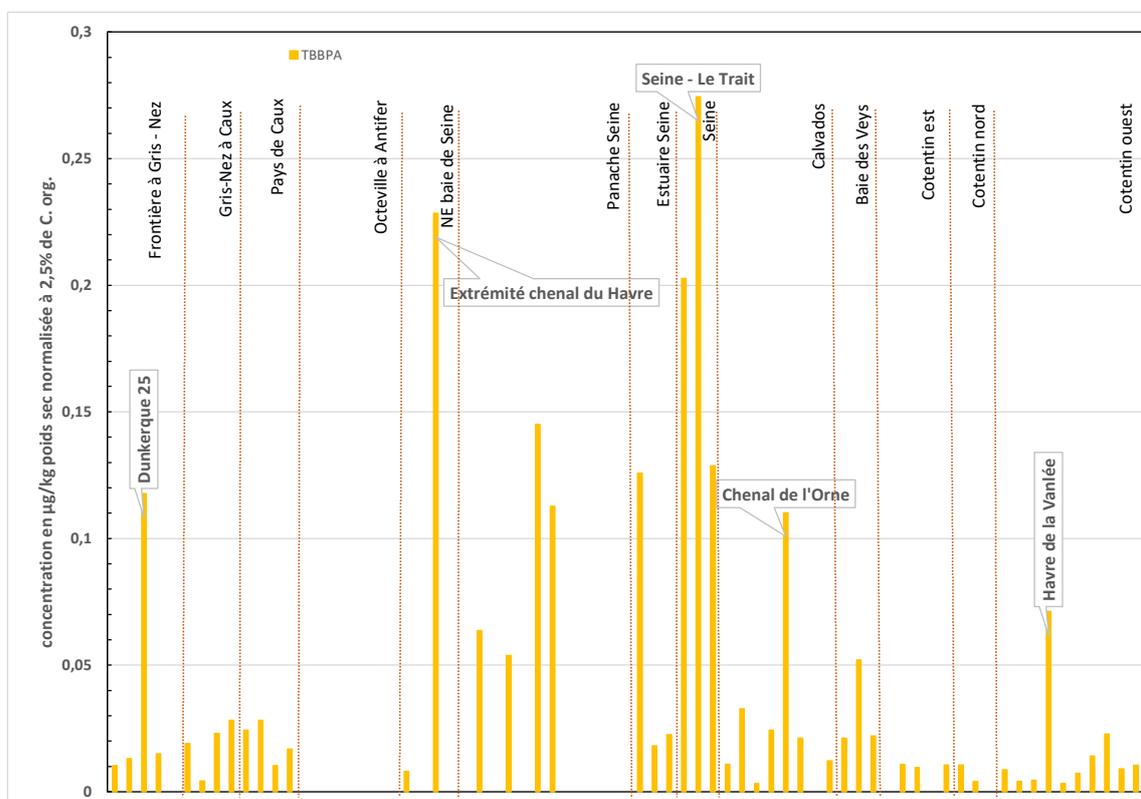


Figure 52 : teneurs en TBBPA dans les sédiments collectés au cours de la campagne ROCCHSED19 (valeurs rapportées à un sédiment virtuel contenant 2.5% de carbone organique).

La contamination en TBBPA est détectée sur l'estuaire de Seine (y compris le chenal du Havre et le chenal de l'Orne), avec une valeur plus forte sur le point Seine – Le Trait qui indique une source principale en Seine au niveau de la zone industrielle du Trait en aval de Rouen. On note également une contamination dans le port de Dunkerque et dans le havre de la Vanlée.

3.3.9 Conclusions pour les contaminants organiques

Pour l'ensemble des familles de contaminants étudiés, le point de la Seine en amont de Rouen apparaît le plus contaminé, avec de nombreux cas de dépassement des valeurs seuil d'effet écotoxique. Le point de Dunkerque 25 à l'intérieur de l'enceinte du port présente le deuxième niveau global de contamination le plus élevé. A l'opposé, la côte ouest du Cotentin et la baie du Mont Saint-Michel montrent une absence de contamination pour l'ensemble de ces familles de contaminants (Figure 53).

Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), un point ressort de l'étude : le point du banc de la Rouelle en baie des Veys avec des niveaux de contamination forts pour l'ensemble des molécules, et le point de Penly-Biville pour l'acénaphthène.

Pour les PCB, le niveau de contamination de la baie de Seine, avec un gradient à partir de l'estuaire, vers le nord est d'une part et vers l'ouest d'autre part, est important, avec dépassement du seuil d'écotoxicité (EAC d'OSPAR) pour plusieurs molécules dans la Seine et à proximité de son embouchure.

Concernant les composés organostanniques, dont l'utilisation dans les peintures marines est interdite depuis quarante ans en France, ils sont représentés majoritairement sous la forme monobutylétain sur l'ensemble de la zone d'étude, sauf au nord de Saint Aubin sur mer où ils sont encore majoritairement sous forme TBT, indice d'une contamination plus récente qu'ailleurs par cette famille. Ces composés très toxiques présentent encore des niveaux supérieurs à la valeur EAC d'OSPAR dans plus de 40% des échantillons de la zone d'étude.

Les pesticides organochlorés de la famille du DDT et de celle du lindane ne sont plus (lindane) ou rarement (DDT) quantifiés.

Parmi les retardateurs de flamme bromés, un premier ensemble de composés des familles HBCDD (isomère γ) et PBDE se distribue comme beaucoup d'autres familles de contaminants organiques, avec un secteur fortement contaminé à l'embouchure de la Seine (et un gradient sur les points autour) et un autre vers le port de Dunkerque. Deux congénères parmi les PBDE dosés se distinguent par une contamination a priori ponctuelle à proximité du port d'Antifer, et autour du port de Dunkerque : les PBDE153 et 183. Le congénère 209 est particulièrement abondant sur le point de la baie des Veys – banc de la Rouelle.

Composés perfluoroalkylés : le port de Dunkerque présente, de loin, la plus forte contamination en PFOS. Le second foyer de contamination détecté sur la zone d'étude vient de la zone industrielle du Trait en Seine et une contamination localisée à la pointe du Hoc.

Parmi les autres substances dangereuses de la DCE recherchées, le DEHP est présent dans la Seine et une contamination localisée est détectée entre Fécamp et Saint Valéry en Caux. Les chloroalcanes à chaînes courtes, abondants dans le proche estuaire de la Seine viennent à la fois de la zone industrielle du Trait en aval de Rouen et d'un affluent, la Risle. Plus ponctuellement, le port de Calais, la pointe du Hoc et l'ouest de la baie des Veys présentent des contaminations.

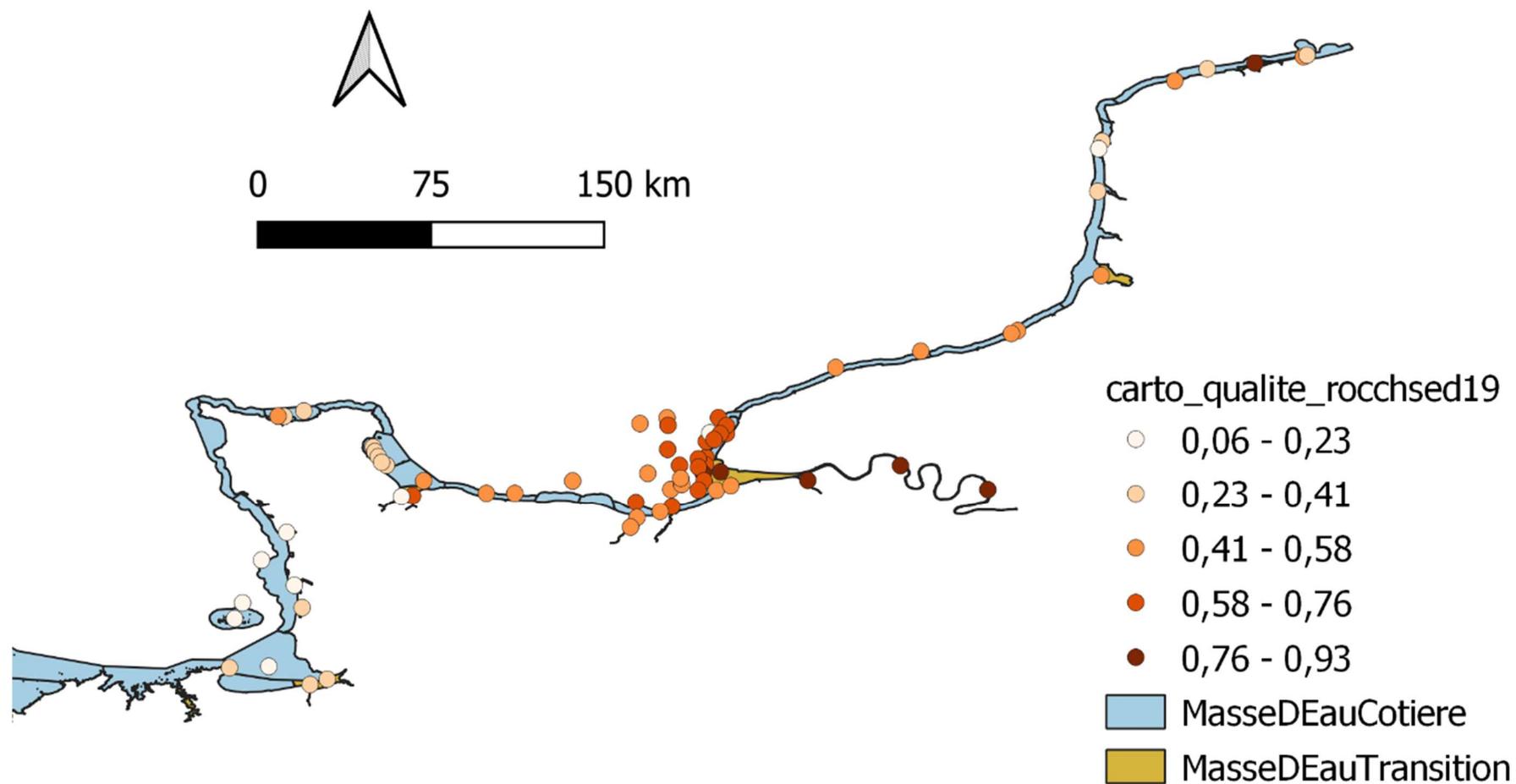


Figure 53 : ROCCHSED19 – rang moyen (en %) des points de la zone d'étude pour l'ensemble des familles de contaminants organiques considérés : HAP, PCB, dioxines, PFC, PBDE, organo-stanniques, chloroalcanes à chaînes courtes, phtalate) établi à partir des concentrations normalisées rapportées à la valeur médiane.

4 Etude de la toxicité des sédiments sur le développement embryo-larvaire de l'huître creuse

4.1 Contexte

La mesure individuelle des concentrations en contaminants chimiques appartenant aux familles identifiées dans les réglementations internationales ne suffit pas à rendre compte complètement de la qualité de l'environnement marin. La mesure de la toxicité globale d'un échantillon de sédiment permet de compléter le diagnostic indépendamment de l'identification des molécules chimiques, en rendant compte également des synergies possibles entre molécules qui peuvent amplifier l'effet toxique dans l'environnement.

La mesure de l'écotoxicité des échantillons de sédiments a été ponctuellement introduite lors de campagnes précédentes en Méditerranée. L'objectif est désormais d'ajouter cette évaluation aux campagnes ROCCHSED.

La campagne ROCCHSED19 a intégré un volet exploratoire afin d'établir le meilleur protocole pour intégrer à l'avenir cette analyse d'écotoxicité aux mesures à réaliser sur les échantillons de sédiment dans le cadre du programme d'observation ROCCH.

4.2 Détermination de la toxicité d'échantillons sur le développement embryo-larvaire de l'huître creuse

Le test retenu dans le cadre des campagnes ROCCHSED, basé sur la mesure des atteintes au développement embryo-larvaire de l'huître creuse, fait l'objet d'une norme NF ISO 17244.

Le laboratoire qui le met en œuvre dans le cadre du programme ROCCHSED a été retenu suite à un appel d'offre en 2019. Il s'agit de la société TOXEM basée au Havre.

Les géniteurs permettant d'obtenir des larves pour les tests sont fournis par la ferme de Guernesey.

Les conditions habituellement recommandées pour mener à bien ce test demandent des échantillons frais, conservés réfrigérés sur une durée courte (quelques jours) jusqu'au démarrage du test. Elles ne sont pas compatibles avec le déroulement d'une campagne de prélèvement de sédiment. L'essai envisagé en 2019 visait donc à évaluer l'impact de la congélation des échantillons par rapport à l'échantillon conservé à +4°C et l'impact d'une durée de conservation longue (quelques semaines).

4.2.1 Comparaison d'échantillons frais ou congelés

Les sédiments ont été collectés au plus tôt 24h avant leur dépôt au laboratoire de manière à tester l'impact de la congélation dans les conditions d'une conservation de courte durée. Chaque échantillon a été divisé en deux sous-échantillons, l'un immédiatement congelé après le prélèvement, l'autre gardé réfrigéré. Le test a porté sur 13 points (Tableau 15) entre Antifer et le cap de la Hève et dans la zone proche estuaire.

Dans les conditions de réalisation du test, tous les sous-échantillons réfrigérés conduisent à 70 à 85 % de larves normales (Figure 54), les échantillons sont tous considérés comme peu à très peu toxiques. Tous les sous-échantillons congelés à bord et décongelés au moment du test conduisent à 69 à 80% de larves normales ; 3 des 13 échantillons testés présentent une différence jugée significative.

code point	libellé	date de prélèvement	date de congélation	date de décongélation	date d'analyse	
010-P-042	Intersect. Cabourg - Antifer	27/07/2019	/	/	sem 31	série 1
010-P-216	Large Heuqueville 2	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-034	Saint Jouin - Château d'eau	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-033	Bricquemare	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-018	Seine - Cauville	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-019	Seine - Octeville	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-032	Nord dépôt de dragage	27/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-073	Seine - Estuaire 6	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-215	Rade de la Carosse 2	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-071	Seine - Estuaire 4	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-067	Seine - Estuaire 1	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-089	Banc du dépôt des dragages	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-052	Bouée Carosse	28/07/2019	/	/	sem 31	
010-P-042	Intersect. Cabourg - Antifer	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-216	Large Heuqueville 2	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-034	Saint Jouin - Château d'eau	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-033	Bricquemare	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-018	Seine - Cauville	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-019	Seine - Octeville	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-032	Nord dépôt de dragage	27/07/2019	27/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-073	Seine - Estuaire 6	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-215	Rade de la Carosse 2	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-071	Seine - Estuaire 4	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-067	Seine - Estuaire 1	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-089	Banc du dépôt des dragages	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	
010-P-052	Bouée Carosse	28/07/2019	28/07/2019	sem 31	sem 31	

Tableau 15 : échantillons retenus pour les tests d'écotoxicité sur larves d'huîtres. Comparaison congélation / réfrigération.

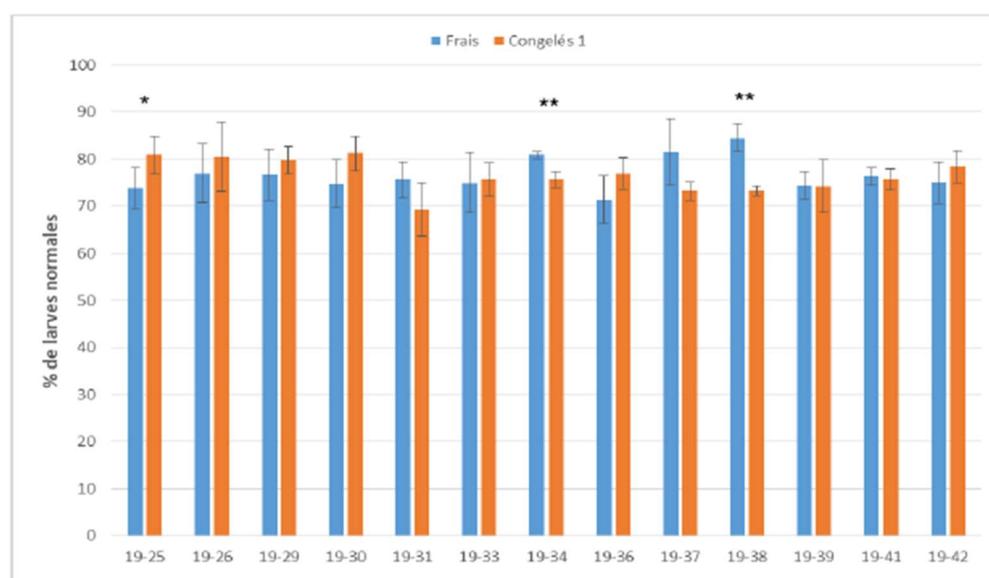


Figure 54 : pourcentage de larves normales après exposition aux éluviats des sédiments frais ou congelés.

(figure tirée du rapport TOXEM 2019 test de toxicité sur le développement embryo-larvaire d'huîtres *Crassostrea gigas*. Etude Ifremer 29-07-19 1ère partie). Les * indiquent les valeurs statistiquement différentes (test de Student) pour respectivement $p = 0.05$ (*) ou $p = 0.01$ (**).

4.2.2 Impact d'un délai de conservation de 3 mois

Les mêmes échantillons ont été retestés après 3 mois de conservation au congélateur à -20°C.

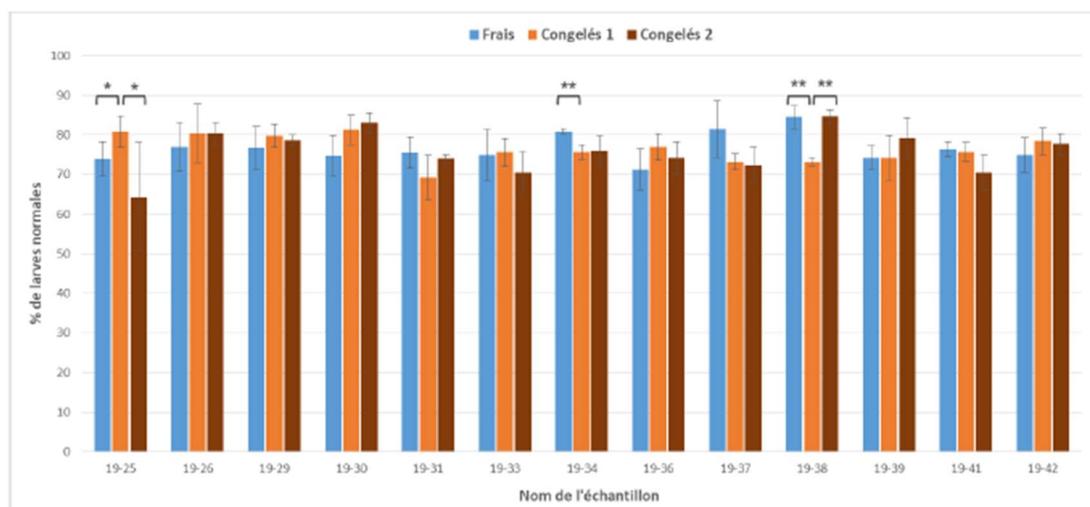


Figure 55 : pourcentage de larves normales après exposition aux éluviats des sédiments frais, congelés sans conservation (congelés 1) ou congelés et conservés 3 mois (congelés 2).

(figure tirée du rapport TOXEM 2019 test de toxicité sur le développement embryo-larvaire d'huîtres *Crassostrea gigas*. Etude Ifremer 29-07-19 2ème partie). Les * indiquent les valeurs statistiquement différentes (test de Student) pour respectivement $p=0.05$ (*) ou $p=0.01$ (**).

Dans les conditions de réalisation du test, tous les sous-échantillons conduisent à 64 à 85 % de larves normales, les échantillons sont tous considérés comme peu à très peu toxiques quel que soit la durée de la conservation.

4.3 Discussion

L'absence de différences entre les échantillons frais analysés sans délai, alors que les 13 échantillons représentent des sédiments de nature et de niveaux de contamination variés, a conduit à s'interroger sur les conditions de réalisation du test.

D'autres échantillons de sédiment prélevés sur les côtes du Calvados, à l'est et à l'ouest du Cotentin jusqu'à la baie du Mont Saint-Michel et testés exclusivement après 3 mois de conservation à l'état congelé conduisent à des résultats équivalents (75 à 85% de larves normales).

La prise d'essai, correspondant à 5g de sédiment sec par litre d'eau de mer, est adaptée aux tests sur sédiments portuaires fréquemment riches en contaminants chimiques variés (protocole GEODE) mais ne convient pas aux échantillons de la campagne ROCCHSED19, prélevés dans le milieu naturel hors pressions fortes.

Les résultats de l'étude ne permettent pas de conclure, ni sur la qualité intrinsèque des échantillons, ni sur l'impact éventuel des variations de protocoles envisagés. En revanche ils permettent de repreciser les conditions de réalisation du test, en accord avec Galgani 2010, avec une prise d'essai de 60 g d'échantillon brut dans 240 ml d'eau de référence (eau de mer non toxique filtrée).

5 Conclusion

5.1 Synthèse par secteur

Ce rapport de synthèse a présenté l'ensemble des résultats obtenus au cours de la campagne ROCCHSED19 de manière à comparer les différents secteurs visités entre eux et à comparer les concentrations mesurées à des références internationales lorsqu'elles existent.

5.1.1 Frontière au cap Gris-Nez :

Les grands ports au nord de la zone d'étude se caractérisent par des pics de contaminations ciblés sur quatre ou cinq des dix métaux suivis, notamment le nickel, vanadium, cuivre et cadmium (chrome dans une moindre mesure), auxquels s'ajoute le zinc pour Calais. Le port de Dunkerque est également le siège d'une importante contamination chimique organique, notamment en HAP, PCB (avec dépassement du seuil d'écotoxicité), monobutylétain, retardateurs de flamme bromés (HBCDD, PBDE), PFOS (valeur la plus élevée de toute la zone d'étude) et TBBPA. Le port de Calais présente une contamination particulière en DEHP et en chloroalcanes à chaînes courtes.

5.1.2 Cap Gris-Nez à Caux :

Dans ce secteur, les niveaux de concentration sont modérément élevés, à part pour les métaux dans l'enceinte du port de Boulogne où de fortes concentrations sont relevées pour le cadmium, le nickel, le cuivre et le vanadium, ainsi que le chrome et l'argent dans une moindre mesure.

A noter que, dans cet ensemble, le point devant Cayeux sur mer se distingue avec des concentrations parmi les plus basses de toute la zone d'étude, sans doute à cause de la nature très grossière de l'échantillon prélevé.

5.1.3 Pays de Caux :

Le pays de Caux se caractérise par une contamination métallique, avec un gradient plus ou moins marqué du nord-est de Fécamp jusqu'à la baie de Somme, selon l'élément considéré. Le chrome présente un pic devant Dieppe (point Bas Fort Blanc). Parmi les contaminants organiques, il semble y avoir un sujet autour d'un HAP en particulier (l'acénaphthène) devant Biville sur mer, autour du TBT au nord de Saint Aubin sur mer (composé TBT encore majoritaire devant les formes de dégradation di et mono butylétain) et sur le DEHP détectée entre Fécamp et Saint Valéry en Caux.

5.1.4 Octeville – Antifer

Pour de tous les métaux (sauf l'argent) ce secteur présente des concentrations plus faibles qu'en pays de Caux, voire plus faibles que la majorité des points de la zone d'étude, bien que situé géographiquement entre l'embouchure de la Seine aux concentrations très élevées et le pays de Caux.

Dans les familles de composés organiques, les niveaux de concentrations sont plus faibles que dans les secteurs plus proches de l'embouchure de la Seine, sauf pour les retardateurs de flamme bromés (PBDE et HBCDD) qui constituent une particularité de ce secteur avec des concentrations ponctuellement élevées à proximité du port d'Antifer, notamment pour les congénères PBDE153 et 183.

5.1.5 Nord-Est baie de Seine

Ce secteur plus au large, sous une influence réduite des apports de la Seine, présente des niveaux de contamination du même ordre de grandeur que pour le secteur des côtes du Calvados, en contaminants organiques sauf pour le monobutyl étain (moyenne deux fois plus forte que pour le secteur Calvados) et les HAP, deux familles qu'on peut relier au trafic maritime et à la présence des zones d'attente des deux grands ports normands. Pour la plupart des métaux, les concentrations moyennes sont plus faibles qu'à proximité de la côte (secteur Octeville – Antifer comme secteur Calvados).

5.1.6 Panache Seine

Le profil de la contamination de ce secteur en contaminants métalliques traduit bien sa localisation sous l'impact des apports de la Seine : niveaux de concentrations intermédiaires entre ceux du secteur estuaire ou Seine et ceux du secteur plus au large (nord est baie de Seine). On relève deux dépassements du seuil ERL en mercure dans ce secteur.

De même pour les contaminants organiques, en notant que pour les HAP, les niveaux moyens de ce secteur sont sensiblement plus faibles que pour le secteur voisin de l'estuaire.

5.1.7 Estuaire Seine :

Pour la plupart des contaminants, le secteur estuaire présente de fortes concentrations, sous l'influence directe des apports de la Seine. En particulier pour les PCB, le niveau de contamination de la baie de Seine, avec un gradient à partir de l'estuaire, vers le nord est d'une part et vers l'ouest d'autre part, est important, avec dépassement du seuil d'écotoxicité (EAC d'OSPAR) pour plusieurs molécules dans la Seine et à proximité de son embouchure.

5.1.8 Seine :

Pour ce secteur on retient une contamination massive en provenance de la Seine ou de ses affluents : métaux, HAP, PCB avec dépassement du seuil d'écotoxicité (EAC d'OSPAR) pour plusieurs molécules dans la Seine et à proximité de l'embouchure, mono et dibutylétain, retardateurs de flamme bromés (HBCDD en particulier), PFOS.

Pour la grande majorité des familles de contaminants étudiés, le point de la Seine en amont de Rouen apparaît le plus contaminé, avec de nombreux cas de dépassement des valeurs seuil d'effet écotoxique. Le chrome est le seul composé métallique pour lequel le seuil d'effet ERL n'est pas dépassé

5.1.9 Calvados

Le secteur du Calvados présente une situation comparable à celle du secteur nord est baie de Seine, avec les marques d'une influence réduite de la Seine. On note de plus des concentrations métalliques élevées dans le chenal de l'Orne, en particulier pour le cobalt, le vanadium, le zinc et le nickel et des concentrations ponctuellement élevées en PFOS et en chloroalcanes à la pointe du Hoc. Les concentrations moyennes en HAP du secteur sont également élevées, moyenne la plus élevée de tous les secteurs de la zone d'étude pour le fluoranthène.

5.1.10 Baie des Veys :

Ce secteur présente un profil de contamination particulier dans la zone d'étude :

- La contamination métallique y est modérée, sauf pour le chrome (concentration élevée sur le point ouest de la baie) ;
- La contamination organique y est forte pour plusieurs familles :

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), avec des niveaux de contamination forts pour l'ensemble des molécules de la famille au point du banc de la Rouelle ;
- les PBDE pour lesquels le congénère 209 est particulièrement abondant sur le banc de la Rouelle ;
- un niveau élevé en C10-C13 chloroalcanes à l'ouest de la baie.

5.1.11 Cotentin Est

Ce secteur présente des niveaux de concentration faibles pour l'ensemble des contaminants suivis.

5.1.12 Cotentin Nord

La côte nord du Cotentin présente des niveaux de contamination faibles pour tous les contaminants étudiés. On retiendra des traces de contamination par les HAP, PBDE 209, et les composés organostanniques dans la rade de Cherbourg.

5.1.13 Cotentin Ouest :

La côte ouest du Cotentin et la baie du Mont Saint-Michel montrent une absence de contamination pour l'ensemble de ces familles de contaminants, à l'exception du mercure sur le point au nord de Chausey (concentration très importante, avec un dépassement du seuil ERL d'écotoxicité).

5.2 Conclusion générale

Les niveaux de concentrations mesurés traduisent sur la zone d'étude l'influence prépondérante de la Seine sur la baie de Seine et à l'est jusqu'au pays de Caux.

Des points chauds sont également identifiés pour certaines familles de contaminants dans les grands ports du secteur et quelques résultats isolés posent question (mercure à Chausey, acénaphène à Biville).

Les pesticides organochlorés de la famille du DDT et de celle du lindane ne sont plus (lindane) ou rarement (DDT) quantifiés. A l'opposé, le tributylétain (TBT) présentent encore des niveaux supérieurs à la valeur EAC d'OSPAR dans plus de 40% des échantillons de la zone d'étude.

Certaines molécules de la liste des substances dangereuses ou pertinentes à surveiller n'ont été quantifiées sur aucun point aux seuils de quantification disponibles pour la campagne.

Il serait utile de compléter la présente synthèse par une comparaison avec les valeurs obtenues dans la même matrice sédiment lors des campagnes précédentes et avec les mesures réalisées annuellement sur les mollusques des points côtiers du ROCCH.

Bibliographie :

Amouroux Isabelle, Claisse Didier (2016). **AQUAREF - Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote) - Recommandations techniques – Edition 2015.** <https://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44380/>

Chiffolleau Jean-François, Auger Dominique, Boutier Bernard, Rozuel Emmanuelle, Truquet Isabelle (2003). Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Quae Ed. 45p. ISSN 1637-1844, ISBN 978-2-84433-122-9

Chiffolleau Jean-François, Auger Dominique, Roux Nathalie, Rozuel Emmanuelle, Santini Anne (2005). **Distribution of silver in mussels and oysters along the French coasts: Data from the national monitoring program.** *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1719-1723. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.009> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2553/>

Galgani François, Baldi Yoann (2010). Evaluation de la toxicité globale des sédiments du littoral du Languedoc Roussillon, du Var et des Alpes Maritimes par un bio essai : Développement larvaire de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en présence d'élutriats de sédiments. EST.DOP/LER-PAC. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00028/13930/>

Menet-Nedelec Florence, Chiffolleau Jean-François, Grouhel-Pellouin Anne (2016). **Rapport de synthèse de la campagne d'évaluation de la qualité chimique des sédiments (ROCCHSED) 2013 du littoral du bassin Seine-Normandie.** RST.ODE/UL/LERN/16-09. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00458/56928/>