

RAPPORT D'ÉTUDE 02/11/2010

N° INERIS-DRC-10-105335-11618A

**Qualité chimique des sédiments marins en France :
Synthèse des bases de données disponibles**

Qualité chimique des sédiments marins en France :
Synthèse des bases de données disponibles

Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône

Client : ONEMA, MEEDDM

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Jean-Marie PADOX, Pierre HENNEBERT, Anne BENARD, Lionel MANCIOPPI

PRÉAMBULE

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

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

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

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

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





	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Jean-Marie PADOX Pierre HENNEBERT	Benoît HAZEBROUCK	Jacques BUREAU
Qualité	Ingénieurs de l'Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable de l'Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Responsable du Pôle Risques et technologies durables
Visa	 		

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	9
Abstract	10
Glossaire	12
1. Introduction.....	14
2. Données et méthodes de traitements	15
2.1 Origine et description succincte des données.....	15
2.1.1 Réseau REPOM	16
2.1.2 PROPSÉD.....	16
2.1.3 SEDIMARD.83	17
2.2 Traitement des données	17
2.2.1 Organisation et traitement de la base de donnée	17
2.2.2 Estimation des fractions granulométriques	18
2.3 Seuils réglementaires N1 et N2 pour les sédiments marins.....	19
3. Résultats et discussion	21
3.1 Base générale	21
3.2 Résultats	23
3.2.1 Analyses physico-chimiques.....	23
3.2.2 Essais de lixiviation	29
3.2.3 Variations temporelles des concentrations par lieu	30
3.2.4 Variations géographiques.....	39
3.2.5 Corrélation entre paramètres	50
3.2.6 Proximité entre échantillons	58
3.3 Distribution des paramètres et des échantillons selon les seuils réglementaires N1 et N2. 60	
3.3.1 Distribution des paramètres en fonction des seuils N1 et N2	62
3.3.2 Distribution des familles analytiques en fonction des seuils N1 et N2	73
3.3.3 Distribution des échantillons en fonction des seuils N1 et N2.....	74
4. Conclusion	76
5. Références citées.....	77
6. Liste des annexes.....	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Corrélation entre la fraction limoneuse et la fraction argile+limon, pour les sédiments fluviaux comportant une fraction argile+limon $\geq 50\%$ (n = 805).	19
Figure 2 : Histogramme de distribution gaussienne (distribution normale) de la concentration en arsenic des sédiments marins.	26
Figure 3 : Histogramme de distribution log-normale de la concentration en cuivre des sédiments marins.....	27
Figure 4 : Histogramme de distribution (non normale) de la concentration en zinc des sédiments marins.....	28
Figure 5 : Histogramme de distribution (non normale) de la concentration en PCB 52 des sédiments marins.	28
Figure 6 : Distribution du nombre d'années de prélèvement par lieu de prélèvement des données du réseau REPOM par façade maritime.	30
Figure 7 : Distribution du nombre d'années de prélèvement par lieu de prélèvement des données de la façade de La Manche par région, pour les données du réseau REPOM.	30
Figure 8 : Variabilité interannuelle de la teneur en arsenic (mg/kg) pour le port de Capbreton sur la façade atlantique et le port de Concarneau situé sur La Manche.	31
Figure 9 : Variabilité interannuelle de la teneur en tributylétain (mg/kg) pour le port de Capbreton sur la façade atlantique et le port de Concarneau situé sur La Manche.	31
Figure 10 : Coefficient de variation par lieu pour l'arsenic.	32
Figure 11 : Coefficient de variation par lieu pour le cadmium.....	33
Figure 12 : Coefficient de variation par lieu pour le chrome.	33
Figure 13 : Coefficient de variation par lieu pour le cuivre.....	34
Figure 14 : Coefficient de variation par lieu pour le mercure.	34
Figure 15 : Coefficient de variation par lieu pour le nickel.	35
Figure 16 : Coefficient de variation par lieu pour le plomb.	35
Figure 17 : Coefficient de variation par lieu pour le zinc.....	36
Figure 18 : Coefficient de variation par lieu pour le PCB 28.	36
Figure 19 : Coefficient de variation par lieu pour le PCB 180.	37
Figure 20 : Coefficient de variation par lieu pour le TBT.....	37
Figure 21 : Nombre d'échantillons annuels par lieu et nombre de lieux échantillonné pour différentes années (ensemble de la base de données).....	38
Figure 22 : Nombre moyen de données par paramètre, en fonction de l'origine géographique des données.	39
Figure 23 : Concentrations médianes en arsenic (mg/kg MS) par département.	40
Figure 24 : Concentrations médianes en cadmium (mg/kg MS) par département.	41
Figure 25 : Concentrations médianes en chrome (mg/kg MS) par département.	42
Figure 26 : Concentrations médianes en cuivre (mg/kg MS) par département.....	42
Figure 27 : Concentrations médianes en mercure (mg/kg MS) par département.....	43
Figure 28 : Concentrations médianes en nickel (mg/kg MS) par département.	43
Figure 29 : Concentrations médianes en plomb (mg/kg MS) par département.	44

Figure 30 : Concentrations médianes en zinc (mg/kg MS) par département.	44
Figure 31 : Concentrations médianes pour les 7 congénères réglementaires de PCB (mg/kg MS) par département.	45
Figure 32 : Concentrations médianes en TBT (mg/kg MS) par département.	46
Figure 33 : Concentrations médianes en hydrocarbure totaux (mg/kg MS) par département.	46
Figure 34 : Concentrations médianes pour la somme des 16 HAP de l'US-EPA (mg/kg MS) par département.	47
Figure 35 : Concentrations médianes des différentes fractions granulométriques (mg/kg MS) par département.	48
Figure 36 : Concentrations médianes en COT (mg/kg MS) par département.	49
Figure 37 : Concentrations médianes en azote Kjeldahl (mg/kg MS) par département.	49
Figure 38 : Concentration en nickel (mg/kg) en fonction de la concentration en chrome (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	52
Figure 39 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en zinc (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	53
Figure 40 : Concentration en PCB 153 (mg/kg) en fonction de la concentration en PCB 38 (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	53
Figure 41 : Diagramme de dispersion de la concentration en PCB 138.	54
Figure 42 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en PCB 138 (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	54
Figure 43 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration pour la somme des 16 HAP (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	55
Figure 44 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en COT (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	55
Figure 45 : Concentration en chrome (mg/kg) en fonction de la concentration en limon (%) pour l'ensemble des mesures de la base de données.	55
Figure 46 : ACP selon les composantes 1 et 2 pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds, les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.	56
Figure 47 : ACP selon les composantes 1 et 3 pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.	57
Figure 48 : Dendrogramme de dissimilarité de 10 classes d'échantillons obtenues à partir d'une CAH.	58
Figure 49 : Total des données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour l'ensemble des échantillons et pour les échantillons complets (avec l'ensemble des 16 paramètres mesurés).	62
Figure 50 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 par paramètre pour l'ensemble des échantillons.	64
Figure 51 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 par paramètre pour les échantillons complets.	64
Figure 52 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le cuivre, en fonction des différents des départements.	68
Figure 53 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le mercure, en fonction des différents des départements.	69

Figure 54 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le zinc, en fonction des différents des départements.	70
Figure 55 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le TBT, en fonction des différents des départements.	71
Figure 56 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le PCB 138, en fonction des différents des départements.....	72
Figure 57 : Nombre d'échantillons complets classés par famille < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2.	73
Figure 58 : Nombre d'échantillons < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2 pour l'ensemble de la base de données.....	74
Figure 59 : Nombre d'échantillons < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2 par département. Un seul paramètre ≥ N1 ou ≥ N2 classe la famille en ≥ N1 ou ≥ N2.	75
Figure 60 : Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD.....	79
Figure 61: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD	79
Figure 62: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD	79
Figure 63: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD	80
Figure 64: Concentration en mercure lixiviable en fonction de la concentration en mercure total pour les données du réseau SEDIMARD.....	80
Figure 65: Concentration en nickel lixiviable en fonction de la concentration en nickel total pour les données du réseau SEDIMARD	80
Figure 66: Concentration en plomb lixiviable en fonction de la concentration en plomb total pour les données du réseau SEDIMARD	81
Figure 67: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD	81
Figure 68 : Concentration en TBT lixiviable en fonction de la concentration en TBT total pour les données du réseau SEDIMARD.....	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre et localisation des ports référencés dans la base de données pour les données du réseau de surveillance REPOM.....	15
Tableau 2 : Nombre et localisation des ports référencés dans la base de données pour les données des projets PROPSSED et SEDIMARD	16
Tableau 3 : Seuils de qualité N1 et N2 des 8 métaux lourds réglementaires pour les sédiments marins et estuariens, d'après l'Arrêté du 9 Août 2006.	20
Tableau 4 : Seuils de qualité N1 et N2 des contaminants organiques réglementaires (les 7 congénères de PCB et le tributylétain) pour les sédiments marins et estuariens, d'après l'Arrêté du 9 Août 2006.	20
Tableau 5 : Conditions requises pour classer un échantillon selon les seuils réglementaires N1 et N2 de l'arrêté du 9 Août 2006.....	21
Tableau 6 : Nombre de données par caractéristique des sédiments marins.....	22
Tableau 7 : Statistiques descriptives des concentrations totales en métaux lourds.	23
Tableau 8 : Statistiques descriptives des concentrations en PCB et en tributylétain.	24
Tableau 9 : Statistiques descriptives des concentrations en hydrocarbures et en HAP, des fractions granulométriques, et des paramètres physico-chimiques.....	25
Tableau 10 : Statistiques descriptives pour les tests de lixiviations des 8 métaux lourds et pour le TBT.....	29
Tableau 11 : Coefficient de corrélation r entre paramètres sur l'ensemble de la base de données, avec $p=0.99$	51
Tableau 12 : Variances des composantes F1, F2 et F3 de l'ACP pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds, les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.	56
Tableau 13 : Nombre d'échantillons et variance intra-groupe pour les 10 classes obtenues partir d'une CAH.....	58
Tableau 14 : Concentration moyennes en métaux et contaminants organiques pour les 10 classes de la CAH.	59
Tableau 15 : Nombre d'échantillons et nombre d'échantillons avec les 16 paramètres nécessaires pour le classement (métaux lourds, les 7 PCB et le TBT), selon l'origine des données.	61
Tableau 16 : Nombre de valeurs $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime de La Manche.	65
Tableau 17 : Nombre de valeurs $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime Atlantique et d'Outre-mer du réseau REPOM.....	66
Tableau 18 : Nombre de valeurs $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime Méditerranéenne du réseau REPOM.....	66
Tableau 19 : Nombre de valeurs $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$, par paramètre, par région et par département, des projets PROPSSED et SEDIMARD.	67

Résumé

Cette étude présente les données disponibles d'analyses conventionnelles de contaminants de sédiments marins (8 métaux lourds, 7 congénères individuels de polychlorobiphényles (PCB), tributylétain (TBT), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), hydrocarbures totaux (HCT), carbone (COT), azote Kjeldahl et granulométrie), les éventuelles corrélations entre contaminants, leur répartition géographiques et leur classement réglementaire.

L'INERIS a établi une base de données sédiments marins à partir du Réseau de surveillance de Ports Maritimes (REPOM) animé par l'IFREMER et de deux projets de caractérisation et de traitement de sédiments (PROSED et SEDIMARD). Elle comporte 27 538 données pour 818 échantillons, sur une période allant de 1996 à 2008.

Les teneurs médianes en contaminants sont les suivantes : As 13,0 mg/kg, Cd 0,33 mg/kg, Cr 51,0 mg/kg, Cu 41,3 mg/kg, Hg 0,13 mg/kg, Ni 20,0 mg/kg, Pb 41,0 mg/kg, Zn 1 500 mg/kg, PCB 0,010 mg/kg (pour l'ensemble des congénères), TBT 0,115 mg/kg, somme des 16 HAP 1,49 mg/kg et HCT 100 mg/kg.

Les teneurs médianes des fractions granulométriques sont de 5,71 % d'argile, 63,0 % de limon, 27,3 % de sable, avec 3,4 % de carbone organique et 0,35% d'azote Kjeldahl. Les analyses de lixiviats, disponibles uniquement pour le projet SEDIMARD, sont toutes inférieures aux valeurs réglementaires pour le stockage en décharge des déchets inertes pour les métaux lourds.

La distribution des concentrations par polluant est normale (gaussienne) pour l'arsenic, le chrome et le nickel. Le cuivre montre une distribution log-normale. Pour l'ensemble des autres paramètres, les distributions sont non normales et dominées par quelques points particulièrement contaminés (teneurs jusqu'à 400 fois plus grandes pour le TBT) ou par la non détection de certains contaminants (60 % des mesures de PCB sont \leq LQ). Sur 118 lieux, des chroniques annuelles ont été recueillies (une donnée par an et par lieu, répétée entre 1 et 10 années).

Ces chroniques montrent une variabilité très importante, mais non systématique, des concentrations en contaminants pour un même lieu au cours des années pour tous les contaminants, modifiant le classement réglementaire du lieu d'une année à l'autre. L'absence de plusieurs campagnes de mesures une même année ne permet pas l'étude de la variabilité intra-annuelle.

Certains paramètres sont corrélés sur le plan statistique (corrélation deux à deux généralement dictées par des valeurs extrêmes ou la présence de nombreuses concentrations à la limite de quantification, analyse en composantes principales) mais ces corrélations sont peu opérationnelles et ne montrent pas une structure claire des contaminations, la variabilité géographique ou chronologique l'emportant sur la physico-chimie du comportement des contaminants. Les meilleures corrélations sont observées entre chrome et nickel, entre plomb et zinc et entre les différents congénères de PCB.

Le regroupement des échantillons par classification ascendante hiérarchique permet de différencier des groupes de contamination croissante dont 3 échantillons avec des concentrations particulièrement importantes en métaux, PCB et TBT (ports de Macinaggio en Corse, de Marseille et de Toulon).

Le classement à été possible selon la réglementation du dragage des sédiments marins (seuils N1 et N2) pour la moitié des échantillons (présentant des données complètes) : 25 % des échantillons sont compris entre N1 et N2 (étude complémentaire nécessaire pour clapage en mer) et 45 % des échantillons dépassent le seuil N2 (étude du milieu récepteur nécessaire), principalement du fait des teneurs en cuivre et en TBT. Les dépassements de seuils se localisent principalement en façade méditerranéenne et dans le Finistère.

Abstract

This study presents the available results of conventional analysis of contaminants in marine sediments (8 heavy metals, 7 individual congeners of polychlorinated biphenyls (PCBs), tributyltin (TBT), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), total petroleum hydrocarbons (TPH), organic carbon (TOC), Kjeldahl nitrogen and size), correlations between contaminants, their geographical distribution and their regulatory classification.

A database of marine sediments was established from the Monitoring Network Seaports (REPOM) hosted by IFREMER and two projects for characterization and processing of sediment (PROPSSED and SEDIMARD). It contains 27,538 data for 818 samples over a period from 1996 to 2008.

The median levels of contaminants are the following: As 13.0 mg/kg, Cd 0.33 mg/kg, Cr 51.0 mg/kg, Cu 41.3 mg/kg, Hg 0.13 mg/kg, Ni 20.0 mg/kg, Pb 41.0 mg/kg, Zn 1500 mg/kg, PCB 0.010 mg/kg (for all congeners), TBT 0.115 mg/kg, sum of 16 PAH 1.49 mg/kg and TPH 100 mg/kg.

The median concentrations of size fractions are 5.71 % of clay, 63.0 % of silt, 27.3 % of sand, with 3,4 % organic carbon and 0.35 % Kjeldahl nitrogen. Analyses results on leachate, available only for the SEDIMARD project, are all below the regulatory values for storage in discharges of inert waste for heavy metals.

The distribution of pollutant concentrations is normal (Gaussian) for arsenic, chromium and nickel. Copper shows a log-normal distribution. For all other parameters, the distributions are non normal and dominated by a few points particularly contaminated (up to 400 times greater for TBT) or by the non-detection of certain contaminants (60 % of measurements of PCBs \leq LOQ).

Chronics of data from 118 sites over the years (a given year and location repeated between 1 and 10 years) show a very large variability in concentrations of contaminants in the same place for years for all contaminants, impacting the regulatory classification from one year to the other. The absence of several measurement campaigns within a year does not allow the study of intra-annual variability.

Some parameters are statistically correlated (correlation two to two generally determined by extreme values or the presence of many levels of the limit of quantification, principal component analysis) but these correlations are not operational and do not show a clear structure of contamination,: the geographical or chronological variability outweighs the physical and chemical behavior of contaminants. The best correlations were observed between chromium and nickel, lead and zinc and between the different PCB congeners.

The grouping of samples by hierarchical clustering allows differentiating groups of increasing contamination including 3 samples with particularly large concentrations of metals, PCBs and TBT (ports of Macinaggio in Corsica, Marseille and Toulon).

The classification was possible under the regulation of dredged marine sediments (threshold N1 and N2) showed very high levels of contamination: 25% of samples are between N1 and N2 (further study needed to dumping at sea), 45% of samples exceed the N2 (study of the receiving environment necessary), mainly due to the levels of copper and TBT. Exceedings are located mainly on the Mediterranean coast and in Finistère (Brittany).

Glossaire

ACP	Analyse en Composantes Principales
ANR	Agence Nationale de Recherche
As	Arsenic
Basse Norm.	Basse Normandie
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
Cd	Cadmium
COT	Carbone Organique Total
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
CV	Coefficient de Variation
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
Haute Norm.	Haute Normandie
Hg	Mercure
HCT	HydroCarbures Totaux
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
Lang. Roussillon	Languedoc Roussillon
LQ	Limite de Quantification
Ni	Nickel
NPdC	Nord-Pas-de-Calais
P. Loire	Pays de la Loire
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
Pb	Plomb
PCB	PolyChloroBiphényle
PRECODD	PRogramme ECOTEchnologies et Développement Durable
PROPSSED	projet de développement de PROcédés Physiques pour la valorisation des SEDiments de Curage
REPOM	REseau national de surveillances des PORTs Maritimes
SEDIMARD.83	projet pilote SEDiments MARins Département 83
TBT	Tributylétain
Zn	Zinc

1. Introduction

La sédimentation des littoraux est un processus naturel. L'équilibre entre sédimentation et érosion a un rôle majeur dans l'évolution du milieu. Dans le cas d'un port, protégés par des digues, le comblement par sédimentation est plus important que l'érosion par effet de houle. Les intérêts économiques qu'engendre l'activité d'un port nécessitent son entretien et donc un dragage fréquent.

En France, la quantité annuelle de sédiments marins dragués est estimée à 50 millions de m³ par an, dont 5 millions de m³ sont gérés à terre. Les voies de gestion à terre comprennent la mise en dépôt ou les filières de valorisation (régalage, épandage, techniques routières, bâtiment travaux public, aménagement et réhabilitation de carrières...). La gestion à terre se heurte toutefois à différents problèmes d'ordres économiques et environnementaux, notamment du fait de la contamination chimique d'une partie des sédiments gérés à terre. La connaissance des sédiments à stocker ou valoriser à terre est essentielle pour permettre de définir des filières de gestion viables.

Cette étude présente une vue synthétique sur la qualité des sédiments marins au regard de leur potentiel de valorisation¹ et de leur impact environnemental en gestion à terre. En parallèle, l'INERIS a mené une étude similaire sur la qualité des sédiments fluviaux².

Pour ce travail, les résultats de caractérisation des sédiments marins disponibles ont été recueillis auprès de l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER, données du réseau REPOM, ainsi que des résultats d'analyses issues des projets PROPSSED et SEDIMARD.83 (noté par la suite SEDIMARD). A ce jour, seul un premier bilan synthétique sur la qualité des sédiments du réseau REPOM est publié³. Notre étude présente les données, les éventuelles corrélations entre contaminants, et les variations géographiques décrites notamment au regard du classement réglementaire. Nous adressons nos remerciements aux différents gestionnaires qui ont bien voulu nous communiquer leurs données.

Réalisée pour le compte de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) (action n°22 2009), du Ministère de l'Energie, de l'Ecologie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) (programme 181 DRC01 « Appui technique pour l'élaboration et l'actualisation de la réglementation liée à la gestion des déchets »), cette étude entend apporter des bases pour les futurs guides de valorisation des sédiments (par ex. guide d'application aux sédiments du guide actuellement en projet sur la valorisation de matériaux alternatifs en techniques routières). Elle s'inscrit également en première phase d'un programme de R&D de l'INERIS sur la « Compréhension et prédiction des Transferts de polluants contenus dans les Sédiments de dragage valorisés à terre » (programme 190 TransSed, 2009-2012).

¹ Notamment au regard de la démarche du projet de guide sur la valorisation en technique routière (MEEDDM, 2009).

² INERIS, 2010 : *Qualité des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles*. Rapport d'étude, INERIS – DRC – 10-105335-04971A, PADOX JM., HENNEBERT P., 26 Juin 2010

³ BATAILLE T., LE GUYADER C., SIMON A. (2010). XIème Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil : *Bilan national du réseau de surveillance de la qualité de l'eau et des sédiments dans les ports maritimes (REPOM) 1997 à 2006*.

2. Données et méthodes de traitements

2.1 Origine et description succincte des données

Nous avons créé cette base de données sédiments marins à l'aide de données recueillis auprès du Réseau de surveillance de Ports Maritimes (REPOM) animé par l'IFREMER et des résultats d'analyses des deux projets de caractérisation et de traitement de sédiments (PROPSSED et SEDIMARD). L'origine géographique des sédiments portuaires, selon le gestionnaire des données, est présentée au Tableau 1 et au Tableau 2.

Tableau 1 : Nombre et localisation des ports référencés dans la base de données pour les données du réseau de surveillance REPOM

Origine	Nombre de Ports	Nombre d'échantillons	Nombre de données
REPOM	88	809	26 838
La Manche	37	366	13 310
Nord-Pas-de-Calais	3	95	2 977
<i>Nord (59)</i>	1	35	605
<i>Pas de Calais (62)</i>	2	60	2 372
Normandie Haute	5	45	1 258
<i>Seine Maritime (76)</i>	5	45	1 258
Normandie Basse	13	79	2 832
<i>Calvados (14)</i>	6	40	1 829
<i>Manche (50)</i>	7	39	1 003
Bretagne	16	147	6 243
<i>Ille et vilaine (35)</i>	5	50	2 048
<i>Finistère (29)</i>	11	97	4 195
Atlantique	23	333	9 430
Pays de la Loire	17	301	8 162
<i>Loire Atlantique (44)</i>	8	122	4 201
<i>Vendée (85)</i>	9	179	3 961
Aquitaine	6	32	1 268
<i>Landes (40)</i>	1	11	369
<i>Pyrénées Atlantiques (64)</i>	5	21	899
Méditerranée	26	106	4 060
Languedoc Roussillon	16	69	2 901
<i>Pyrénées Orientales (66)</i>	5	12	563
<i>Aude (11)</i>	3	10	462
<i>Hérault (34)</i>	6	41	1 685
<i>Gard (30)</i>	2	6	191
PACA	2	2	39
<i>Bouches-du-Rhône (13)</i>	1	1	10
<i>Var (83)</i>	1	1	29
Corse	8	35	1 120
<i>Corse du Sud (2A)</i>	3	17	771
<i>Haute Corse (2B)</i>	5	18	349
Outre-mer	2	4	38
Guadeloupe	2	4	38
<i>Guadeloupe (971)</i>	2	4	38

Tableau 2 : Nombre et localisation des ports référencés dans la base de données pour les données des projets PROPSSED et SEDIMARD

Origine	Nombre de Ports	Nombre d'échantillons	Nombre de données
PROPSSED	1	2	124
La Manche	1	2	124
Nord-Pas-de-Calais	1	2	124
Nord (59)	1	2	124
SEDIMARD	7	7	576
Méditerranée	7	7	576
PACA	7	7	576
Bouches-du-Rhône (13)	1	1	77
Var (83)	5	5	409
Alpes Maritimes (06)	1	1	90
Total général	96	818	27 538

2.1.1 Réseau REPOM

Une grande majorité des données traitées (97,5 %) dans cette étude sont fournies par le Réseau national de surveillance des ports maritimes (REPOM). Le REPOM a pour objectifs d'évaluer la qualité des eaux et des sédiments des bassins portuaires. Différents types de ports maritimes font partie de ce réseau de surveillance : militaires, de commerces, de pêche et de plaisance.

Ce réseau de surveillance possède une base de données analytiques pour 88 ports présents sur 21 départements dont 1 d'outre-mer. La liste complète des ports est présentée en Annexe 1 . Les différents paramètres analysés sont les 8 métaux lourds de l'arrêté du 09/08/2006⁴, ainsi que des contaminants organiques (les HAP⁵, les PCB⁶, les composés organostanniques et les hydrocarbures totaux). Des paramètres chimiques comme le carbone organique total (COT), le phosphore total et l'azote de Kjeldahl et des paramètres physiques, essentiellement des fractions granulométriques, sont également analysés.

2.1.2 PROPSSED

Le projet PROPSSED « Développement de Procédés Physiques pour la Valorisation des Sédiments de Curage » est un projet financé en partie par l'Agence Nationale de Recherche (ANR) dans le cadre du programme Ecotechnologies et Développement Durable (PRECODD). L'objectif de ce programme est d'augmenter la fraction valorisable des sédiments contaminés en optimisant les techniques de séparation granulométrique⁷. Les données de caractérisation des sédiments de Dunkerque sont utilisées pour cette étude.

⁴ Les 8 métaux lourds : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc.

⁵ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

⁶ PCB : PolyChloroBiphényles

⁷ PROPSSED, 2009. *Caractérisation de trois types de sédiments de curage*, Rapport final BRGM/RP 57506-FR, S. TOUZE & al, Juillet 2009.

Les paramètres étudiés dans ce projet sont les concentrations en contaminants inorganiques (les 8 métaux lourds de l'arrêté du 09/08/2006), les concentrations en contaminants organiques avec les 16 HAP (US-EPA), les PCB, ainsi que les composés de la famille des organostanniques.

2.1.3 SEDIMARD.83

Le projet pilote SEDiments MARins contaminés Dragués (SEDIMARD.83) avait entre autres pour objectifs d'étudier la pertinence technico-économique de diverses filières de traitement des sédiments marins contaminés et d'identifier des perspectives de gestion à terre. Les échantillons de sédiments, provenant de 7 ports de la région PACA, sont caractérisés puis soumis à divers traitements physico-chimiques et biologiques (SANNIER *et al.*, 2009). Les métaux, HAP, PCB, BTEX⁸, ainsi que les organoétains sont mesurés. Des tests de lixiviations sur les métaux et sur quelques anions sont également effectués. Les échantillons de sédiments sont par la suite analysés après traitement. Les données de sédiments après traitement ne sont pas incluses dans le présent rapport.

2.2 Traitement des données

2.2.1 Organisation et traitement de la base de donnée

La plupart du temps, les données réunies mentionnent des informations temporelles (date de prélèvement ou année de prélèvement) et des informations spatiales (lieu ou code de lieu) Nous avons créé la clé de tri « **échantillon** » qui est un ensemble de paramètres et de résultats **pour un lieu et une date**.

Les traitements suivants sont effectués :

Traitement :

- Importation des données :
 - o Création d'un format : une ligne = une information

- Complétion des données :
 - o Dates de prélèvement : en absence de toute donnée, date inconnue, et en présence de l'année uniquement, mise de la date au 30/06 de l'année ;
 - o Création d'un champ de lieu de prélèvement commun à toutes les bases, quand l'information est disponible
 - o Création d'un champ échantillon (voir ci-dessus) par concaténation du lieu et de la date en format julien (nombre de jours depuis 01/01/1900) ;
 - o Suppression des données en double ;
 - o Création de paramètres explicites à partir des codes SANDRE
 - o Harmonisation des dénominations de paramètres identiques (parfois délicate en l'absence de code SANDRE...);

⁸ BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène

- Organisation de l'exploitation de la base.
 - Création de familles de paramètres caractéristiques à deux niveaux⁹.
- Vérification de la base :
 - Harmonisation des unités des paramètres : uniquement « % » (sur sec) et « mg/kg » (sec)
 - Conversion des valeurs (résultats d'analyses et de mesures) importées sous format texte en format nombre ;
 - Vérification des valeurs minimales et maximales et suppression (neutralisation sous format texte et signalisation) ou correction éventuelle des valeurs aberrantes et signalisation ;
- Calculs :
 - Recalcul de trois fractions granulométriques homogènes $0 < \phi < 2 \mu\text{m}$, $2 < \phi < 63 \mu\text{m}$, $63 < \phi < 2000 \mu\text{m}$ (voir ci-dessous)
 - Estimation de la répartition entre argile et limon pour 30 échantillons dont seule la fraction fine (argile+limon) est connue. Ces échantillons ont une fraction fine $\geq 50\%$. L'estimation est faite à partir de la répartition de ces fractions granulométriques entre argile et limon dans les sédiments fluviaux¹⁰ (voir 2.2.2).
 - Détermination des classes $< N1$, compris entre $N1$ et $N2$ et $\geq N2$ par paramètre, par famille et par échantillon à partir des seuils réglementaires.
- Tableaux descriptifs de synthèse.
- Mise des données sous forme tabulaire pour certaines statistiques.
- Analyses statistiques.

2.2.2 Estimation des fractions granulométriques

Les fractions manquantes argile et limon sont estimées à partir de la corrélation entre fraction de limon et fraction argile+limon constatée dans les sédiments fluviaux contenant au moins 50 % d'argile et de limon (Figure 1).

⁹ Compte tenu du nombre de paramètres et des données, les différents paramètres sont groupés en plusieurs niveaux appelés **Caractéristiques**, pour faciliter le traitement des données. Le premier niveau sépare les paramètres selon leur propriété physique et/ou chimique. Le deuxième niveau discrimine les paramètres importants et différencie des familles analytiques.

¹⁰ Cf. PADOX J.M., HENNEBERT P., INERIS 2010 : *Qualité des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles*. Rapport d'étude, INERIS – DRC – 10-105335-04971A.

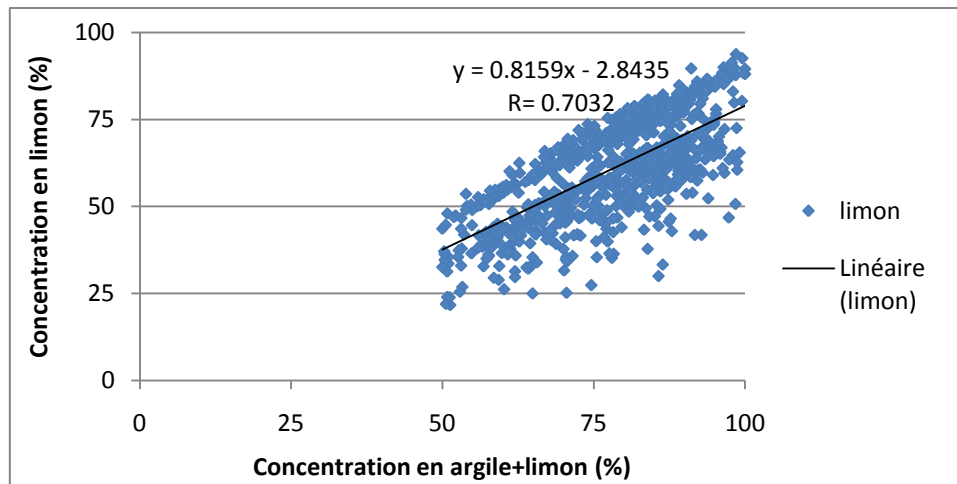


Figure 1: Corrélation entre la fraction limoneuse et la fraction argile+limon, pour les sédiments fluviaux comportant une fraction argile+limon $\geq 50\%$ (n = 805).

Les teneurs en limon dans les sédiments marins sont calculées à partir de la fonction :

$$L = 0.82 (L + A) - 0.028 \text{ (quand } L+A > 0.50)$$

$$A = (L + A) - L$$

Avec :

- L : La concentration en limon recherché (en fraction massique : g limon / g sol).
- L+A : la fraction argile+limon connue (en fraction massique).
- A : La concentration en limon recherchée (en fraction massique : g argile / g sol).

2.3 Seuils réglementaires N1 et N2 pour les sédiments marins

Les concentrations réglementaires en composés traces dans les sédiments marins ou estuariens sont définies dans l'article 1^{er} de l'arrêté du 09 Août 2006¹¹. Ces concentrations appelées « seuils de qualité » N1 (entraînant en cas de dépassement des études complémentaires) et N2 (entraînant en cas de dépassement des études obligatoires de l'impact sur le site récepteur en cas de clapage en mer) concernent les métaux lourds (

Tableau 3) et des contaminants organiques (

Tableau 4).

¹¹ INERIS, 2009 : *Impacts sur les milieux aquatiques des sédiments de dragage gérés à terre : Problématique, contexte réglementaire, modélisation du transfert de contaminants organiques*. Rapport d'étude, INERIS-DRC-08-95306-16457A. BENARD A., HAZEBROUCK B., 26 juin 2010.

Tableau 3 : Seuils de qualité N1 et N2 des 8 métaux lourds réglementaires pour les sédiments marins et estuariens, d'après l'Arrêté du 9 Août 2006.

Paramètres	Seuil N1 (mg/kg)*	Seuil N2 (mg/kg)*
Métaux		
arsenic	25	50
cadmium	1.2	2.4
chrome	90	180
cuivre	45	90
mercure	0.4	0.8
nickel	37	74
plomb	100	200
zinc	276	552

*En mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction < 2 mm

Tableau 4 : Seuils de qualité N1 et N2 des contaminants organiques réglementaires (les 7 congénères de PCB et le tributylétain) pour les sédiments marins et estuariens, d'après l'Arrêté du 9 Août 2006.

Paramètres	Seuil N1 (mg/kg)*	Seuil N2 (mg/kg)*
PCB		
PCB 101	0.025	0.05
PCB 118	0.025	0.05
PCB 138	0.05	0.1
PCB 153	0.025	0.05
PCB 180	0.05	0.1
PCB 28	0.05	0.1
PCB 52	0.025	0.05
Organoétain		
tributylétain ¹²	0.1	0.4

*En mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction < 2 mm

La classification d'un échantillon est déterminée à partir de l'ensemble de paramètres présentés si dessus. dessus. La classification des échantillons, fonction des arrêtés, est présentée dans le

Tableau 5. Il n'existe pas à ce jour, de valeurs réglementaires pour les composés Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

¹² Ajout des seuils N1 et N2 pour le tributylétain par l'arrêté du 23 décembre 2009, complétant l'arrêté du 9 Aout 2006.

Tableau 5 : Conditions requises pour classer un échantillon selon les seuils réglementaires N1 et N2 de l'arrêté du 9 Août 2006

Classification de l'échantillon	Condition
≥ N2	1 paramètre ≥ N2
≥ N1	1 paramètre ≥ N1 Aucun paramètre ≥ N2
< N1	Tous les paramètres < N1

3. Résultats et discussion

3.1 Base générale

Les données de sédiments marins compilées à partir des informations du réseau REPOM et des projets PROPSSED et SEDIMARD s'échelonnent entre 1997 à 2009. Le nombre d'échantillons et de données par façade maritime et par région géographique est présenté au Tableau 1 (p15).

La base de données de sédiments marins comporte 27 538 données pour 818 échantillons. Ces dernières sont originaires principalement du réseau REPOM (97,5 % des données et 98,9 % des échantillons) et sont localisés sur les côtes atlantique et de la Manche pour 84,6 % des données. Le Réseau REPOM suit aussi la qualité des sédiments sur les côtes de la Méditerranée (106 échantillons) et en Guadeloupe (4 échantillons). D'autres données méditerranéennes existent dans le cadre du réseau mais ne sont pas obtenues et traitées ici.

Le projet PROPSSED ne regroupe que 2 échantillons pour un total de 128 données sur le port de Dunkerque, alors que le projet SEDIMARD regroupe 7 échantillons pour 7 ports de la région PACA (590 données).

La base de données regroupe 117 paramètres. Le nombre de données par paramètres est présenté dans le Tableau 6. La liste complète des paramètres est présentée en Annexe 3.

Tableau 6 : Nombre de données par caractéristique des sédiments marins.

Caractéristiques des paramètres	Nombre de données
Contaminants Inorganiques	7 841
Métaux ¹³	6 500
Métaux autres	1 341
Contaminants Organiques	12528
BTEX	35
HAP	7111
Hydrocarbures totaux	575
Organostanniques	1 087
Organométalliques	5
PCB	3 710
Pesticides phosphorés	3
Phénols	2
Microbiologiques	80
Tests bactériologiques	80
Lixiviation	177
Anions	36
Métaux	56
Métaux autres	44
Organostanniques	7
Divers	34
Physico-chimiques	1 911
Anions	17
Azote	316
Carbone COT	776
Siccité	733
Divers	69
Physique	5 001
Granulométrie	2 130
Granulométrie autres	2 759
Divers	112
Total général	27538

La répartition des données montre une prédominance des données sur les paramètres soumis à la législation sur la qualité des sédiments marins (métaux, PCB, organoétains) ainsi que des mesures d'HAP et des mesures de granulométrie. La présence, relativement importante, de mesures

¹³ La famille des « métaux » est représentée par les 8 métaux lourds : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel plomb et zinc. Tous les autres métaux sont classés comme « métaux autres ».

d'hydrocarbures et de paramètres physico-chimiques (COT, azote, et siccité) montre un suivi plus global de certains sédiments marins.

A noter le faible nombre de données de lixiviation, de tests bactériologiques et de certains contaminants organiques tels que les BTEX, pesticides et phénols, qui sont des paramètres étudiés dans les projets PROPOSED et/ou SEDIMARD.

3.2 Résultats

3.2.1 Analyses physico-chimiques

Dans ce rapport, les 31 paramètres suivants seront étudiés :

- Les 8 principaux contaminants métalliques ou métalloïdes (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) ;
- Les 7 congénères de PCB réglementaire, le tributylétain (TBT), les 16 HAP de l'US-EPA et les hydrocarbures totaux, pour représenter les contaminants organiques ;
- Le carbone organique total (COT) et l'azote Kjeldahl ;
- Les différentes fractions granulométriques (argiles, limons, sables) ;
- Les tests de lixiviation pour les 8 métaux lourds analysés et le TBT.

Des mesures statistiques de base, quantiles, et tests de normalités sont présentés dans le Tableau 7 pour les métaux, dans le Tableau 8 pour les PCB et le TBT, ainsi que dans le Tableau 9 pour les hydrocarbures, les HAP, la granulométrie et les paramètres physico-chimiques.

Tableau 7 : Statistiques descriptives des concentrations totales en métaux lourds.

Statistiques sur sédiment sec	Métaux							
	arsenic mg/kg	cadmium mg/kg	chrome mg/kg	cuivre mg/kg	mercure mg/kg	nickel mg/kg	plomb mg/kg	zinc mg/kg
Nombre de données	804	817	812	817	816	803	816	815
Données « manquantes »	13	0	5	0	1	14	1	2
Données ≤ LQ (%)	0.25	13.5	2.22	0.73	10.0	2.24	1.35	-
Moyenne	13.85	0.60	56.2	85.2	0.50	23.6	56.6	219
Écart-type (n)	9.22	0.92	46.7	161	4.39	21.2	78.2	249
Coefficient variation (%)	66.6	152	83.0	188	870	89.9	138	113.7
Minimum	0.09	3.00E-04	1.00	2.00	0.01	1.00	5.00	1.54
1%	2.32	0.06	3.00	3.00	0.02	4.00	7.16	30.2
10%	6.40	0.11	24.0	11.0	0.05	10.0	19.0	64.5
1er Quartile	9.20	0.20	36.0	20.0	0.08	14.0	27.0	99.8
Médiane	13.0	0.33	51.0	41.3	0.13	20.0	41.0	150
3ème Quartile	17.0	0.60	66.0	98.8	0.26	26.0	57.0	250
90%	21.0	1.10	80.0	185	0.53	33.0	98.7	441
99%	36.9	5.00	235	626	2.47	123	293	1 099
Maximum	196	8.60	636	2 651	112	214	1 340	3 493
Seuil N1	25	1.2	90	45	0.4	37	100	276
Seuil N2	50	2.4	180	90	0.8	74	200	552
Distribution normale	OUI	non	OUI	non	non	OUI	non	non

Distribution log-normale	non	non	non	OUI	non	non	non	non
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

En gras, les concentrations \geq aux valeurs seuils N1

En surligné, les concentrations \geq aux valeurs seuils N2

Les 8 métaux toxiques réglementaires sont mesurés pour l'ensemble des échantillons, avec très peu ou pas de données manquantes, et moins de 2% de données inférieures ou égales à la limite de quantification (LQ) pour la majorité des paramètres (sauf cadmium et mercure avec respectivement 13.5% et 10.0% de données \leq LQ). Toutes les concentrations médianes sont inférieures aux valeurs N1. Le cuivre présente plus de 25% des données supérieures au seuil N2, alors que ce pourcentage est de 1 à 10% pour l'ensemble des autres métaux (et de moins de 1% pour l'arsenic). Le cuivre est donc l'élément avec les concentrations les plus élevées dans les sédiments marins, relativement aux seuils N1 et N2, avec un maximum 30 fois supérieur à la valeur seuil N2.

Tableau 8 : Statistiques descriptives des concentrations en PCB et en tributylétain.

Statistiques sur sédiment sec	Contaminants Organiques							
	PCB 28 mg/kg	PCB 52 mg/kg	PCB 101 mg/kg	PCB 118 mg/kg	PCB 138 mg/kg	PCB 153 mg/kg	PCB 180 mg/kg	TBT mg/kg
Nombre de données	462	462	461	462	462	462	461	512
Données « manquantes »	355	355	356	355	355	355	356	305
Données \leq LQ (%)	78.1	70.1	61.0	60.8	53.2	52.4	59.0	20.5
Moyenne	0.011	0.015	0.020	0.018	0.026	0.028	0.021	1.006
Écart-type (n)	0.012	0.022	0.030	0.026	0.048	0.060	0.041	7.048
Coefficient variation (%)	105	148	151	146	185	211	199	701
Minimum	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	5.00E-06
1%	1.62E-05	4.12E-04	6.23E-04	8.47E-04	8.64E-04	7.94E-04	4.31E-04	2.79E-04
10%	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	0.005
1er Quartile	0.004	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.023
Médiane	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.115
3ème Quartile	0.010	0.010	0.020	0.020	0.021	0.025	0.020	0.392
90%	0.025	0.025	0.050	0.034	0.050	0.050	0.044	1.698
99%	0.050	0.100	0.170	0.145	0.250	0.299	0.232	11.6
Maximum	0.100	0.260	0.260	0.232	0.450	0.650	0.470	152
Seuil N1	0.025	0.25	0.05	0.025	0.05	0.05	0.025	0.1
Seuil N2	0.050	0.50	0.10	0.050	0.10	0.10	0.050	0.4
Distribution normale	non	non	non	non	non	non	non	non
Distribution log-normale	non	non	non	non	non	non	non	non

En gras, les concentrations \geq aux valeurs seuils N1

En surligné, les concentrations \geq aux valeurs seuils N2

Les 7 congénères réglementaires de PCB en France et le tributylétain (TBT) sont mesurés respectivement pour 56 % et 64 % des échantillons. Les concentrations en PCB sont relativement faibles au regard des seuils N1 et N2, avec des valeurs moyennes inférieures aux seuils N1, moins de 10 % des valeurs \geq N2 et plus d'une donnée sur deux inférieure ou égale à la LQ. La teneur en TBT dans les sédiments marins est plus problématique. Au regard de ces seuils la concentration moyenne et presque 25% des données sont supérieures au seuil N2. De même, plus d'un échantillon sur deux est supérieur au seuil N1. Les maxima anormalement élevés représentent 400 fois la valeur seuil N2.

Le dépassement de seuils N2 « *laisse présager un impact potentiel négatif lors d'une opération de clapage* »¹⁴.

Tableau 9 : Statistiques descriptives des concentrations en hydrocarbures et en HAP, des fractions granulométriques, et des paramètres physico-chimiques.

Statistiques sur sédiment sec	Contaminants Organiques		Granulométrie			Physico-chimie	
	HCT mg/kg	Somme 16 HAP mg/kg	argile %	limon %	sable %	COT mg/kg	azote Kjeldahl mg/kg
Nombre de données	575	487	710	710	710	772	316
Données « manquantes »	242	330	107	107	107	45	501
Données < LQ (%)	16.5	-	-	-	-	0.39	0.32
Moyenne	410	5.36	8.11	60.0	31.9	26 013	3 076
Écart-type (n)	863	16.1	7.76	20.1	21.4	20 536	2 591
Coefficient variation (%)	211	300	95.6	33.5	67.1	78.9	84.2
Minimum	1.00	0.001	0	0.10	0	41.0	200
1%	1.00	0.01	0.65	3.33	0	197	236
10%	9.90	0.31	1.90	29.6	7.00	3 100	1 172
1er Quartile	25.0	0.62	3.60	47.8	15.5	13 000	1 900
Médiane	100	1.49	5.71	63.0	27.3	25 000	2 900
3ème Quartile	391	3.96	10.2	75.8	44.5	34 000	3 500
90%	1 090	9.74	15.9	82.4	62.3	43 980	4 000
99%	4 525	72.8	46.1	89.7	89.6	105 840	15 000
Maximum	8 900	232	52.3	90.8	99.9	252 500	24 000
Seuil N1	-	-	-	-	-	-	-
Seuil N2	-	-	-	-	-	-	-
Distribution normale	non	non	non	non	non	non	non
Distribution log-normale	non	non	non	non	non	non	non

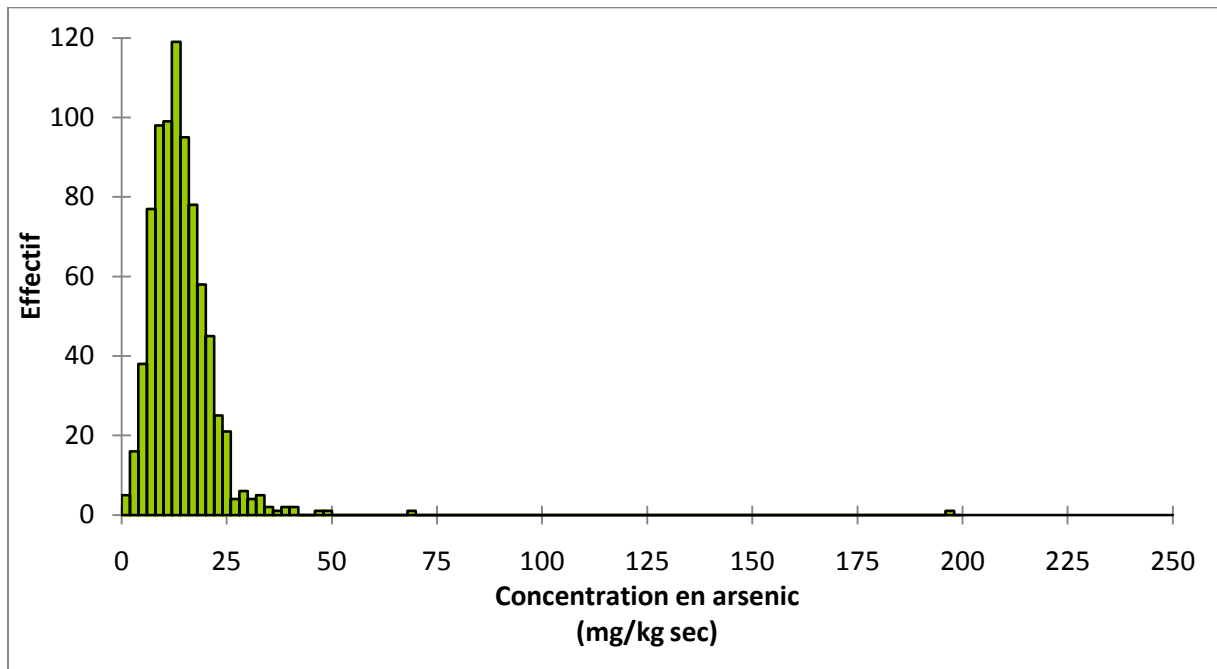
Les hydrocarbures totaux et les HAP, qui ne sont pas encore réglementés¹⁵ dans les sédiments marins, sont analysés pour 70 % et 60 % des échantillons, et présentent une grande variabilité de concentrations (coefficients de variations de 2,11 et 3,00).

Les résultats granulométriques sont très différents et affichent des teneurs en argile, en limon et en sable très variables (87 % des échantillons mesurés) du type très sableux au type argileux. Les paramètres physico-chimiques, représentés par le COT et l'azote Kjeldahl sont étudiés pour 94 % et 38 % des échantillons, avec des valeurs médianes de 2,5 % de COT et de 0,3 % d'azote.

¹⁴ Arrêté du 09/08/2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993. (J.O n° 222 du 24 septembre 2006).

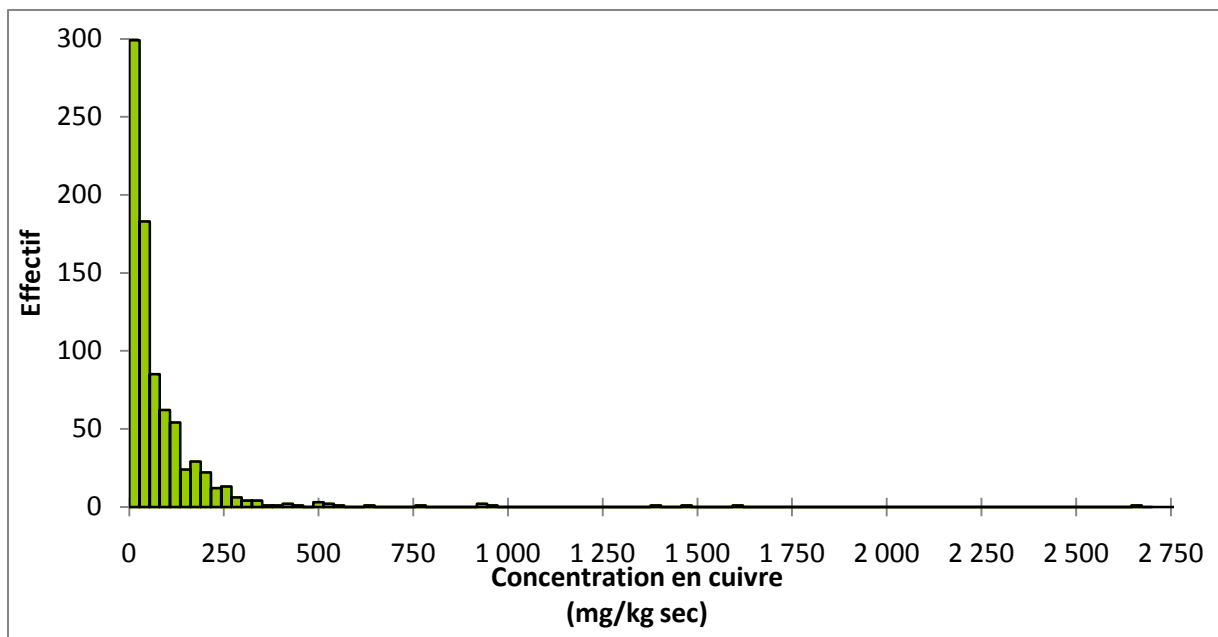
¹⁵ Selon l'arrêté du 9 Aout 2006 et l'arrêté du 23 décembre 2009, qui définissent des seuils de qualité de contaminants organiques uniquement pour les PCB totaux, les 7 congénères réglementaires de PCB, et le tributylétain.

La distribution des concentrations par polluant est normale (gaussienne) pour l'arsenic, le chrome et le nickel (distribution des concentrations en arsenic présenté dans la Figure 2). Le cuivre montre une distribution log-normale (Figure 3). Pour l'ensemble des autres paramètres, les distributions sont asymétriques : prédominance des valeurs faibles et présence de quelques valeurs extrêmes (exemple du zinc à la Figure 4 et du PCB 52 à la Figure 5), ce qui est couramment observé dans les données environnementales.



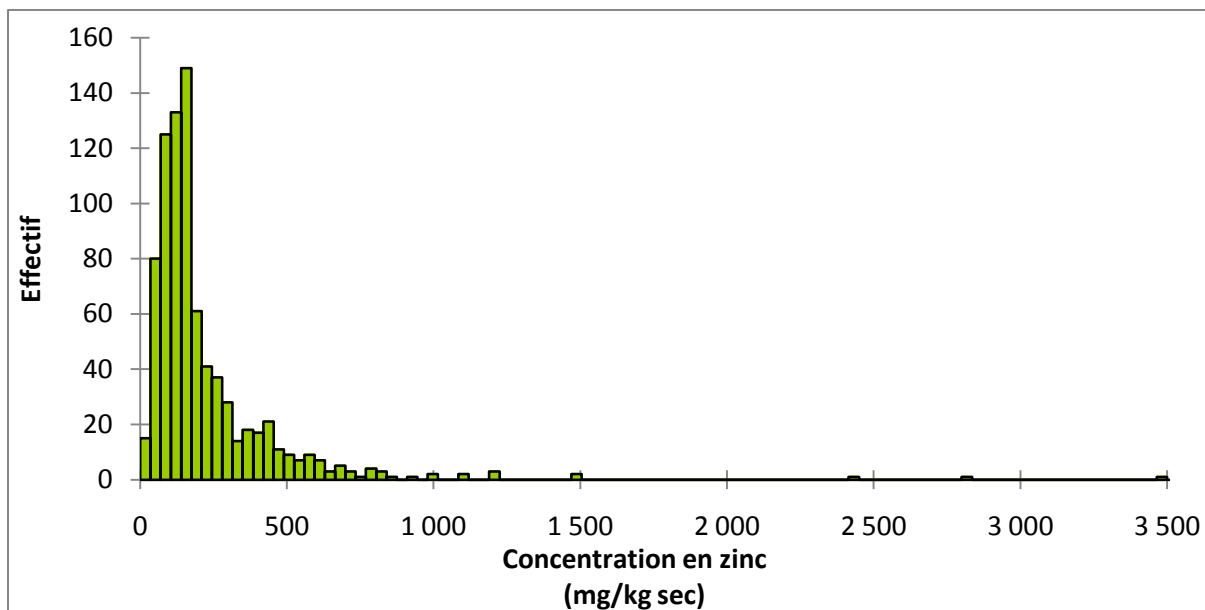
Note : Seuil N1=25 mg/kg et N2=50 mg/kg

Figure 2 : Histogramme de distribution gaussienne (distribution normale) de la concentration en arsenic des sédiments marins.



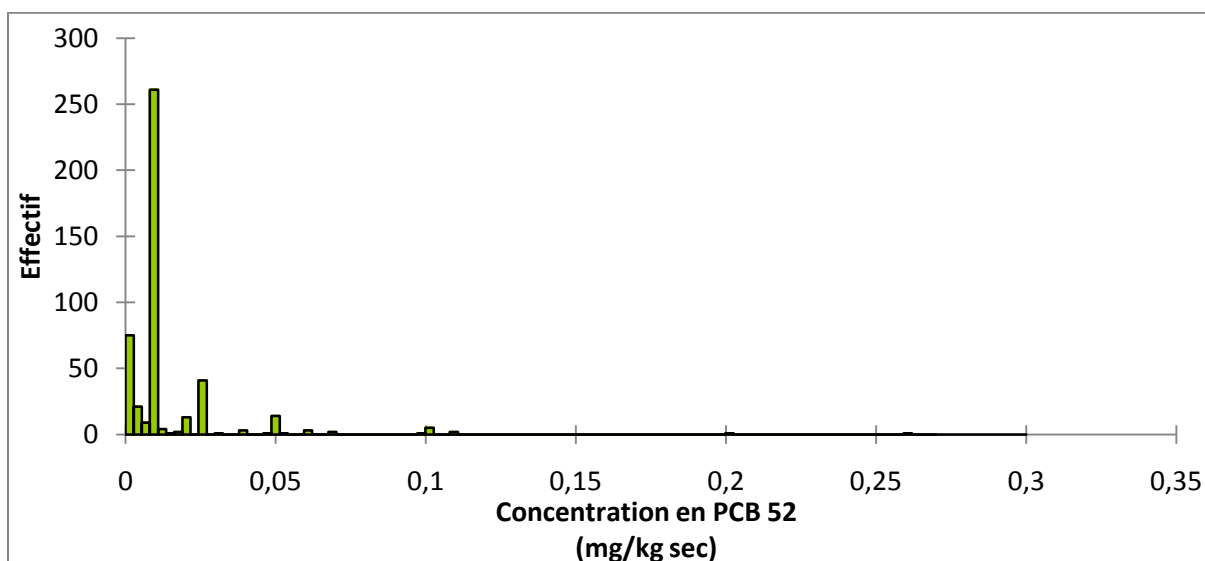
Note : Seuil N1=45 mg/kg et N2=90 mg/kg

Figure 3 : Histogramme de distribution log-normale de la concentration en cuivre des sédiments marins.



Note : Seuil N1= 0,25 mg/kg et N2=0.50 mg/kg

Figure 4 : Histogramme de distribution (non normale) de la concentration en zinc des sédiments marins.



Note : Seuil N1= 0,25 mg/kg et N2=0.50 mg/kg

Figure 5 : Histogramme de distribution (non normale) de la concentration en PCB 52 des sédiments marins.

La Figure 2, la Figure 3 et la Figure 4 mettent en évidence un regroupement des données sur des concentrations relativement faibles, et un petit nombre de points avec de fortes concentrations (jusqu'à 400 fois plus grandes). Les PCB (Figure 5) sont caractérisés par des limites de quantification (LQ) différentes selon les origines géographiques et les années (fonction des laboratoires d'analyses), et un taux de données \leq LQ très important. Il en résulte une distribution non normale. Dans le cas du PCB 52, les LQ sont représentées par des plages de concentrations avec des effectifs très nombreux, entourées par des plages avec peu ou pas d'effectifs.

3.2.2 Essais de lixiviation

Des données de lixiviation sont disponibles pour les 7 ports du projet SEDIMARD. Les résultats pour les 8 métaux lourds étudiés et le TBT sont exprimés en mg de métal lixiviable par kg de matière sèche de sédiment et comparés aux seuils d'acceptation en Installation de Stockage pour Déchets Inertes (ISDI)¹⁶ (Tableau 10).

Tableau 10 : Statistiques descriptives pour les tests de lixiviations des 8 métaux lourds et pour le TBT.

Statistiques	Lixiviation								
	arsenic	cadmium	chrome	cuivre	mercure	nickel	plomb	zinc	TBT
sur sédiment sec	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Nombre de données	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Données « manquantes »	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Données < LQ (%)	71%	86%	57%	100%	14%	100%	57%	100%	57%
Moyenne	0.087	0.0032	0.078	0.030	0.0009	0.030	0.023	0.030	0.0001
Écart-type (n)	0.092	0.0018	0.087	0	0.0004	0	0.004	0	0.0003
Coefficient variation (%)	105	57.0	112	0	38.9	0	18.9	0	101
Minimum	0.030	0.0003	0.030	0.030	0.0007	0.030	0.020	0.030	0.00004
1%	0.030	0.0005	0.030	0.030	0.0007	0.030	0.020	0.030	0.00004
10%	0.030	0.0022	0.030	0.030	0.0007	0.030	0.020	0.030	0.00008
1er Quartile	0.030	0.0023	0.030	0.030	0.0007	0.030	0.020	0.030	0.00009
Médiane	0.030	0.0030	0.030	0.030	0.0008	0.030	0.020	0.030	0.00010
3ème Quartile	0.073	0.0030	0.053	0.030	0.0008	0.030	0.022	0.030	0.00038
90%	0.218	0.0042	0.161	0.030	0.0012	0.030	0.029	0.030	0.00069
99%	0.256	0.0067	0.268	0.030	0.0017	0.030	0.030	0.030	0.00093
Maximum	0.260	0.0070	0.280	0.030	0.0018	0.030	0.030	0.030	0.00096
Seuil ISDI	0.500	0.040	0.500	2.000	0.010	0.400	0.500	4.000	-
Distribution normale	non	non	non	non	non	non	non	non	non
Distribution log-normale	non	non	non	non	non	non	non	non	non

En gras, les concentrations > aux valeurs seuil ISDI

Plus d'1 échantillon sur 2 est inférieur à la LQ pour l'ensemble des paramètres, sauf pour le mercure avec 6 données sur 7 qui sont quantifiable. Les valeurs moyennes sont supérieures ou égales aux valeurs médianes. L'ensemble des données sont inférieures aux valeurs réglementaires pour le stockage en décharge des déchets inertes.

Des tests de corrélations entre concentrations lixiviables et concentrations totales par paramètre ne sont pas fiables de par le peu d'observations recensés (7 données par paramètre). Les concentrations lixiviables en fonction des concentrations totales sont données à titre informatif en Annexe 1.

¹⁶ Valeur réglementaire applicable selon l'arrêté du 15 mars 2006 sur le stockage en décharge pour déchets inertes.

3.2.3 Variations temporelles des concentrations par lieu

Les concentrations sont-elles stables au cours du temps ?

3.2.3.1 Disponibilité des séries chronologiques inter-annuelles

La Figure 6 présente le suivi chronologique des données du réseau de surveillance REPOM par façade maritime. Les données issues des projets PROPSÉD et SEDIMARD, récoltés une seule année pour deux lieux de prélèvement ne sont pas prises en compte dans ce graphique.

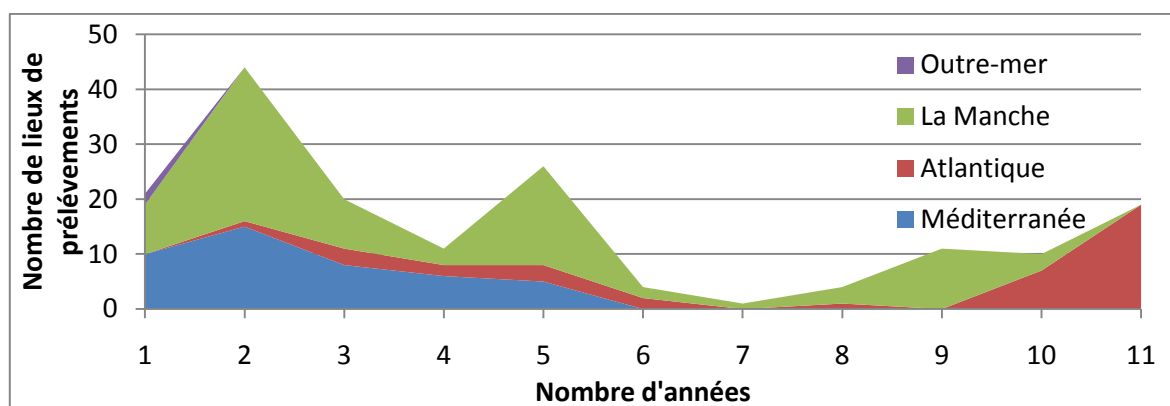


Figure 6 : Distribution du nombre d'années de prélèvement par lieu de prélèvement des données du réseau REPOM par façade maritime.

La fréquence d'échantillonnage, sur les 161 lieux de prélèvements répertoriés et étudiés par le réseau REPOM, présente des différences temporelles selon leur origine géographique. Le suivi pour la façade méditerranéenne s'effectue sur une période comprise entre 1 et 5 ans, alors que les ports et les lieux de prélèvements situés sur la façade Atlantique sont les plus suivis, entre 10 et 11 ans pour la majorité des lieux de prélèvements. Le suivi de la façade de La Manche est plus contrasté (Figure 7), avec des différences importantes selon les régions. Les données recueillies dans le Nord-Pas-de-Calais sont plus complètes que celles recueillies en Bretagne et en Normandie. Les analyses recueillies sur les 2 ports de Guadeloupe ne sont effectuées qu'une seule année et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une étude temporelle.

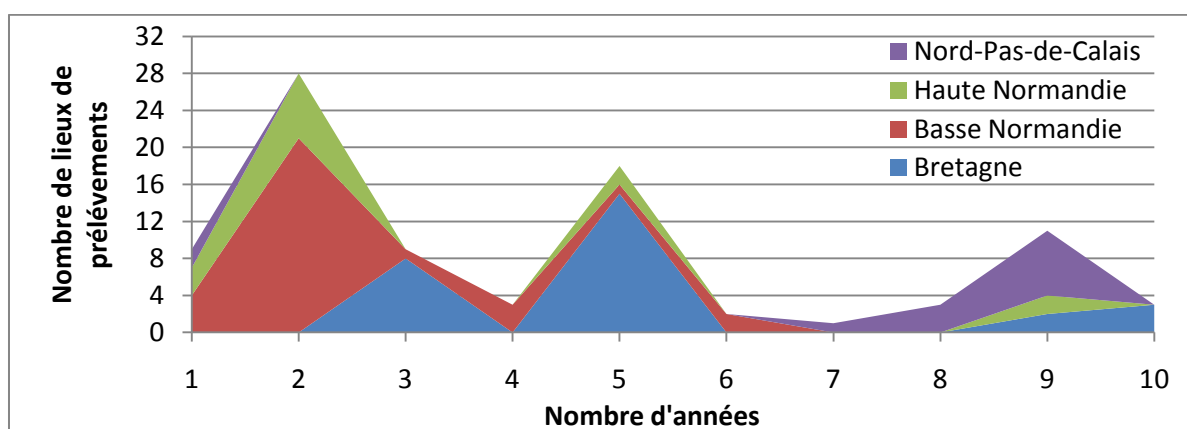
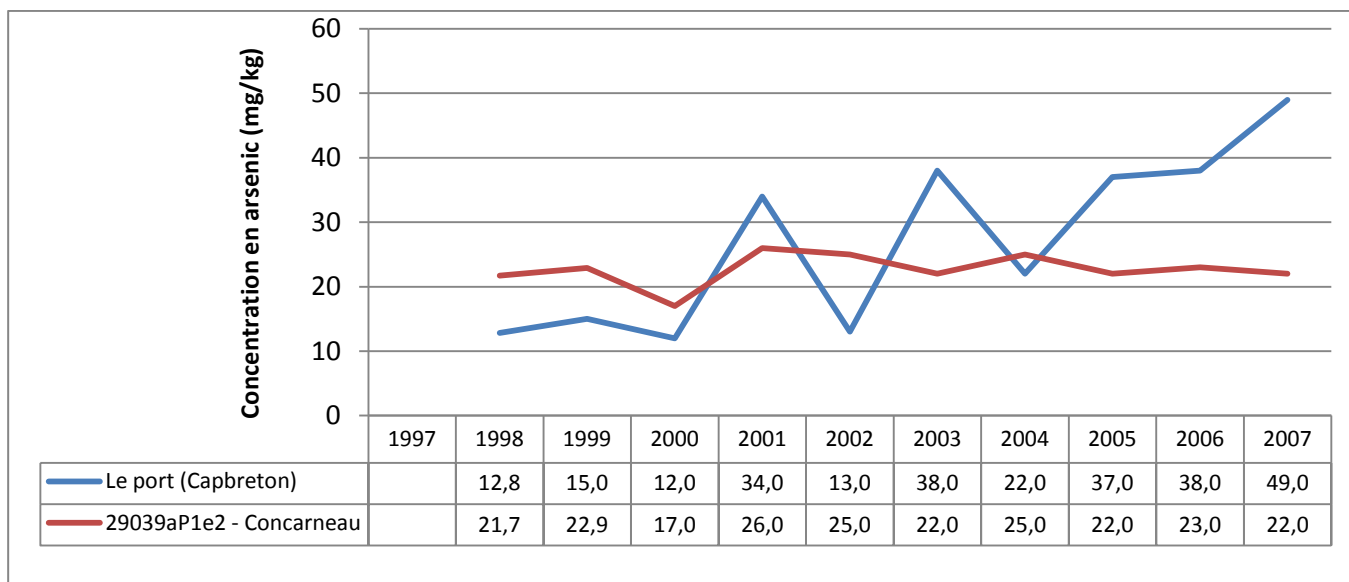


Figure 7 : Distribution du nombre d'années de prélèvement par lieu de prélèvement des données de la façade de La Manche par région, pour les données du réseau REPOM.

3.2.3.1 Variations temporelles des concentrations par lieu

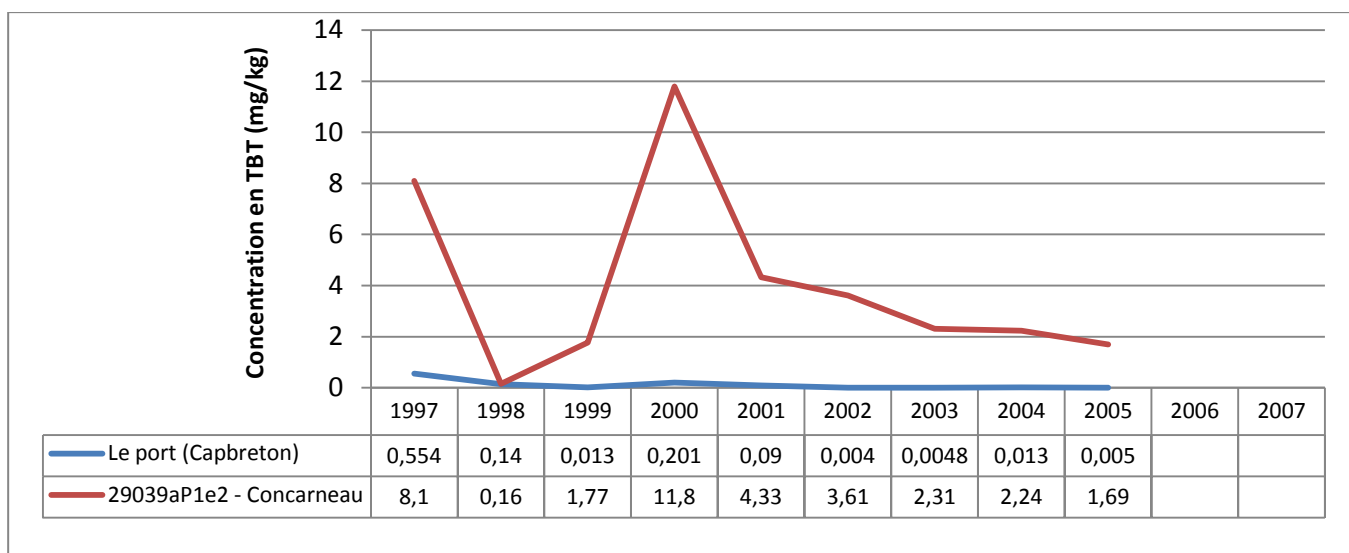
A titre d'exemple, nous présentons la variation inter-annuelle de la concentration en arsenic (Figure 8) et tributylétain (Figure 9) pour deux lieux de prélèvements :

- Le port du Capbreton en Aquitaine ;
- Le port de Concarneau, en face du chantier, en Bretagne.



Note : Seuil N1=25 mg/kg et N2=50 mg/kg

Figure 8 : Variabilité interannuelle de la teneur en arsenic (mg/kg) pour le port de Capbreton sur la façade atlantique et le port de Concarneau situé sur La Manche.



Note : Seuil N1=0.1 mg/kg et N2=0.4 mg/kg

Figure 9 : Variabilité interannuelle de la teneur en tributylétain (mg/kg) pour le port de Capbreton sur la façade atlantique et le port de Concarneau situé sur La Manche.

La Figure 8 et la Figure 9 montrent que les concentrations de contaminants en un lieu peuvent être stables ou variables, et que chaque contaminant a sa propre évolution. Le port du Capbreton présente une forte variabilité en arsenic mais est relativement stable en TBT, alors que le port de Concarneau présente un comportement inverse. Pour les ports du Capbreton et de Concarneau, il y a respectivement 5 et 1 années avec des concentrations en arsenic strictement supérieures au seuil N1, mais on ne retrouve pas de dépassement du seuil N2 pour les deux ports en question. Le port de Capbreton présente 2 concentrations en TBT comprises entre N1 et N2 et 1 concentration supérieure à N2, alors que le seuil N2 est dépassé pour 8 des 9 mesures du port de Concarneau (concentration de 5 à 30 fois supérieures au seuil N2). Ces variations annuelles de teneurs mesurées rendent difficile le classement réglementaire des ports par les gestionnaires de sites, et expliquent peut-être l'absence d'étude détaillée sur ces données.

Pour ces deux lieux, les concentrations en arsenic et en TBT ne sont pas mesurées sur la même période. L'arsenic est suivi entre 1998 et 2007, alors que le TBT est suivi entre 1997 et 2005. Les campagnes de mesure recueillies par le réseau REPOM ne semblent donc pas spatialement et temporellement homogènes.

La variation inter-annuelle pour un paramètre peut être estimée à partir du coefficient de variation (rapport écart-type sur moyenne) des concentrations annuelles pour chaque lieu de prélèvement (Figure 10 à Figure 20).

Métaux :

Pour l'ensemble des paramètres, des coefficients de variation (CV) très différents peuvent être observés pour un même lieu, et jusqu'à 300 % pour le mercure.

Pour l'arsenic (Figure 10), le chrome (Figure 12), le nickel (Figure 15) et le zinc (Figure 17), nous retrouvons un CV < 20 % pour 50% des lieux de prélèvements. Les variations au cours des années sont donc moins importantes pour ces paramètres. Le cadmium (Figure 11) et le mercure (Figure 14) présentent de fortes variations de concentration (CV > 40 % pour 50 % des lieux).

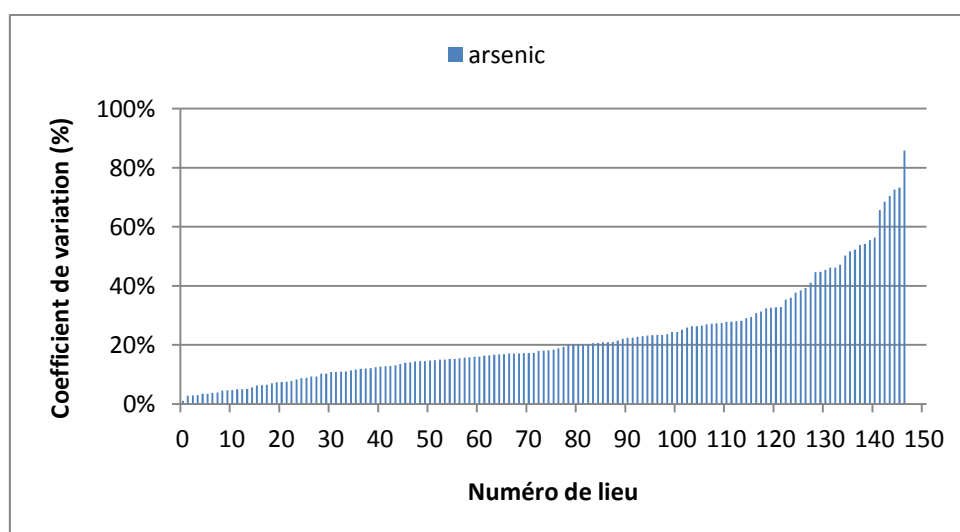


Figure 10 : Coefficient de variation par lieu pour l'arsenic.

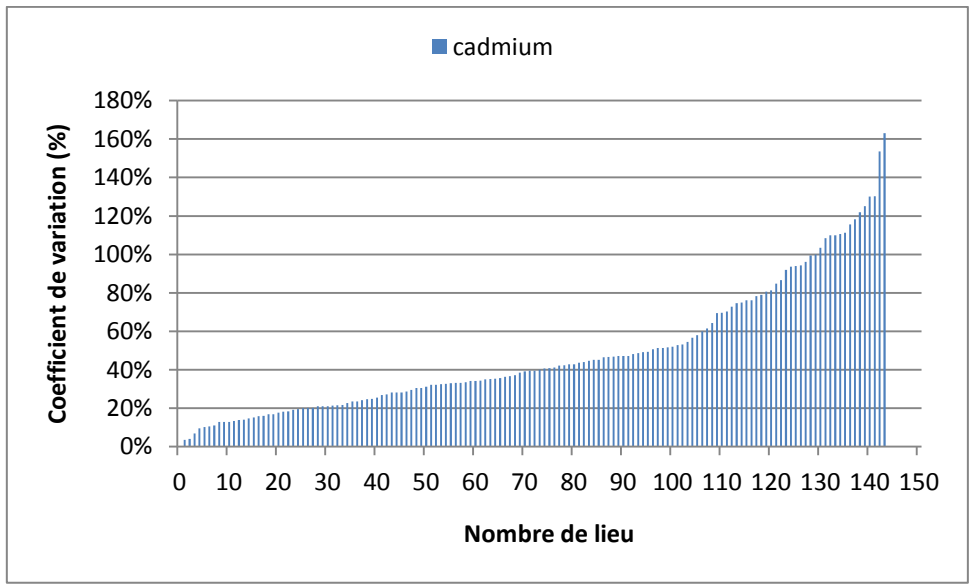


Figure 11 : Coefficient de variation par lieu pour le cadmium.

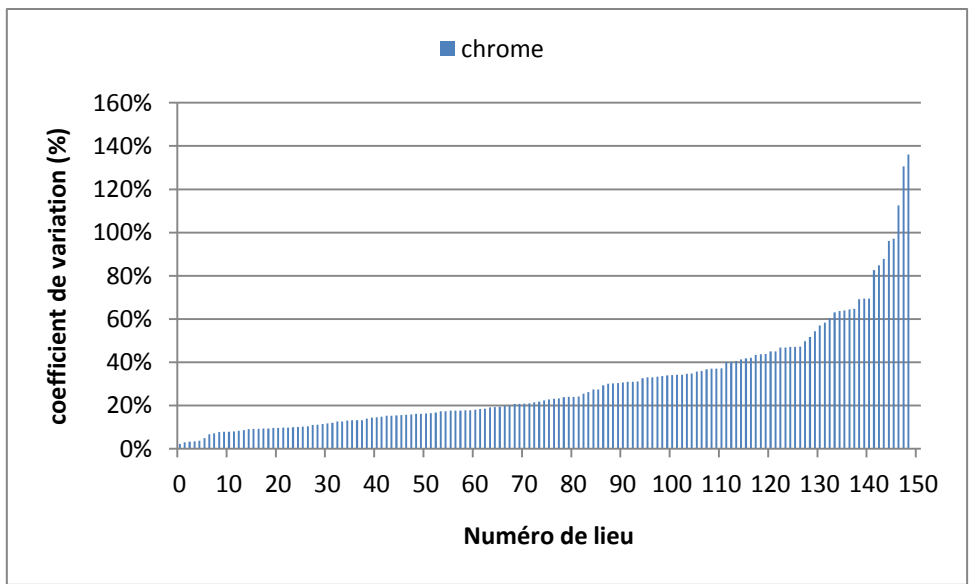


Figure 12 : Coefficient de variation par lieu pour le chrome.

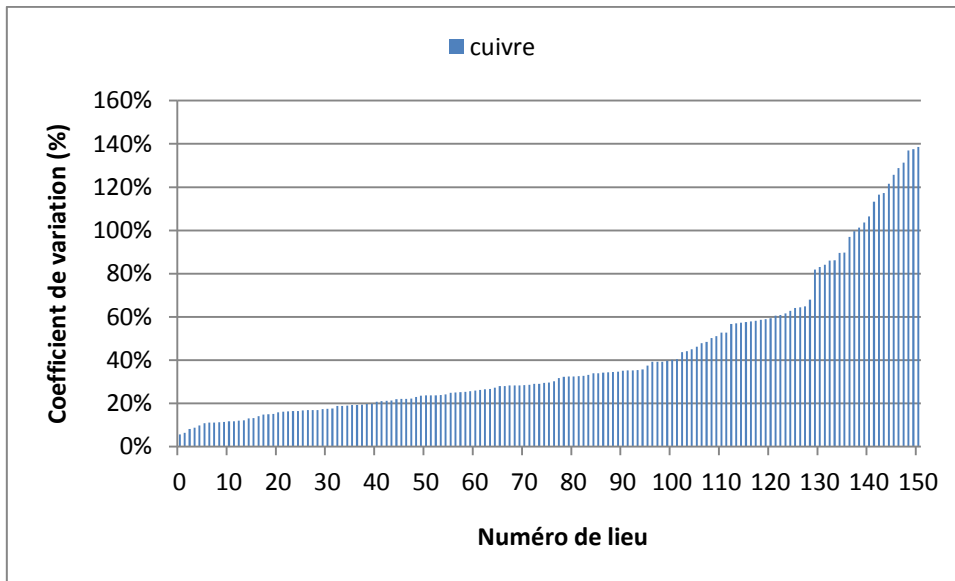


Figure 13 : Coefficient de variation par lieu pour le cuivre.

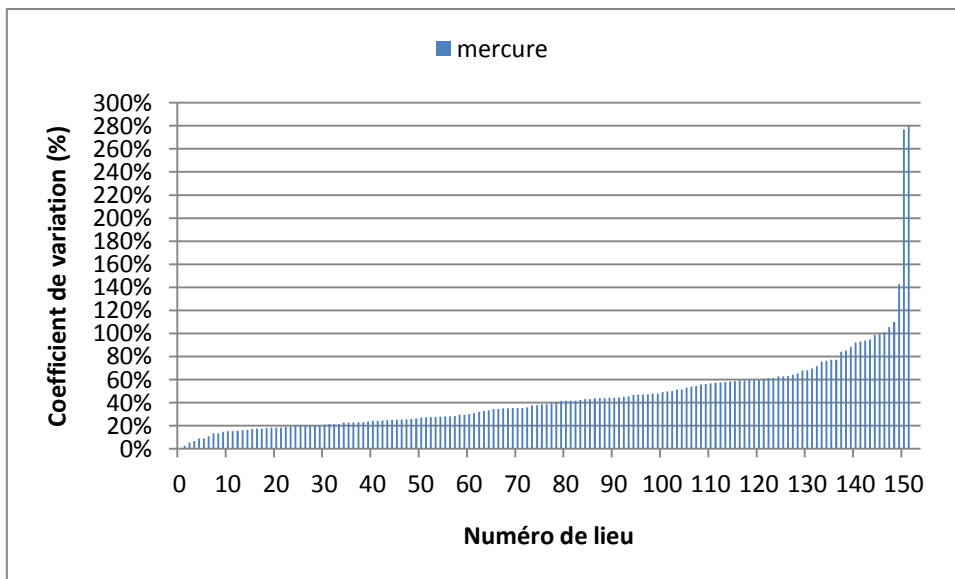


Figure 14 : Coefficient de variation par lieu pour le mercure.

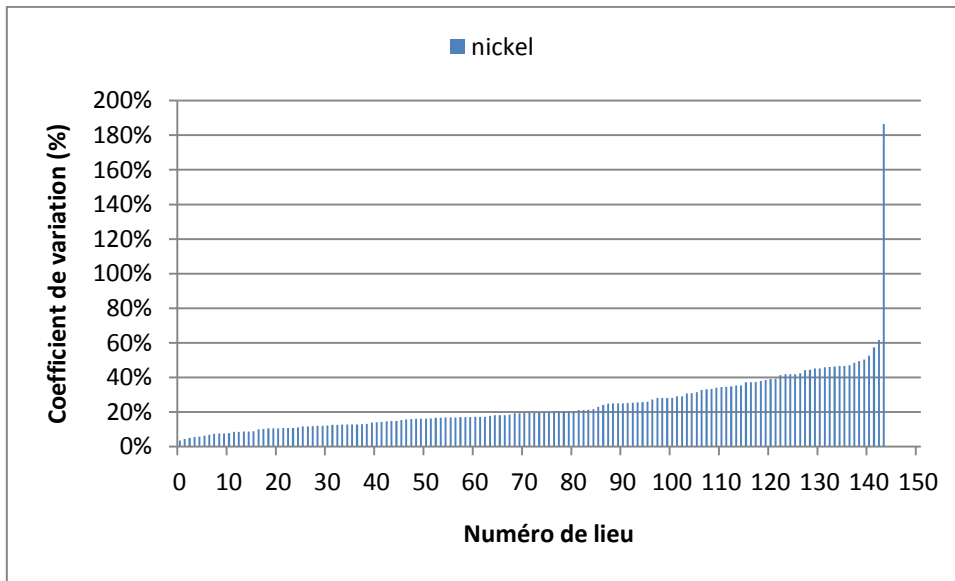


Figure 15 : Coefficient de variation par lieu pour le nickel.

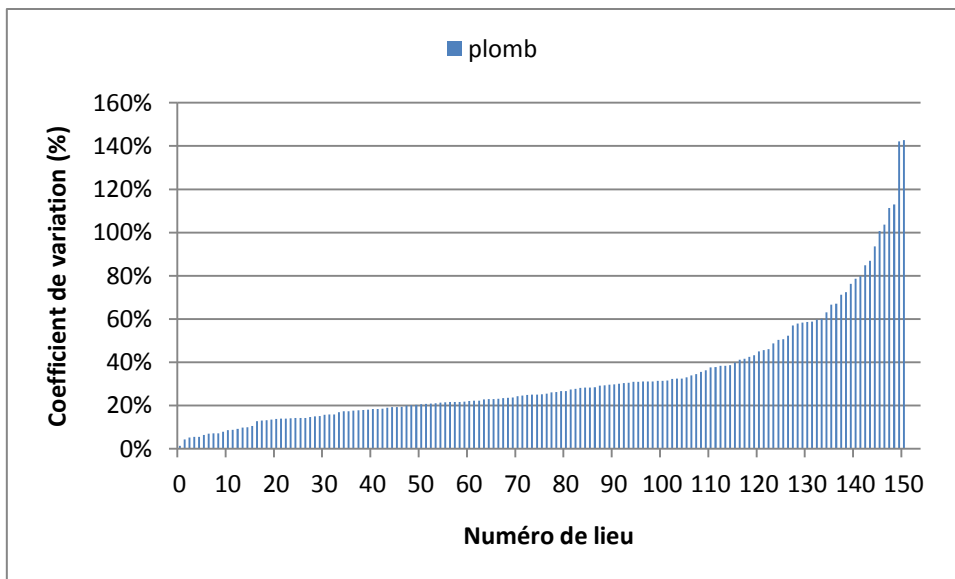


Figure 16 : Coefficient de variation par lieu pour le plomb.

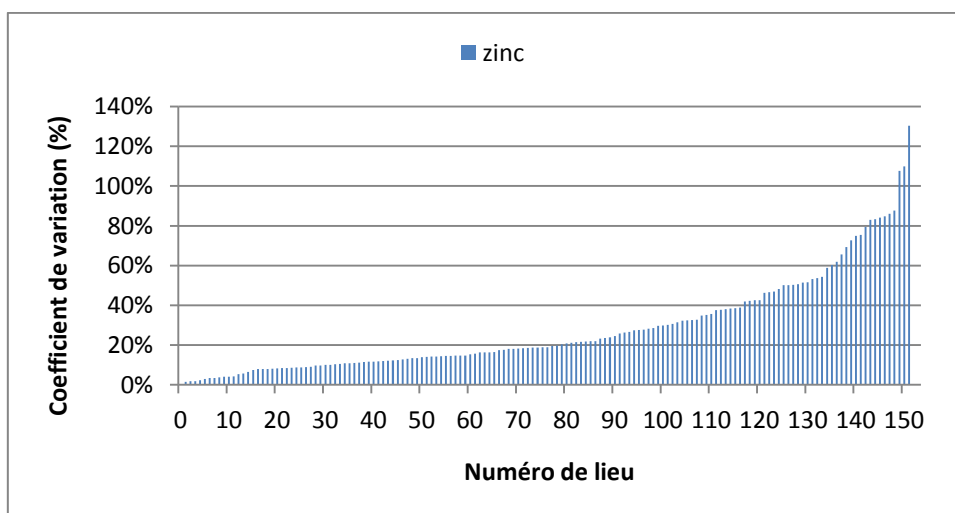


Figure 17 : Coefficient de variation par lieu pour le zinc.

Contaminants organiques :

Les 7 PCB présentent des CV similaires, avec pour 10 % des lieux de prélèvements des CV nuls lorsque les résultats analytiques sont inférieurs à la limite de quantification¹⁷. A titre d'illustration, les congénères les moins chlorés et les plus chlorés sont présentés respectivement Figure 18 et Figure 19.

A la différence des métaux, le coefficient de variation augmente très vite (CV < 20 % pour environ 20 % des lieux et CV > 60 % pour 50 % des lieux), avec de fortes variations inter-annuelles.

Le TBT (Figure 20) présente des variations de concentrations au cours des années très importantes (CV < 20 % pour environ 10 % des lieux et CV > 90 % pour 50 % des lieux).

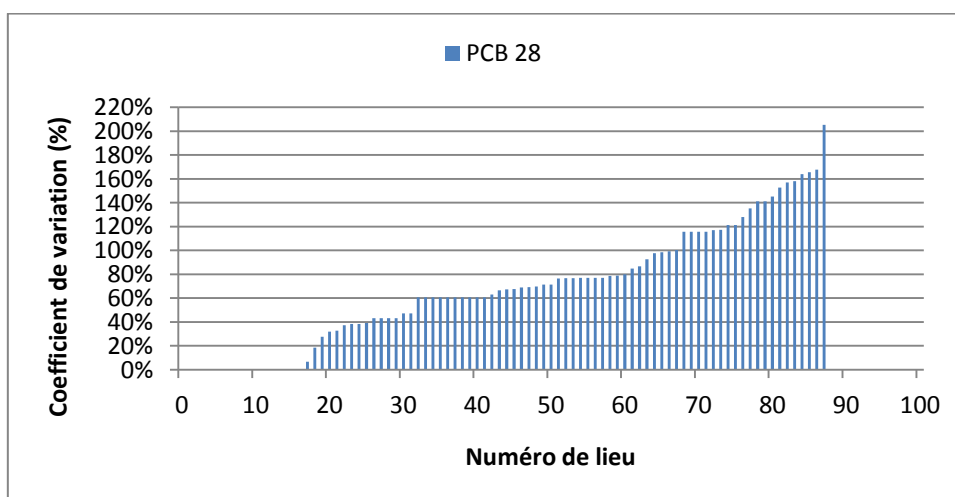


Figure 18 : Coefficient de variation par lieu pour le PCB 28.

¹⁷ En cas de valeurs \leq LQ, la LQ est utilisée comme concentration. La non détection des PCB dans un lieu s'exprime par des LQ pour l'ensemble des mesures souvent identiques et donc un CV nul ou très faible.

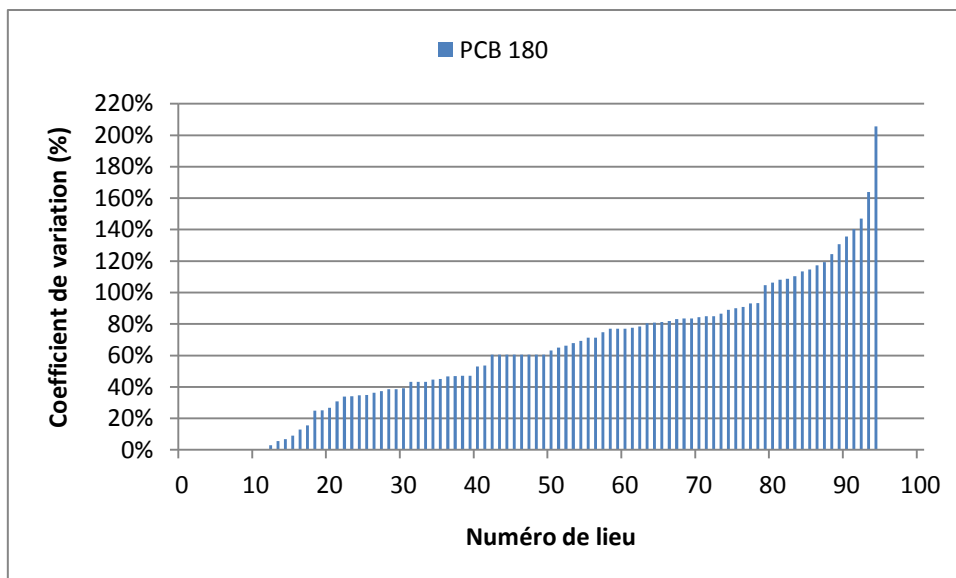


Figure 19 : Coefficient de variation par lieu pour le PCB 180.

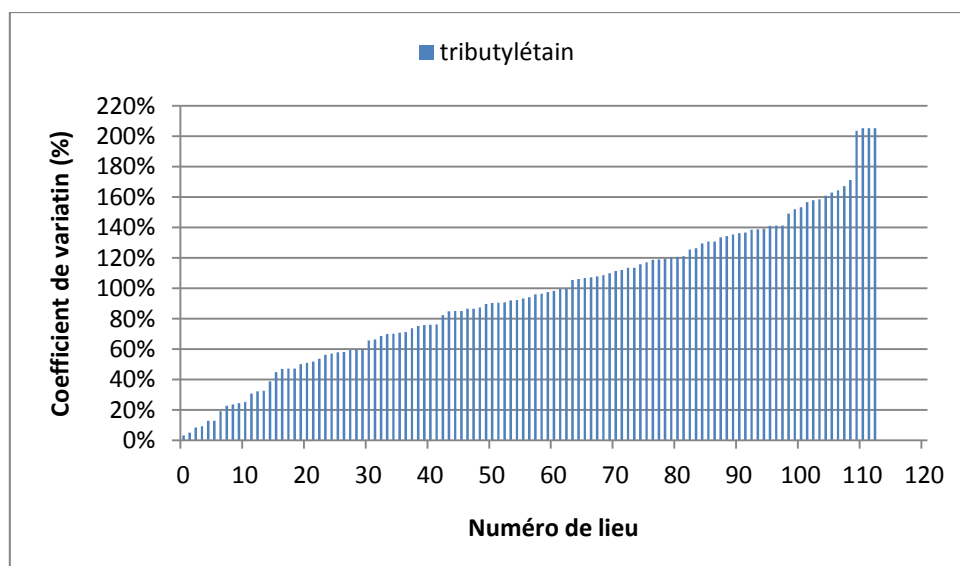


Figure 20 : Coefficient de variation par lieu pour le TBT.

Conclusion : les concentrations en un même lieu sont donc très variables au cours des années selon les paramètres analysés et les lieux de prélèvement et dépendent probablement de nombreux facteurs environnementaux¹⁸. Des composantes géographiques et d'hydrodynamique (non disponibles dans la base à ce jour) pourraient éventuellement expliquer la variabilité inter-annuelle des concentrations.

¹⁸ L'activité du port et du bassin versant amont le cas échéant, les dragages, les effets de marée, la météo, et la granulométrie font partie des facteurs pouvant expliquer les variations de concentrations d'une année sur l'autre.

3.2.3.1 Disponibilité des séries chronologiques intra-annuelles

La Figure 21 présente le nombre d'échantillons et le nombre de lieux par année. Un échantillon est un ensemble de paramètres mesurés en un lieu et à une date d'échantillonnage.

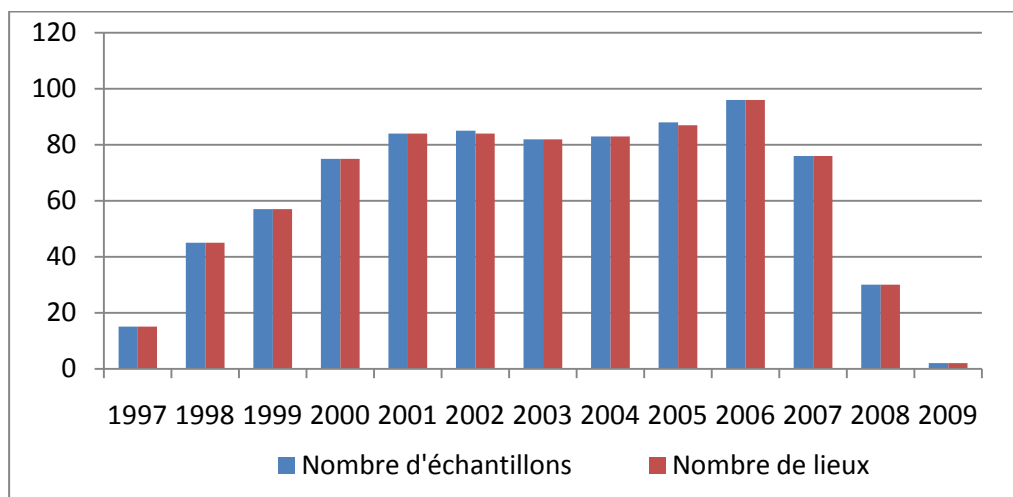


Figure 21 : Nombre d'échantillons annuels par lieu et nombre de lieux échantillonné pour différentes années (ensemble de la base de données).

Les campagnes disponibles sont effectuées entre 1997 et 2009, avec un nombre de lieux et d'échantillons supérieur entre 2000 et 2007. On voit que sauf en 2002 et 2005 (1 et 2 lieux échantillonnés deux fois), **chaque lieu est mesuré une fois par an** entre 1997 et 2009.

Conclusion sur la variabilité intra ou inter-annuelle :

Les ports étudiés par le réseau REPOM sont suivis au cours du temps, ce qui n'est pas le cas des données PROPSÉD et SEDIMARD. La confrontation des données issues de 118 lieux différents a mis en évidence une **importante variation des concentrations en contaminants pour un même lieu au cours des années pour les métaux (cadmium, cuivre, mercure et zinc), les PCB et le TBT**. Lorsque un contaminant n'est pas présent (concentration de la série chronologique inférieures ou égales aux limites de quantification), le coefficient de variation est nul.

L'absence de plusieurs campagnes de mesures sur une même année ne permet pas l'étude de la variabilité intra-annuelle.

3.2.4 Variations géographiques

3.2.4.1 Informations géographiques disponibles

Il est possible de regrouper les lieux de prélèvement selon leur origine géographique à différentes échelles : façade maritime, région, département, commune, port, ainsi que par coordonnées Lambert II étendue.

Nous étudions ici la variabilité géographique des concentrations en contaminants par façade maritime, par région et par département uniquement, afin de garder une vision globale des données.

3.2.4.2 Concentrations médianes en contaminants par département

Le nombre de données par paramètre et par département est très variable. La Figure 22 rappelle le nombre moyen de données par paramètre et par département, qui permet d'avoir une idée plus précise sur la représentativité des données.

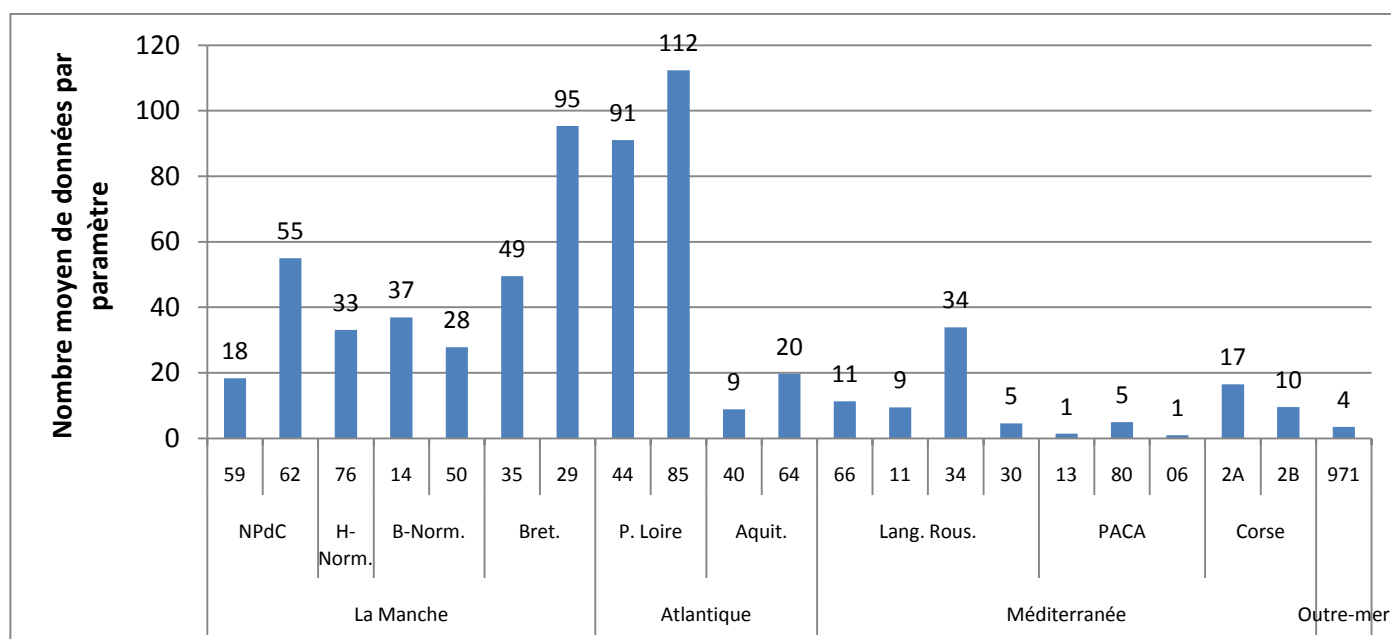


Figure 22 : Nombre moyen de données par paramètre, en fonction de l'origine géographique des données.

Les régions du Nord de la France regroupent le plus de données, et plus particulièrement les départements de la façade de la Manche et de la région Pays de la Loire (entre 30 et 112 données par paramètre).

Par comparaison, les régions du Sud (Aquitaine et les façades méditerranéennes) sont moins fournies en données (une moyenne de 2 mesures par paramètre pour la Provence Alpes Côtes d'Azur et 14 pour l'Aquitaine).

Le faible nombre de données pour les départements du sud de la France relativise les interprétations qui suivent, alors que la représentativité pour les Régions du nord est bien établie.

Les teneurs en contaminants sont présentés ici graphiquement par les valeurs médianes des départements. La comparaison des concentrations en métaux aux seuils N1 et N2 est présentée de la Figure 23 à la Figure 30. Les concentrations en contaminants organiques, les 7 PCB réglementaires, le TBT, les HCT et les HAP, sont présentés dans les Figure 31, Figure 32, Figure 33 et Figure 34. Les paramètres physico-chimiques (granulométrie, COT et azote Kjeldahl) sont présentés de la Figure 35 à la Figure 37. Un tableau récapitulatif des concentrations médianes par paramètre et par département est présenté en Annexe 4.

Métaux :

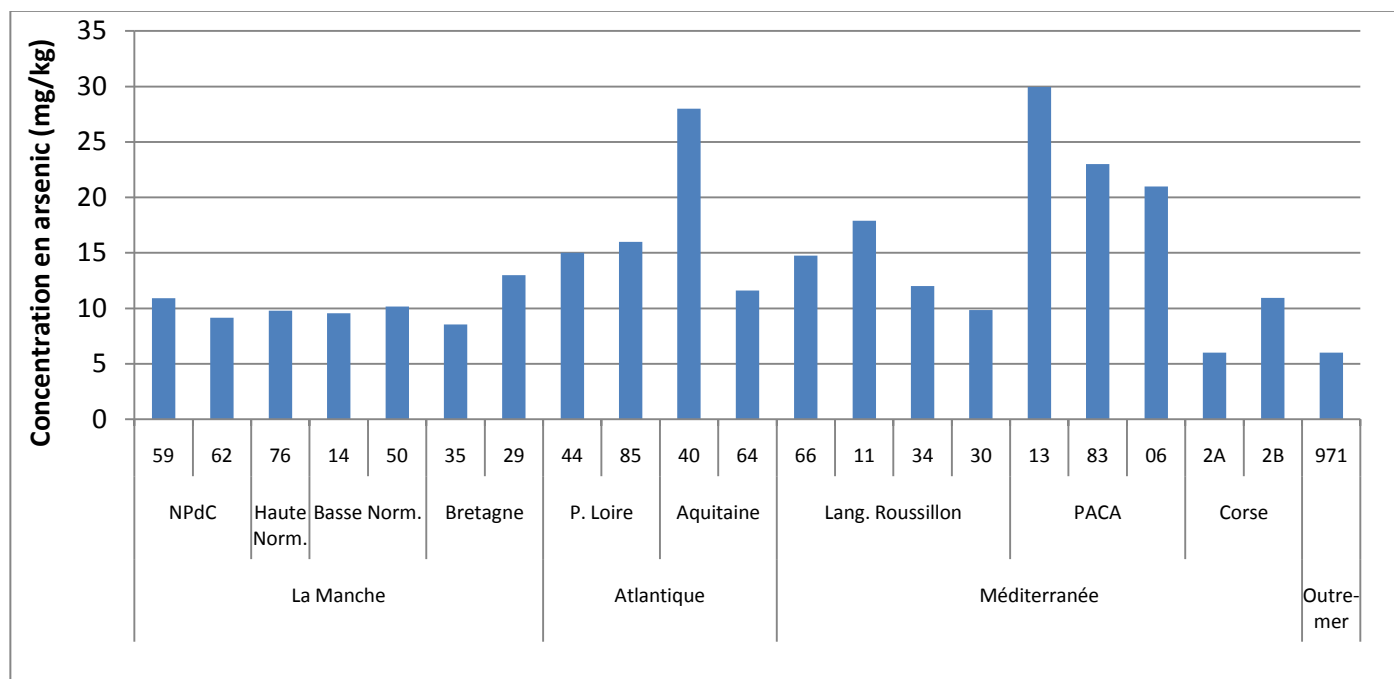


Figure 23 : Concentrations médianes en arsenic (mg/kg MS) par département.

Les concentrations médianes en arsenic sont comprises entre 5 et 20 mg/kg pour l'ensemble des départements, avec les teneurs médianes les plus faibles en Corse du Sud (2A) et en Guadeloupe (971). Les concentrations les plus élevées sont rencontrées en Région PACA et dans le département des Landes (40). Les concentrations en arsenic dans les Bouches-du-Rhône (29,9 mg/kg) et dans les Landes (28 mg/kg) sont supérieures au seuil N1 (25 mg/kg).

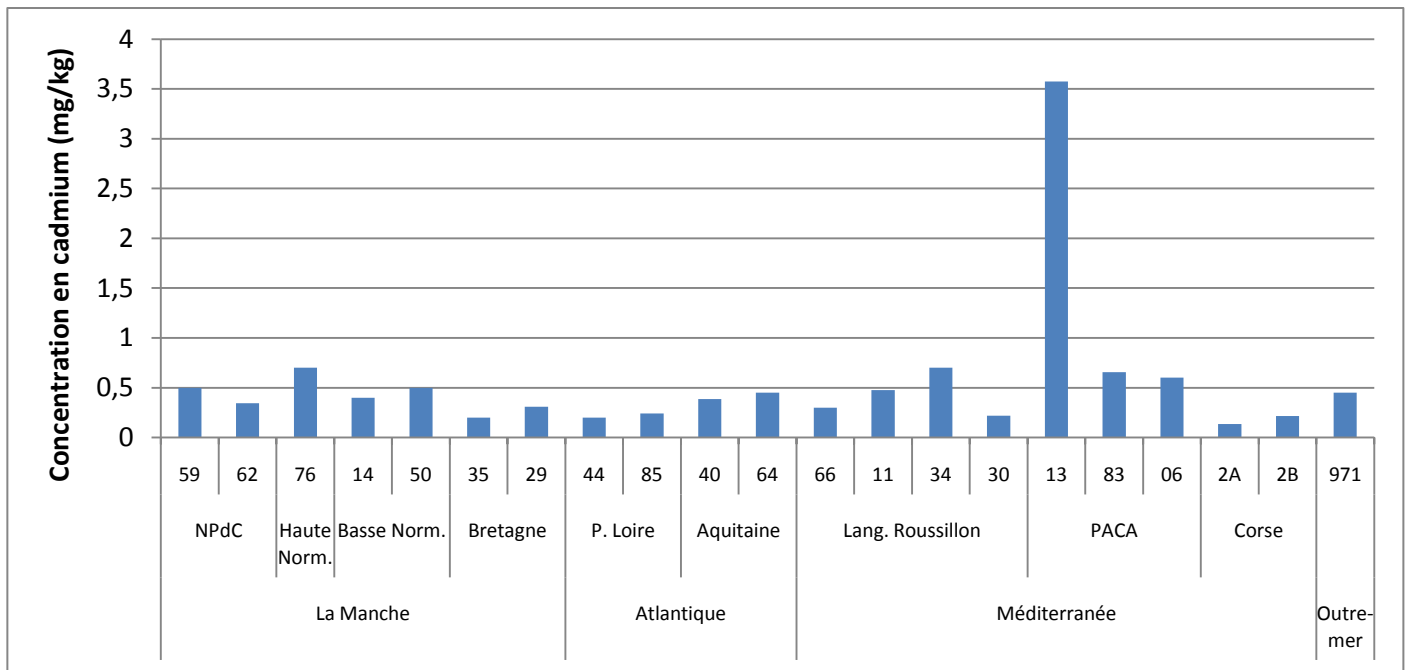
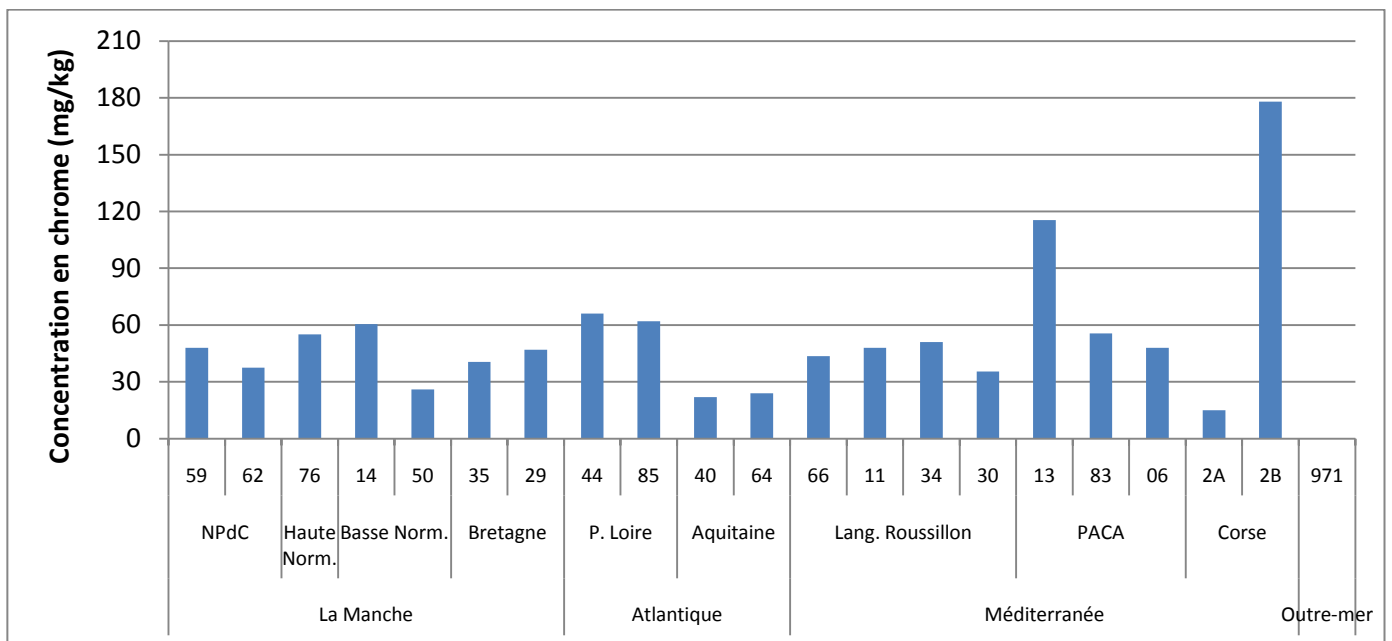


Figure 24 : Concentrations médianes en cadmium (mg/kg MS) par département.

Le seuil N1 en cadmium (1,2 mg/kg) est dépassé uniquement pour le département des Bouches-du-Rhône (13) avec une concentration médiane de 3,58 mg/kg. Cette concentration est aussi supérieure au seuil N2=2,4 mg/kg. Le Département des Bouches-du-Rhône ne regroupe que 2 mesures sur le Port autonome de Marseille¹⁹ (l'activité importante du Port autonome de Marseille peut expliquer la forte concentration médiane mise en exergue, ainsi que pour les autres polluants étudiés ci-après). Pour l'ensemble des autres Départements, les médianes sont inférieures à 0,7 mg/kg.



¹⁹ Le port de Marseille-Fos est le 1^{er} port de France en termes de transit de marchandises.

Figure 25 : Concentrations médianes en chrome (mg/kg MS) par département.

Les concentrations en chrome sont supérieures aux seuils N1 (90 mg/kg) pour les Bouches-du-Rhône (13) et la Haute-Corse (2B). En Haute-Corse, la concentration médiane relevée (178 mg/kg) est proche du seuil N2 (180 mg/kg). Cependant, en Corse du Sud (2A), nous relevons la teneur moyenne la plus faible. La disparité spatiale des concentrations médianes mise en évidence n'est pas expliquée. Le seuil N1 est dépassé pour 3 des 5 ports de Haute-Corse²⁰. Les concentrations médianes en chrome pour les autres départements sont inférieures au seuil N1. Aucune mesure sur le cadmium n'est reporté en Guadeloupe (971).

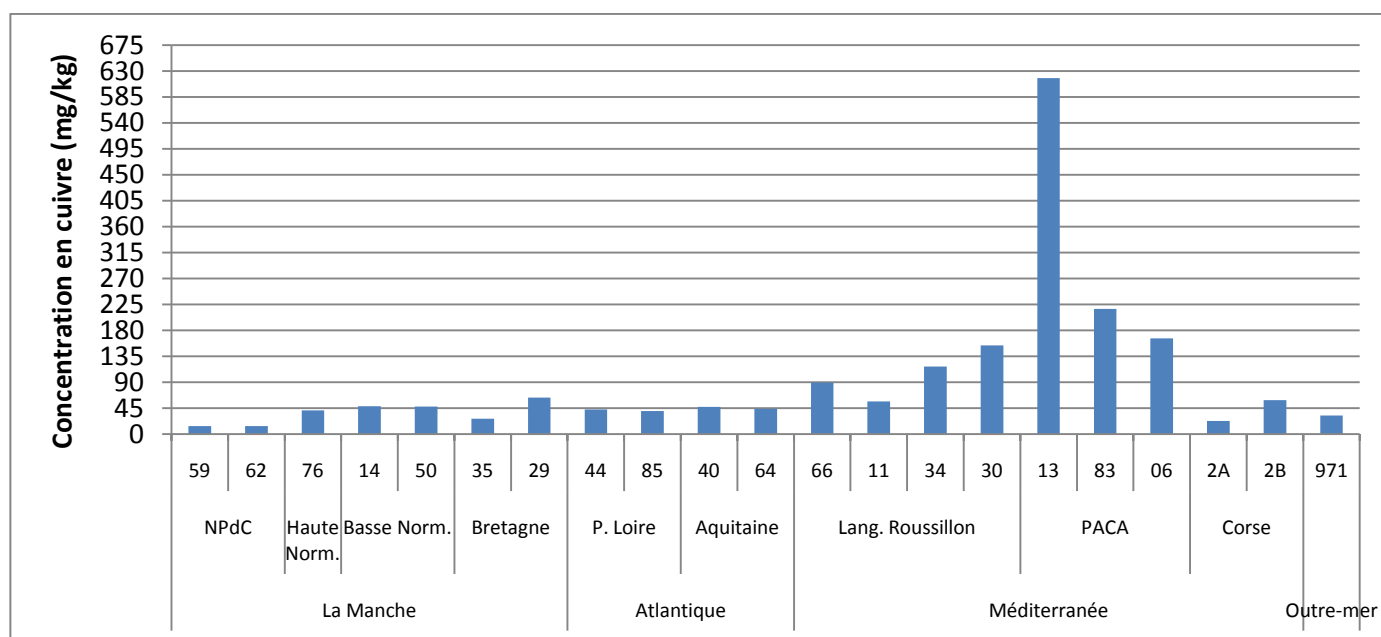


Figure 26 : Concentrations médianes en cuivre (mg/kg MS) par département.

La teneur en cuivre dans les sédiments marins présente des concentrations médianes proches de la valeur seuil N1 (45 mg/kg) pour la majorité des départements. Les concentrations médianes dans le Languedoc-Roussillon, PACA, la Basse Normandie et pour certains départements de Bretagne sont supérieures au seuil N1. Le seuil N2 est dépassé dans l'Hérault (34) le Gard (30), les Bouches-du-Rhône (13), le Var (83), et les Alpes Maritimes (06). Le cuivre est très utilisé comme algicide dans les peintures anti-salissantes des navires comme substitut au TBT²¹. Ceci pourrait contribuer à expliquer les concentrations analysées dans les sédiments portuaires de France. Également, les activités de carénage et les chantiers de réparations navales sont deux sources importantes de cuivre dans les sédiments portuaires.

²⁰ Bastia, Macinaggio et Saint-Florent, situé au niveau du Cap Corse

²¹ Cf. Focus on IMO, 2002 : *Anti-fouling systems*

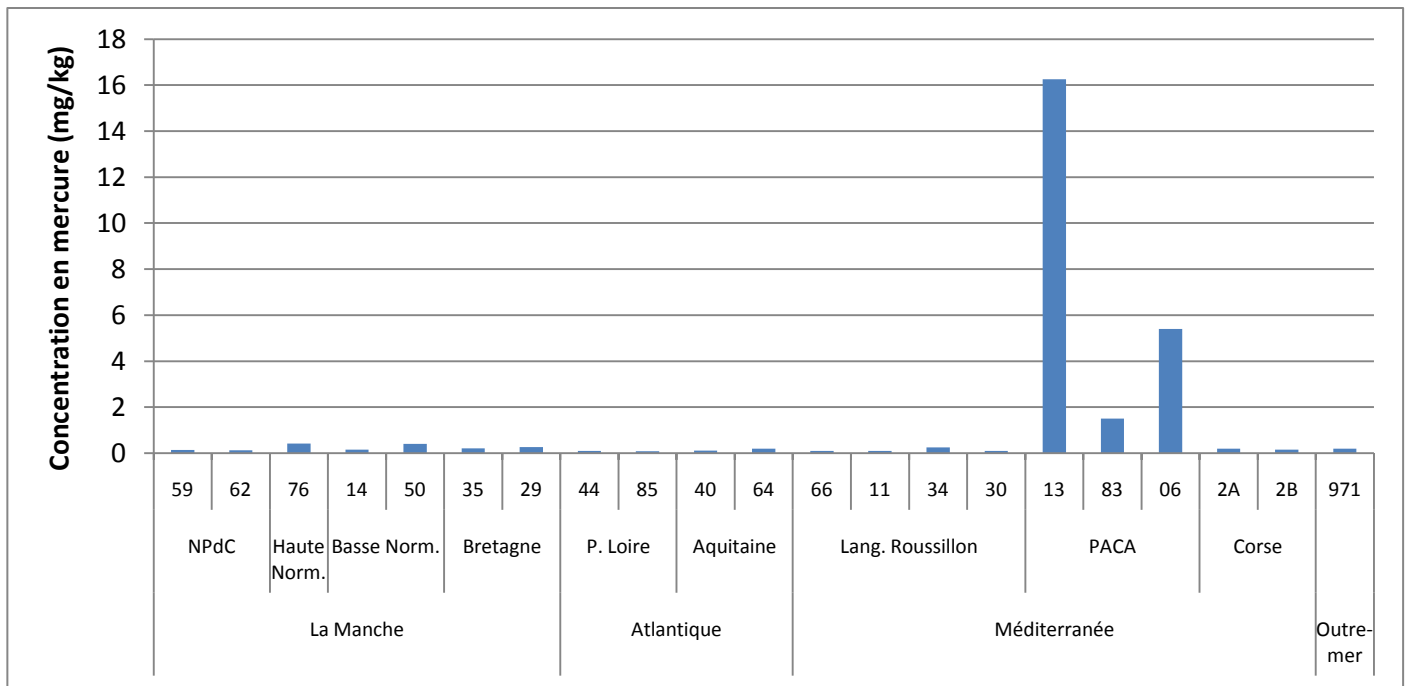


Figure 27 : Concentrations médianes en mercure (mg/kg MS) par département.

Les concentrations médianes en mercure les plus élevées sont rencontrées en région PACA, avec le seuil N2 = 0,8 mg/kg dépassé pour l'ensemble des 3 départements de cette région. Comme le cadmium, le département des Bouches-du-Rhône (13) présente une concentration médiane la plus importante avec 16,25 mg/kg. Le seuil N1 (0,4 mg/kg) est dépassé pour les départements de la Seine Maritime et de La Manche, avec respectivement 0,42 mg/kg et 0,40 mg/kg.

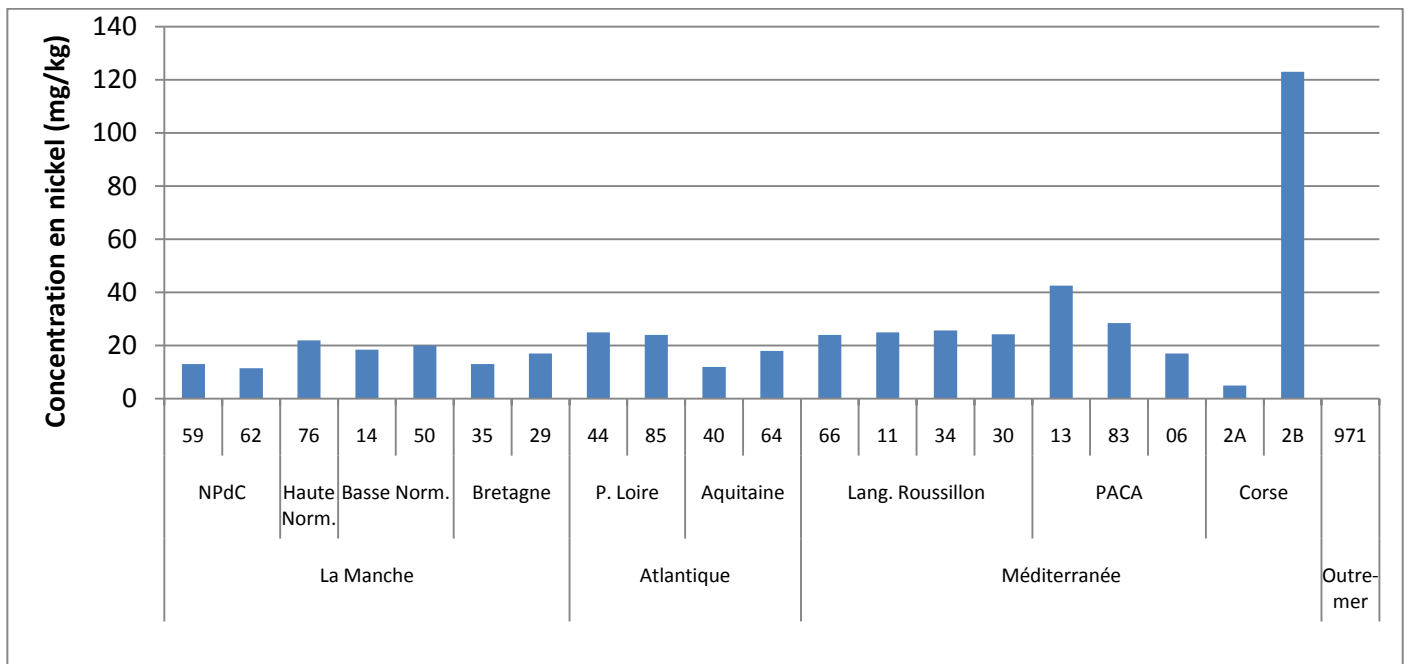


Figure 28 : Concentrations médianes en nickel (mg/kg MS) par département.

Les mesures sur le nickel permettent d'identifier deux départements avec des concentrations médianes supérieures à N1 (37 mg/kg) : les Bouches-du-Rhône (13) et la Haute-Corse (2B). De même, on observe un dépassement du seuil N2 (74 mg/kg) pour la Haute-Corse. Pour les autres départements, les concentrations médianes sont inférieures aux seuils de qualités N1 et N2. Aucune mesure n'est recensée en Guadeloupe.

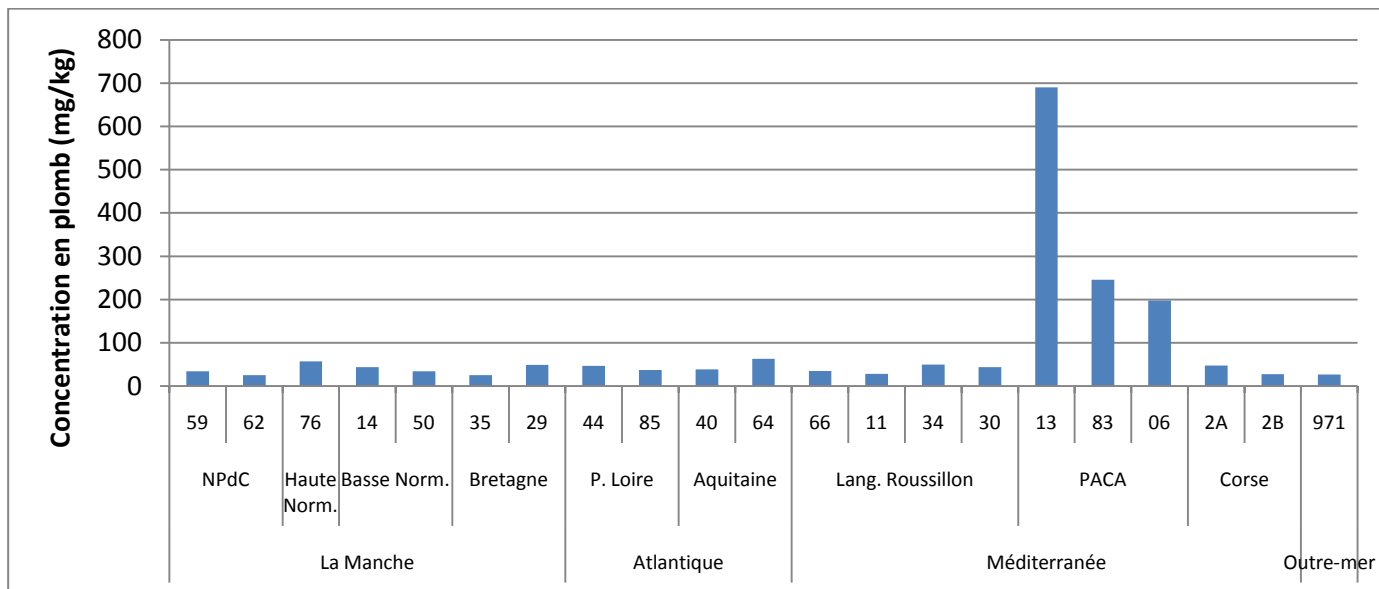


Figure 29 : Concentrations médianes en plomb (mg/kg MS) par département.

Les concentrations en plomb sont deux fois inférieures au seuil N1 (100 mg/kg) pour l'ensemble du territoire, sauf pour la région PACA. Dans les Bouches-du-Rhône (13) et le Var (06), le seuil N2 (200 mg/kg) est dépassé. Dans les Alpes Maritimes, la concentration médiane (198 mg/kg) est légèrement inférieure au seuil N2.

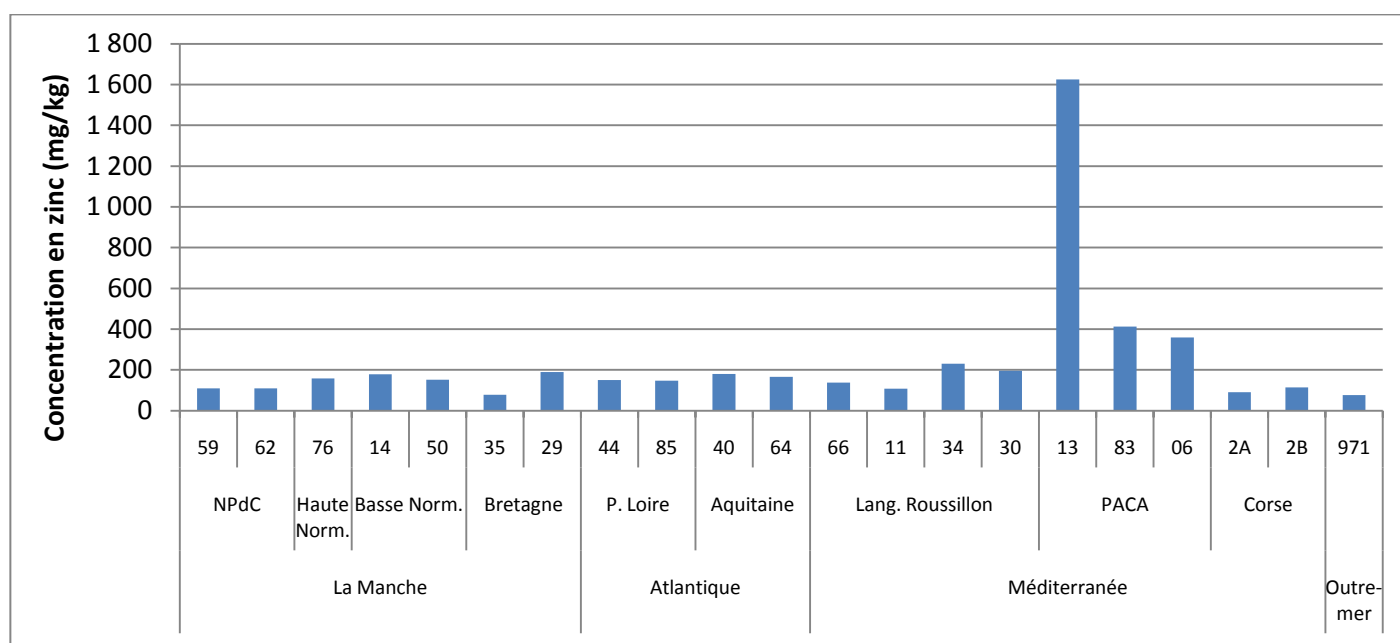


Figure 30 : Concentrations médianes en zinc (mg/kg MS) par département.

De même que pour le plomb, les concentrations médianes en zinc permettent d'identifier les 3 mêmes départements avec des concentrations supérieures aux seuils. Dans le Var (83) et les Alpes Maritimes (06), le seuil N1 (276 mg/kg) est dépassé. Le département des Bouches-du-Rhône présente une concentration médiane 3 fois plus élevée que le seuil N2 (552 mg/kg).

Contaminants organiques :

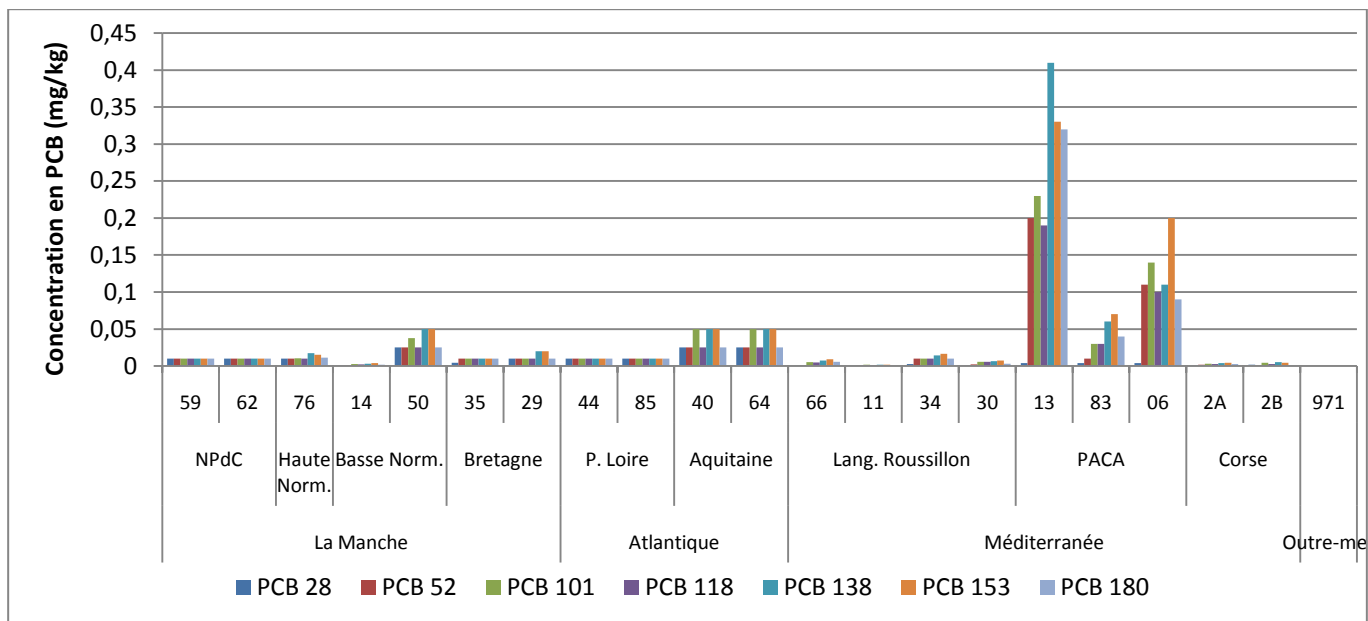


Figure 31 : Concentrations médianes pour les 7 congénères réglementaires de PCB (mg/kg MS) par département.

Les concentrations médianes en PCB mettent en évidence deux départements avec des concentrations supérieures aux valeurs seuils N1 et N2 : les Bouches-du-Rhône (13) et les Alpes Maritimes (06), où 5 des 7 congénères présentent des teneurs supérieures aux seuils N2 (excepté pour le PCB 28 et le PCB 52). Dans les autres départements, les concentrations en PCB sont plus faibles, avec cependant des seuils N1 dépassés pour le PCB 101, le PCB 118, le PCB 138 et le PCB 153 dans le Var (83). Dans les départements de la Manche (50), des Landes (40) et des Pyrénées Atlantiques (64), les concentrations sont égales aux seuils N1 pour respectivement 4, 5 et 5 PCB. Aucune mesure de PCB n'est recensée en Guadeloupe.

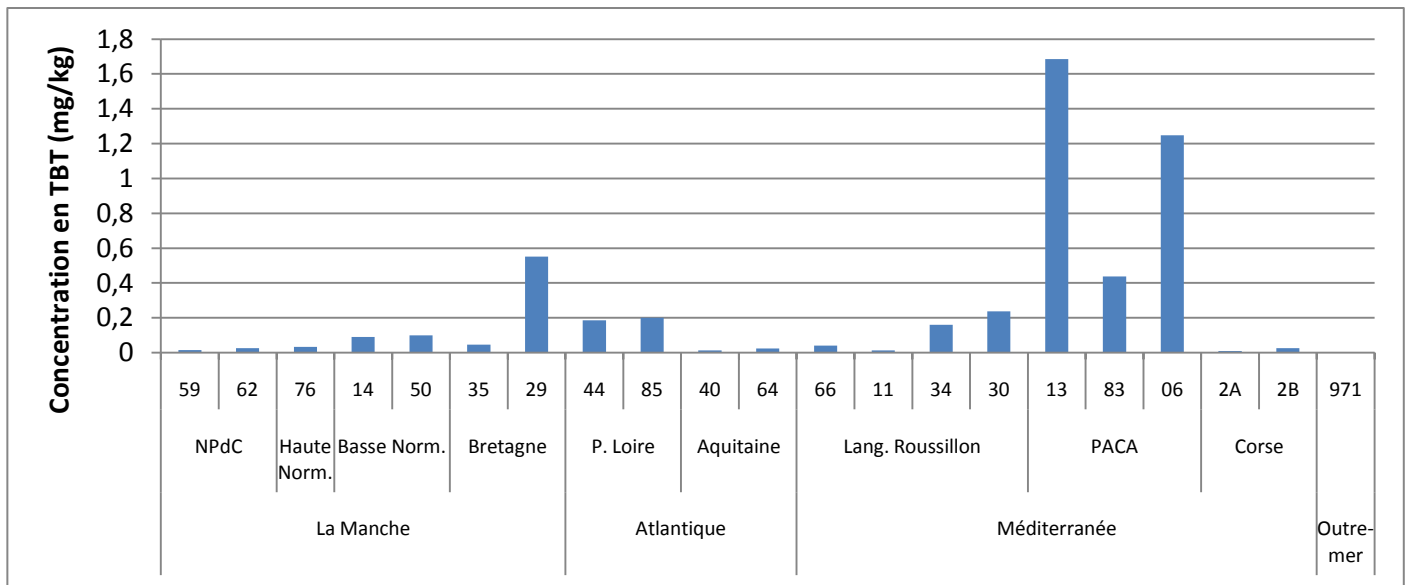


Figure 32 : Concentrations médianes en TBT (mg/kg MS) par département.

Les concentrations en TBT sont très importantes pour 4 départements, qui présentent des concentrations médianes supérieures au seuil N2 (0,4 mg/kg) : les Bouches-du-Rhône (13), les Alpes Maritimes (06), le Finistère (29) et le Var (83). Les Départements du Gard (30), de l'Hérault (34), de la Vendée (85) et de la Loire Atlantique (44) présentent quant-à-eux des concentrations supérieures au seuil N1 (0,1 mg/kg). Le tributylétain est utilisé dans les peintures anti-salissures des coques de bateaux. Son interdiction n'est promulguée au niveau européen que depuis le 1^{er} juillet 2003²². Cette molécule est considérée comme persistante²³. Ainsi, malgré l'interdiction de 2003, le TBT est mis évidence dans les sédiments en 2007. En Guadeloupe, aucune mesure de TBT n'est recensée.

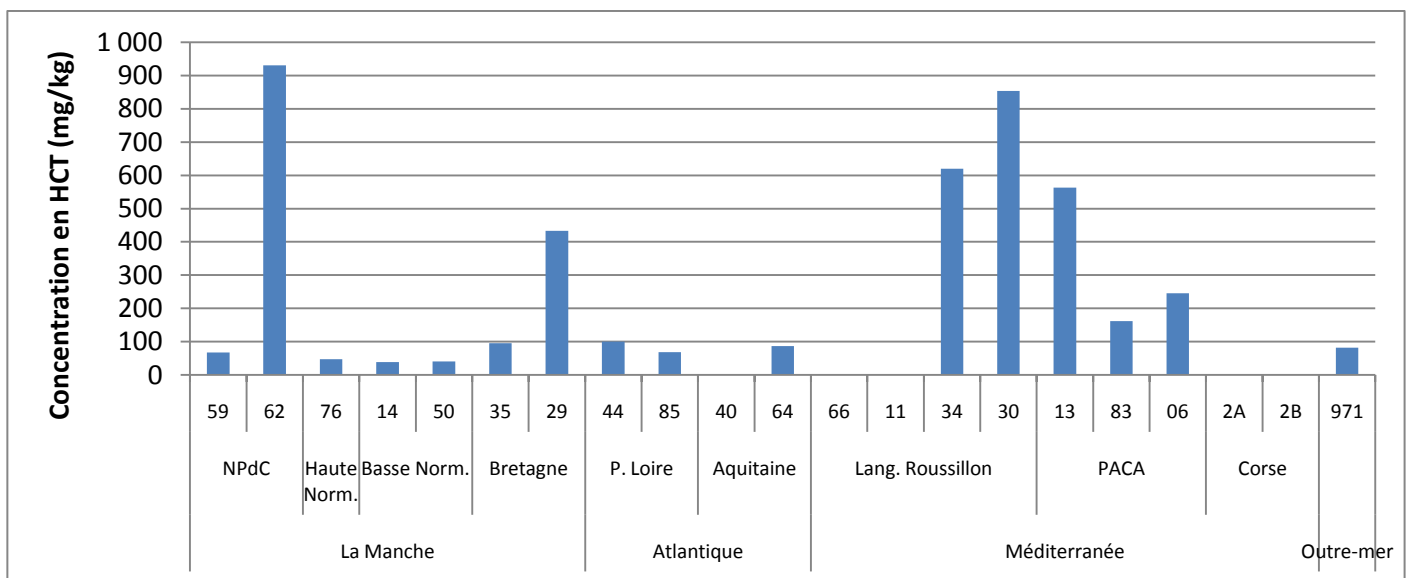


Figure 33 : Concentrations médianes en hydrocarbure totaux (mg/kg MS) par département.

²² Cf. Règlement n° 782/2003 du Parlement européen et du Conseil du 14 Avril 2003 interdisant les composés organostanniques sur les navires.

²³ Cf. BRIGNON J.M., (2005). Fiche du tributylétain. INERIS-DRC-MECO

Les HCT ne sont pas mesurés dans les Landes (40), les Pyrénées Orientales (66), l'Aude (11) et les deux départements de Corse (2A et 2B). Les teneurs varient considérablement selon les Départements, avec des concentrations importantes dans : le Pas de Calais (62), le Gard (30), l'Hérault (34), les Bouches-du-Rhône (13) et le Finistère (29), et des concentrations très faibles dans les autres départements.

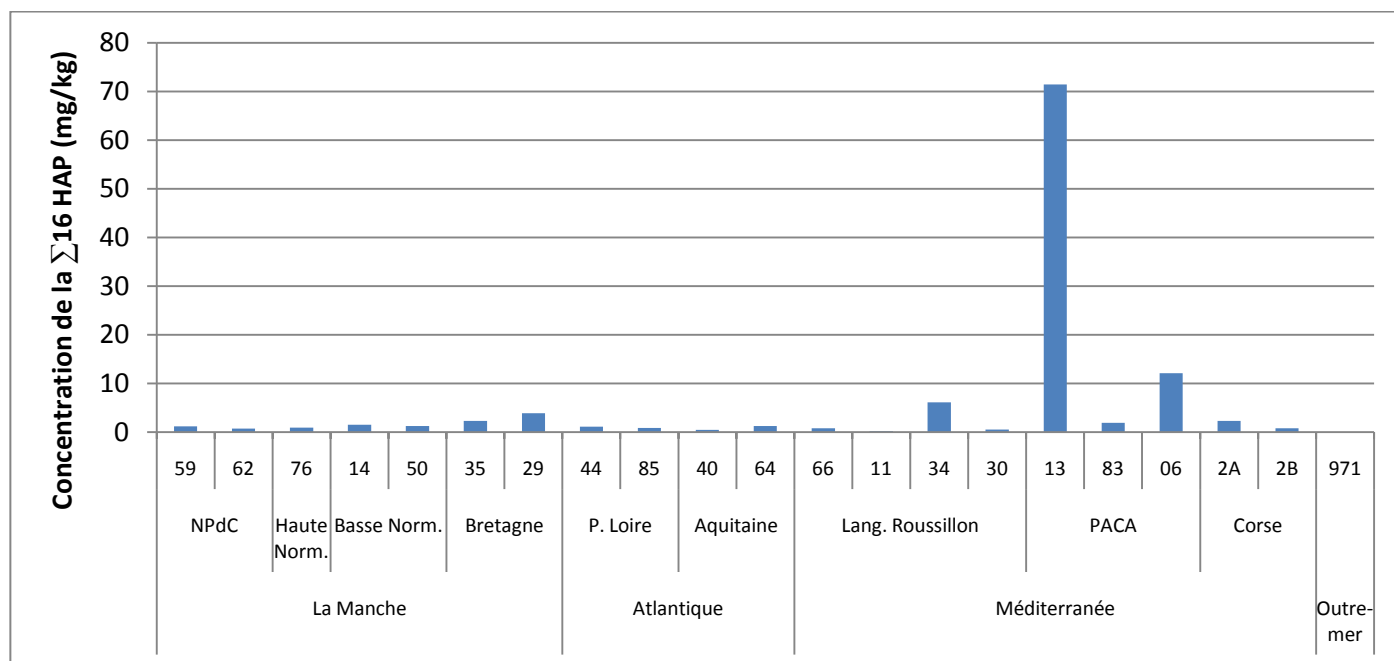


Figure 34 : Concentrations médianes pour la somme des 16 HAP de l'US-EPA (mg/kg MS) par département.

Les mesures de HAP sont inférieures à 2 mg/kg pour l'ensemble des départements, sauf en Bretagne (Finistère et Ille et Vilaine), dans l'Hérault (34) et les Alpes Maritimes (06) avec des concentrations comprises entre 2 et 12 mg/kg. Les Bouches-du-Rhône présentent une concentration de 71.43 mg/kg pour les 16 HAP définis comme cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques par l'US-EPA. Aucune mesure de HAP n'est recensée Outre-Mer.

Paramètres physico-chimiques :

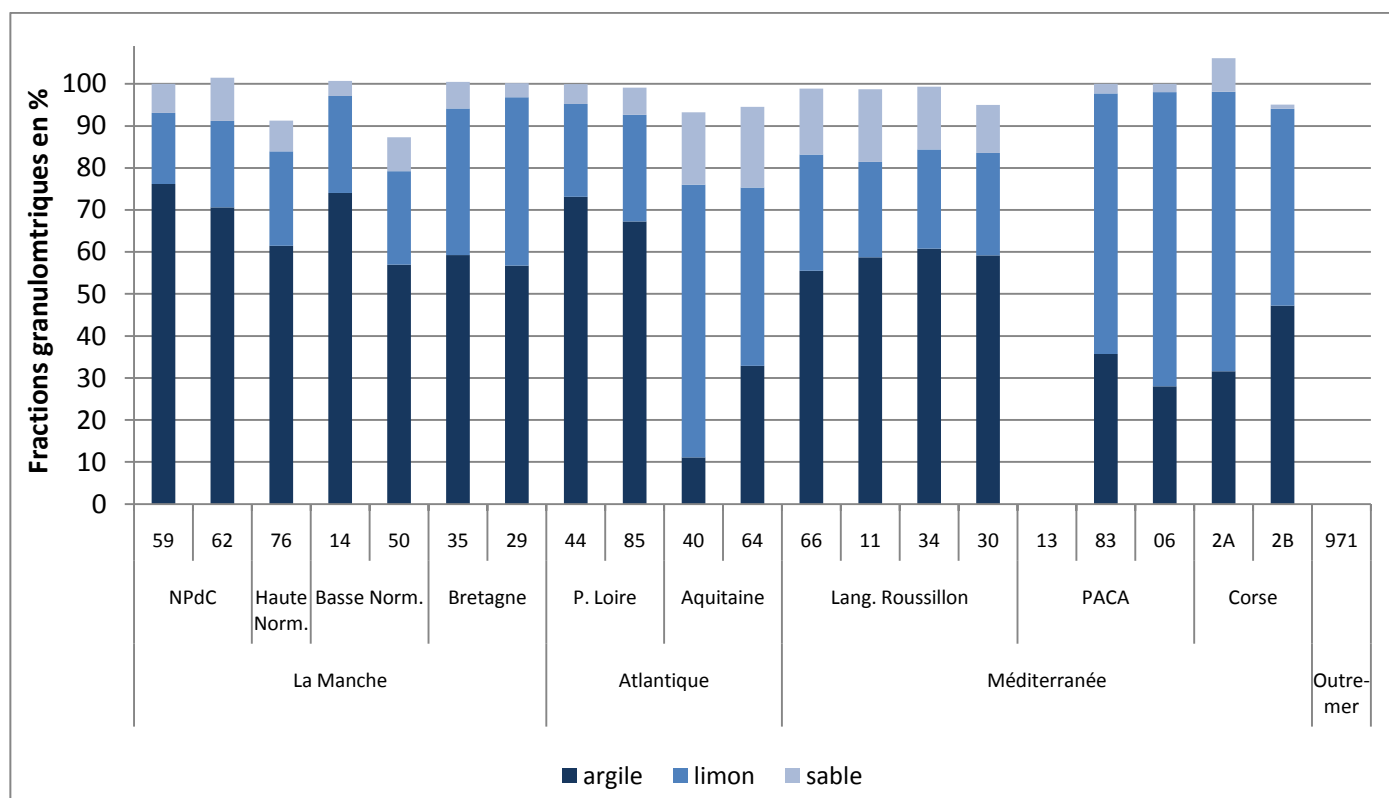


Figure 35 : Concentrations médianes des différentes fractions granulométriques (mg/kg MS) par département.

Les 3 fractions granulométriques (argile, limon et sable) ne sont pas documentées en Guadeloupe et dans les Bouches-du-Rhône. Les sédiments des ports français sont riches en argile, avec des fractions granulométriques médianes supérieures à 50 % d'argile et inférieures à 20 % en sable pour l'ensemble des Régions du Nord de la France. Les régions Aquitaine, PACA et Corse présentent des teneurs en argiles comprises entre 30 et 50 % (sauf pour les Landes avec 10 % d'argile). Les fractions granulométriques pour les Bouches-du-Rhône et la Guadeloupe ne sont pas connues. Les argiles ont la propriété de fixer les contaminants²⁴.

²⁴ Notamment, les argiles piègent les métaux par adsorption ou absorption au niveau de leurs feuillets.

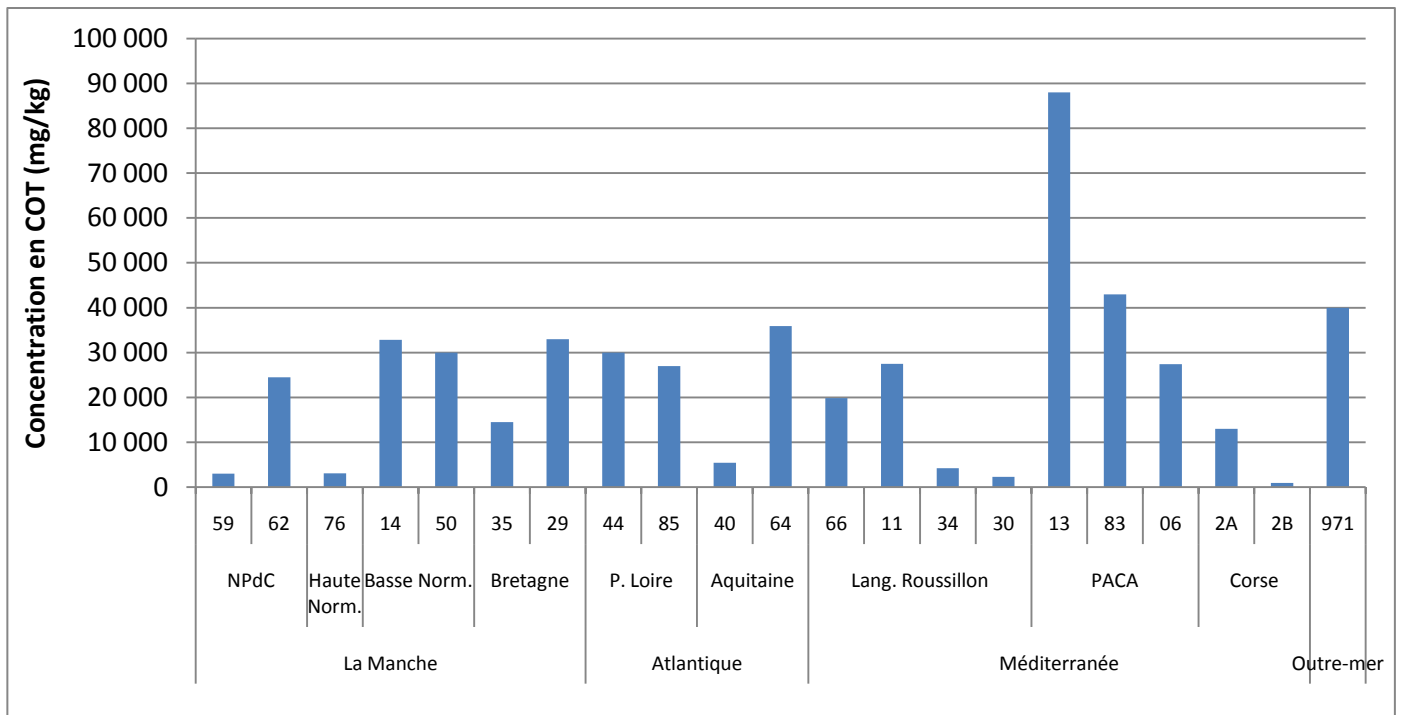


Figure 36 : Concentrations médianes en COT (mg/kg MS) par département.

Les teneurs en COT varient considérablement entre départements. 29 % des départements ont des concentrations médianes en COT comprises entre 1 000 et 5 000 mg/kg et 43 % des départements entre 20 000 et 40 000 mg/kg. La concentration médiane maximale est mesurée dans les Bouches-du-Rhône, avoisinant 90 000 mg/kg.

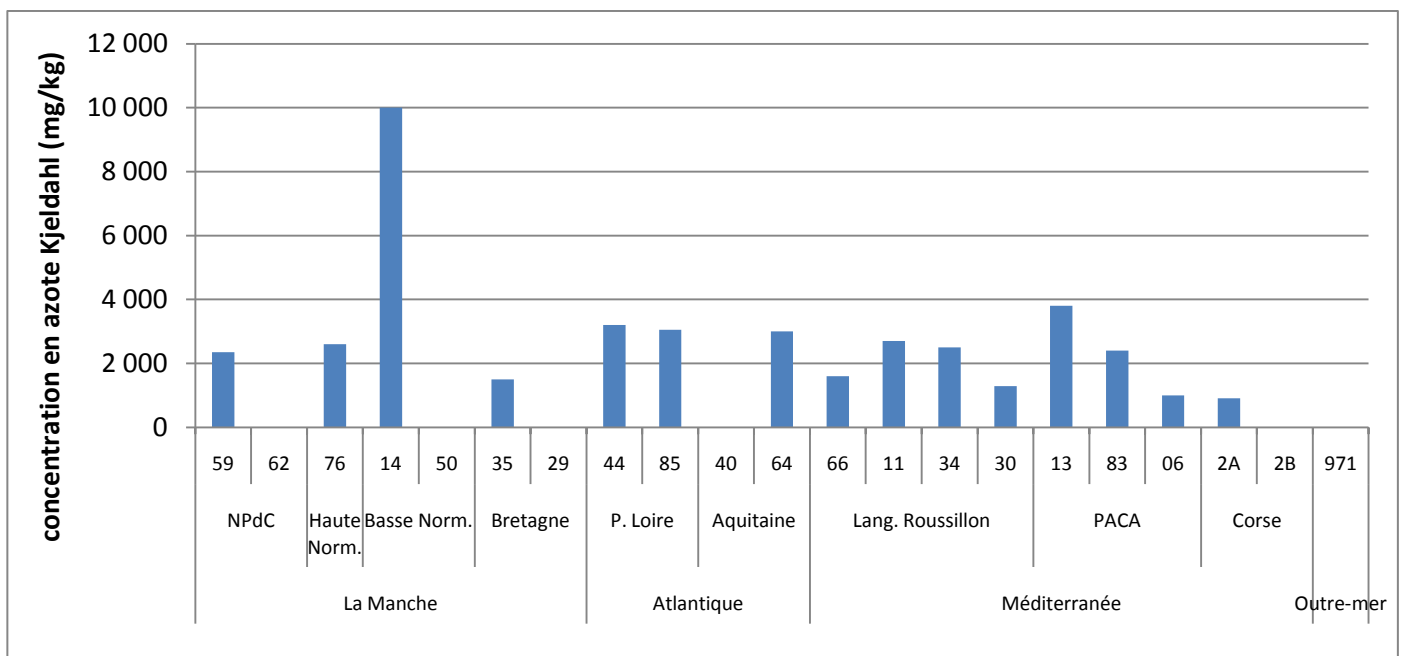


Figure 37 : Concentrations médianes en azote Kjeldahl (mg/kg MS) par département.

Les mesures en azote Kjeldahl ne sont pas disponibles pour 6 départements : le Pas-de-Calais (62), la Manche (50), le Finistère (29), les Landes (40), la Haute Corse (2B) et la Guadeloupe (971).

La teneur en azote dans le Calvados (14) est bien plus importante que dans les autres départements avec une concentration « médiane » d'environ 10 000 mg/kg pour l'unique échantillon disponible. Pour l'ensemble des autres départements, les concentrations sont comprises entre 1 000 et 4 000 mg/kg.

Conclusion sur les concentrations médianes par département :

- Les **concentrations en métaux et en PCB** sont plus importantes sur la façade méditerranéenne et principalement **dans les départements de la région PACA**.
- Les **Bouches-du-Rhône** (Port de Marseille) présentent les concentrations les plus importantes pour 6 des 8 métaux (sauf chrome et nickel), en PCB, TBT, HAP et COT. Les valeurs **seuils N2** sont dépassées pour **les 8 métaux, 5 des 7 PCB** (sauf PCB 28 et PCB 52) et le **TBT**. Les fortes concentrations pourraient être expliquées par l'importante activité du Port de Marseille.
- Les concentrations médianes en **cuivre** sont supérieures aux seuils N1 et N2 pour **57 % et 24 % des départements**.
- Les concentrations en **chrome et en nickel** dépassent les seuils pour **3 ports de Haute Corse**.
- Les concentrations médianes en **TBT** sont supérieures à **N2** pour les **Bouches-du-Rhône** (13), les **Alpes Maritimes** (06), le **Finistère** (29) et le **Var** (83), et sont supérieures à **N1** pour le **Gard** (30), l'**Hérault** (34), la **Vendée** (85) et la **Loire Atlantique** (44).
- certains paramètres réglementaires tels que le chrome, le nickel, les PCB et le TBT ne sont pas recensés en Guadeloupe.

3.2.5 Corrélation entre paramètres

Les corrélations entre paramètres sont recherchées pour identifier les éventuelles co-contaminations systématiques, et l'éventuelle influence de la texture et de la teneur en carbone (capacité de rétention par attraction électrostatique et complexation) sur la teneur en contaminants.

3.2.5.1 Matrice de corrélation

Le Tableau 11 présente la matrice de corrélation entre paramètres deux à deux pour toutes origines confondues. Un niveau de probabilité de 1 % ($p = 0,99$)²⁵ est choisi comme seuil de signification. Les corrélations significatives sont en gras.

²⁵Le niveau de signification, soit la probabilité de 1% d'obtenir ce résultat par hasard.

Tableau 11 : Coefficient de corrélation r entre paramètres sur l'ensemble de la base de données, avec p=0.99

Variables	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	TBT	HCT	∑ 16 HAP	argile	limon	sable	COT
As	1	0.074	0.380	0.345	0.160	0.546	0.373	0.435	0.285	0.079	0.134	0.167	0.208	0.121	0.197	0.141	0.276	0.073	0.037	0.205	-0.209	0.379
Cd	0.074	1	0.127	0.260	0.176	-0.021	0.593	0.598	-0.142	0.059	0.250	0.370	0.480	0.289	0.380	0.006	0.133	0.484	-0.044	-0.201	0.207	0.295
Cr	0.380	0.127	1	0.275	-0.091	0.824	0.358	0.339	-0.315	-0.095	-0.069	-0.030	0.044	0.002	0.061	0.020	0.051	0.137	-0.223	0.544	-0.449	0.381
Cu	0.345	0.260	0.275	1	0.060	0.184	0.475	0.674	-0.030	0.086	0.218	0.279	0.315	0.194	0.256	0.501	0.384	0.265	-0.197	-0.098	0.158	0.409
Hg	0.160	0.176	-0.091	0.060	1	-0.130	0.305	0.143	0.128	0.180	0.237	0.197	0.228	0.189	0.159	-0.014	0.003	0.128	-0.026	-0.150	0.152	-0.028
Ni	0.546	-0.021	0.824	0.184	-0.130	1	0.287	0.292	-0.106	-0.059	-0.091	-0.062	-0.014	-0.048	0.006	-0.003	0.088	0.100	-0.193	0.542	-0.457	0.412
Pb	0.373	0.593	0.358	0.475	0.305	0.287	1	0.778	-0.085	0.228	0.477	0.598	0.728	0.489	0.572	0.216	0.173	0.611	-0.177	-0.039	0.095	0.466
Zn	0.435	0.598	0.339	0.674	0.143	0.292	0.778	1	-0.078	0.093	0.282	0.430	0.537	0.315	0.434	0.253	0.415	0.586	-0.190	-0.059	0.118	0.616
PCB 28	0.285	-0.142	-0.315	-0.030	0.128	-0.106	-0.085	-0.078	1	0.295	0.256	0.139	0.111	0.120	0.056	0.068	0.040	-0.168	0.530	-0.145	-0.033	-0.169
PCB 52	0.079	0.059	-0.095	0.086	0.180	-0.059	0.228	0.093	0.295	1	0.727	0.461	0.520	0.809	0.571	0.061	-0.020	0.105	0.027	-0.136	0.122	-0.010
PCB 101	0.134	0.250	-0.069	0.218	0.237	-0.091	0.477	0.282	0.256	0.727	1	0.854	0.852	0.829	0.705	0.192	0.022	0.310	0.070	-0.210	0.179	0.058
PCB 118	0.167	0.370	-0.030	0.279	0.197	-0.062	0.598	0.430	0.139	0.461	0.854	1	0.875	0.671	0.688	0.182	0.035	0.533	0.022	-0.195	0.180	0.175
PCB 138	0.208	0.480	0.044	0.315	0.228	-0.014	0.728	0.537	0.111	0.520	0.852	0.875	1	0.836	0.879	0.198	0.098	0.563	0.002	-0.221	0.211	0.218
PCB 153	0.121	0.289	0.002	0.194	0.189	-0.048	0.489	0.315	0.120	0.809	0.829	0.671	0.836	1	0.896	0.151	0.056	0.338	-0.004	-0.169	0.163	0.111
PCB 180	0.197	0.380	0.061	0.256	0.159	0.006	0.572	0.434	0.056	0.571	0.705	0.688	0.879	0.896	1	0.166	0.163	0.461	-0.051	-0.174	0.183	0.193
TBT	0.141	0.006	0.020	0.501	-0.014	-0.003	0.216	0.253	0.068	0.061	0.192	0.182	0.198	0.151	0.166	1	0.140	0.084	-0.107	-0.056	0.088	0.160
HCT	0.276	0.133	0.051	0.384	0.003	0.088	0.173	0.415	0.040	-0.020	0.022	0.035	0.098	0.056	0.163	0.140	1	0.067	-0.143	0.015	0.032	0.348
∑ 16 HAP	0.073	0.484	0.137	0.265	0.128	0.100	0.611	0.586	-0.168	0.105	0.310	0.533	0.563	0.338	0.461	0.084	0.067	1	-0.105	-0.107	0.136	0.450
argile	0.037	-0.044	-0.223	-0.197	-0.026	-0.193	-0.177	-0.190	0.530	0.027	0.070	0.022	0.002	-0.004	-0.051	-0.107	-0.143	-0.105	1	-0.039	-0.287	-0.380
limon	0.205	-0.201	0.544	-0.098	-0.150	0.542	-0.039	-0.059	-0.145	-0.136	-0.210	-0.195	-0.221	-0.169	-0.174	-0.056	0.015	-0.107	-0.039	1	-0.946	0.233
sable	-0.209	0.207	-0.449	0.158	0.152	-0.457	0.095	0.118	-0.033	0.122	0.179	0.180	0.211	0.163	0.183	0.088	0.032	0.136	-0.287	-0.946	1	-0.100
COT	0.379	0.295	0.381	0.409	-0.028	0.412	0.466	0.616	-0.169	-0.010	0.058	0.175	0.218	0.111	0.193	0.160	0.348	0.450	-0.380	0.233	-0.100	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0.01

Les métaux lourds apparaissent :

- positivement corrélés entre eux (sauf pour le mercure et le cadmium) ;
- positivement corrélés avec les contaminants organiques pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc ;
- non corrélés ou négativement corrélés avec la teneur en argile ;
- positivement corrélés avec le COT (sauf pour le mercure).

Les contaminants organiques apparaissent :

- positivement fortement corrélés entre eux pour les PCB (sauf le PCB 28) ;
- positivement corrélés avec le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc ;
- corrélés avec le chrome, le cuivre, le nickel et les PCB (sauf le PCB 28 et le PCB 52) pour les HAP ;
- non corrélés avec la teneur en argile (sauf le PCB 28) ;
- positivement corrélés avec le COT pour les HAP, les HCT, le PCB 118 et le PCB 138.

Les corrélations obtenues sont peu opérationnelles. Les meilleures corrélations obtenues relient le nickel et le chrome (Figure 38), le plomb et le zinc (Figure 39), ainsi que le PCB 153 et le PCB 138 (Figure 40)²⁶.

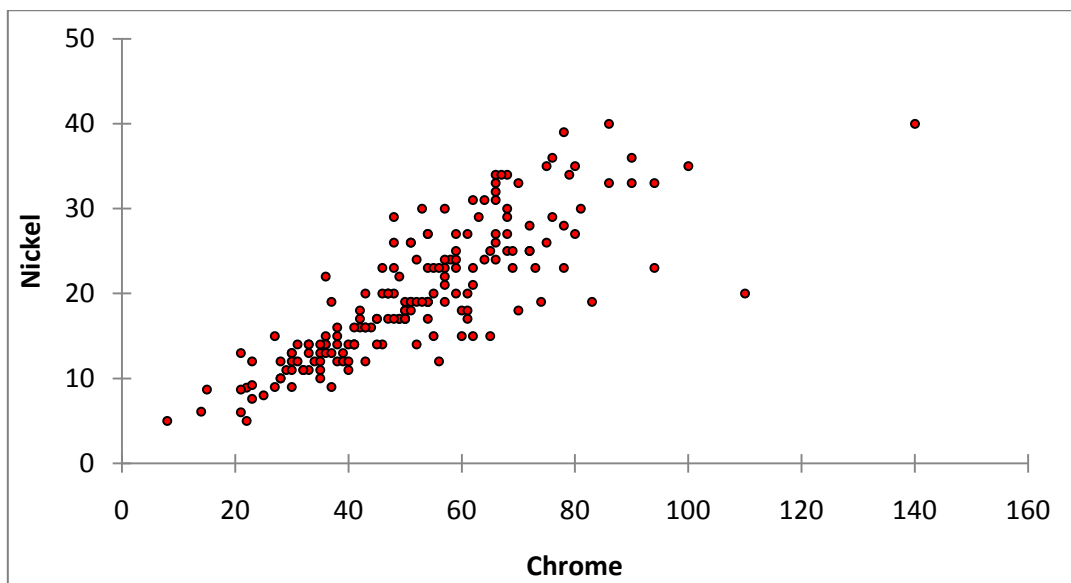


Figure 38 : Concentration en nickel (mg/kg) en fonction de la concentration en chrome (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

²⁶ La droite de corrélation coupe une majorité de points, à la différence d'une corrélation non opérationnelle qui est constituée par la juxtaposition de quelques points particuliers et d'un nuage de points sans corrélation particulière.

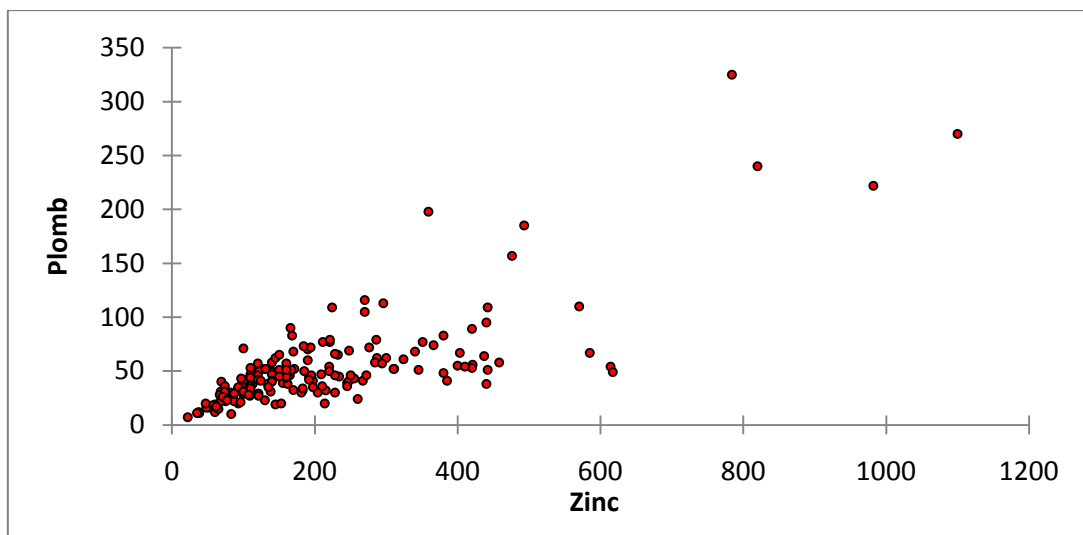


Figure 39 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en zinc (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

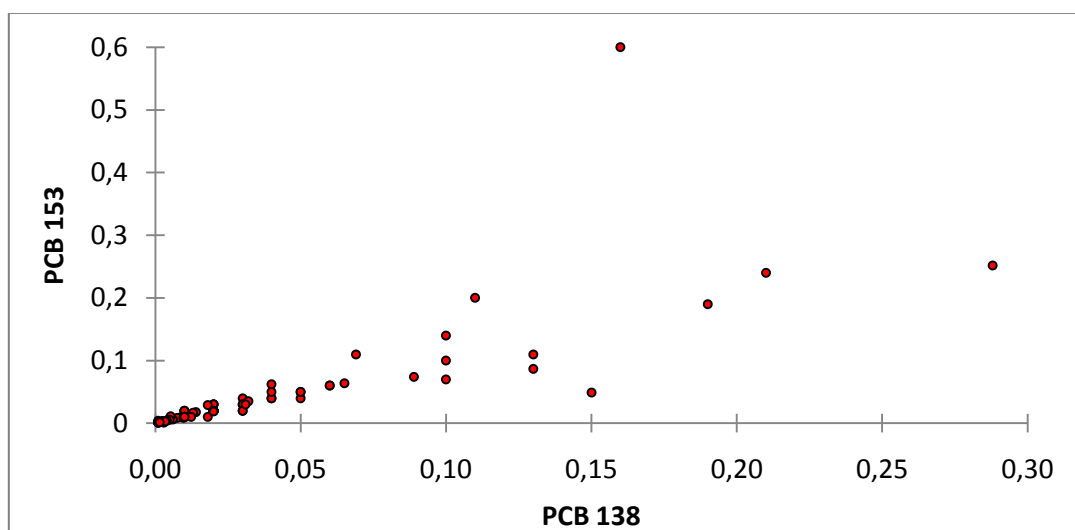


Figure 40 : Concentration en PCB 153 (mg/kg) en fonction de la concentration en PCB 38 (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

Les Figure 42 à Figure 45 présentent des exemples de corrélations non opérationnelles.

Le diagramme de dispersion des données du PCB 138 (Figure 41) montre des sous-populations à diverses limites de quantification apparaissant sous forme de regroupements de points horizontaux. La relation entre la concentration en plomb et en PCB 138 (Figure 42) en est affectée. Les Figure 43, Figure 44 et Figure 45 montrent que les corrélations métaux/HAP, métaux/COT et métaux/limon dépendent de quelques valeurs extrêmes en présence d'un nuage de points sans corrélation particulière. Pour la relation plomb/COT, toutes les teneurs en plomb supérieures à 100 mg/kg sont associées à des teneurs en COT supérieures à 20 g/kg ou 2 %. Globalement, ces corrélations sont à nuancer, et une interprétation multivariable est menée à l'aide d'une ACP²⁷.

²⁷ ACP : Analyse en Composantes Principales.

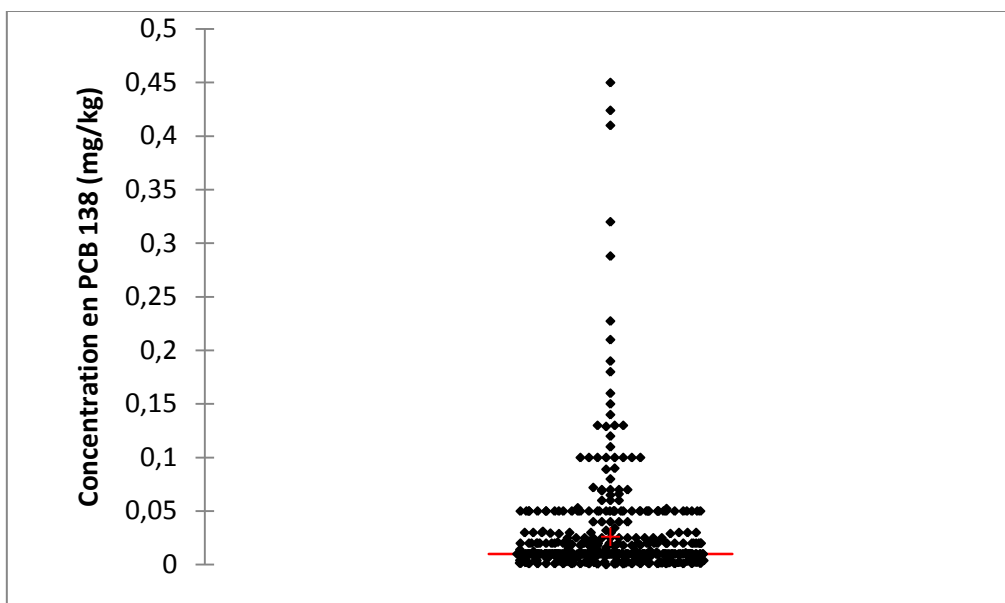


Figure 41 : Diagramme de dispersion de la concentration en PCB 138.

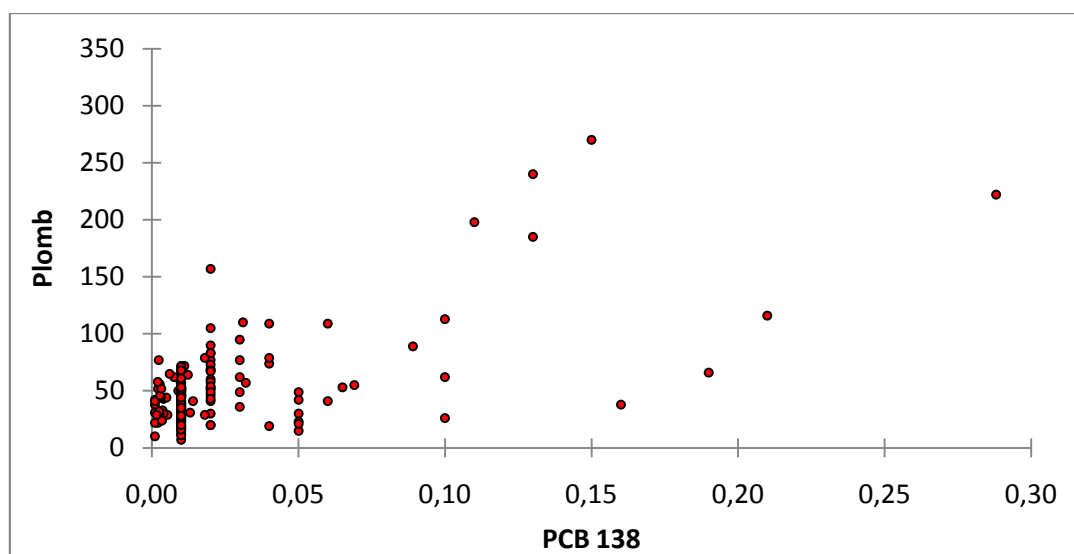


Figure 42 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en PCB 138 (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

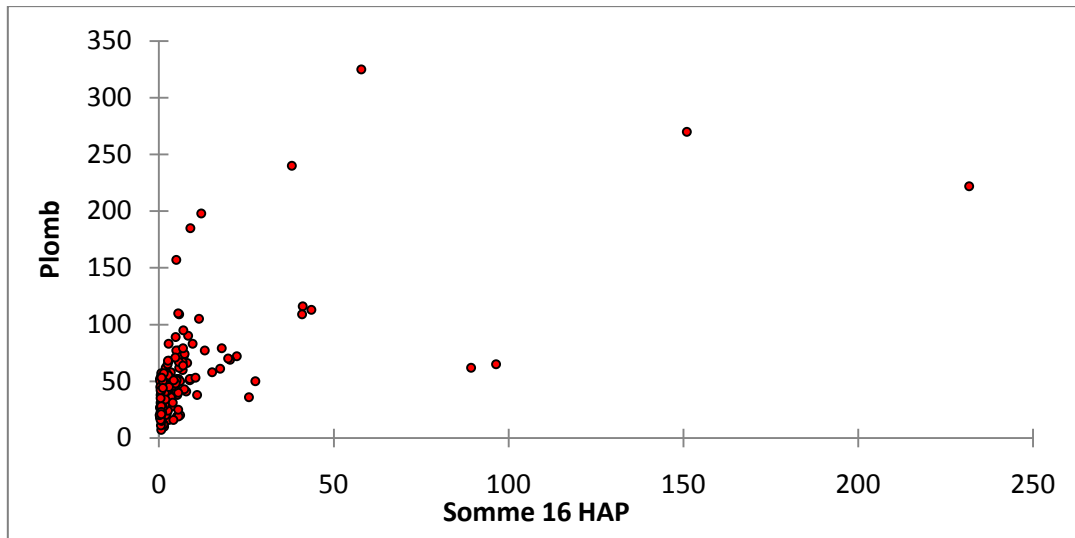


Figure 43 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration pour la somme des 16 HAP (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

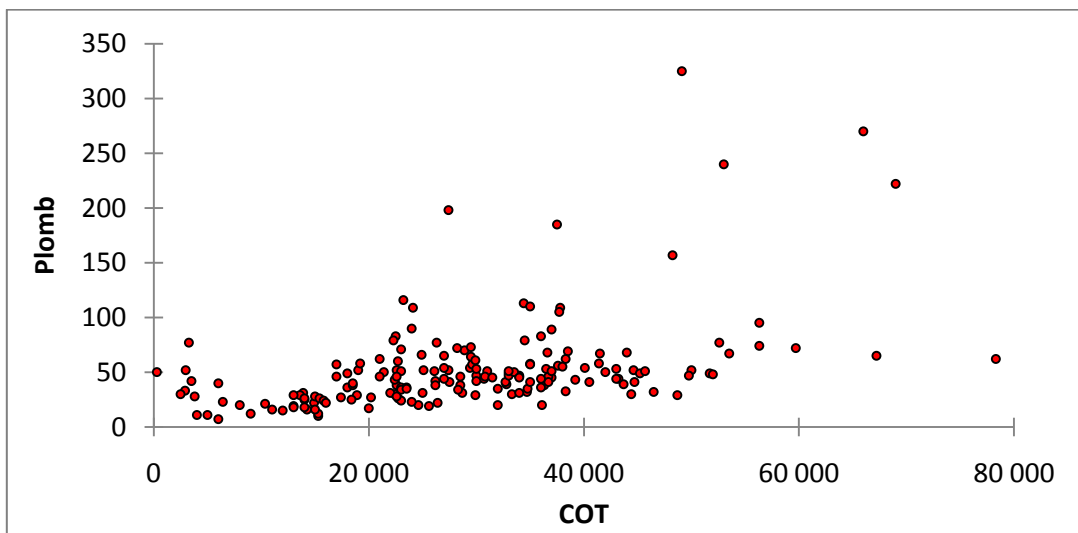


Figure 44 : Concentration en plomb (mg/kg) en fonction de la concentration en COT (mg/kg) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

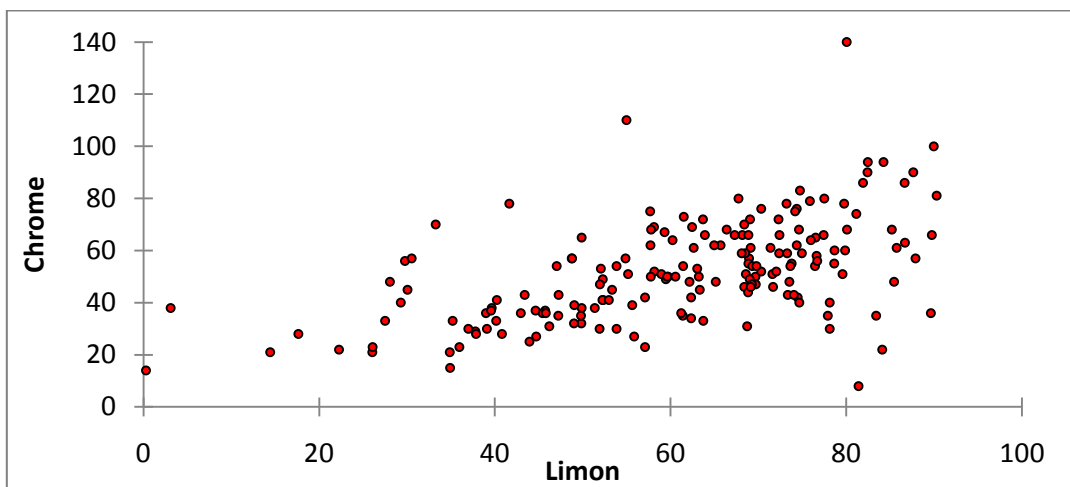


Figure 45 : Concentration en chrome (mg/kg) en fonction de la concentration en limon (%) pour l'ensemble des mesures de la base de données.

3.2.5.2 Analyse en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet de visualiser en une fois l'ensemble des corrélations entre paramètres. Les paramètres choisis sont les 8 métaux lourds, les 7 congénères réglementaires de PCB, le TBT, la somme des 16 HAP, les HCT ainsi que deux fractions granulométriques sur trois (la troisième fraction étant non indépendante des deux premières) et le carbone organique total. Les données utilisées doivent être complètes pour tous les paramètres retenus. Une donnée manquante entraîne la non prise en compte de tout l'échantillon. Au total l'ACP est effectuée sur 249 échantillons. La variance cumulée des composantes F1, F2, F3 est de 56 % de la variance totale (Tableau 12), mettant en évidence des données peu structurées.

Tableau 12 : Variations des composantes F1, F2 et F3 de l'ACP pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds, les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.

Composante	F1	F2	F3
Variance (%)	33	15	8
Variance cumulée (%)	33	48	56

L'ACP est présentée selon les composantes principales F1 et F2 dans la Figure 46 et selon F1 et F3 dans la Figure 47.

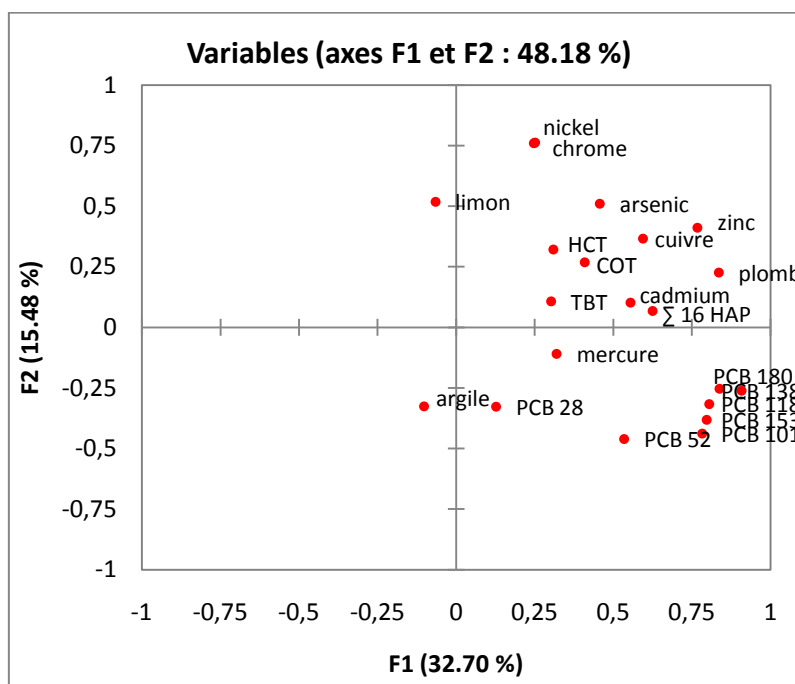


Figure 46 : ACP selon les composantes 1 et 2 pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds, les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.

La composante F1 regroupe positivement des teneurs en composés « chimiques ». Les PCB (sauf le congénère 28) sont groupés entre eux, il en va de même du chrome et du nickel. La composante F2 est constituée de l'argile et du limon en opposition, par le couple chrome-nickel et de façon secondaire par le PCB 28. Les autres composés « chimiques » ne sont regroupés selon la composante F2. Rappelons que beaucoup de valeurs de PCB sont inférieures à la LQ.

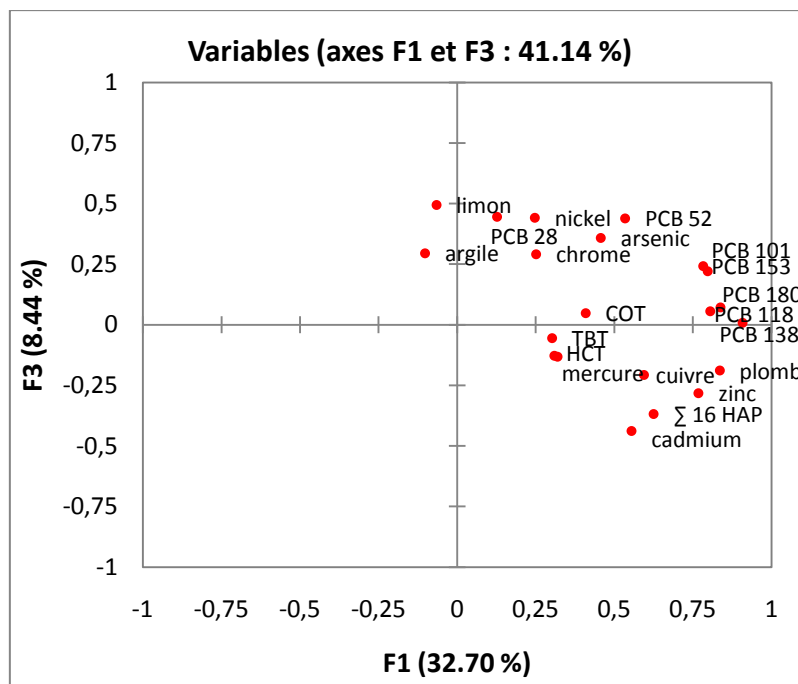


Figure 47 : ACP selon les composantes 1 et 3 pour l'ensemble des échantillons avec mesures complètes sur les métaux lourds, les contaminants organiques, les argiles et les limons, ainsi que le COT.

La composante F3 (8.44% de la variance) montre une éventuelle séparation entre les métaux en deux groupes : le premier positif selon F3 (arsenic, chrome et nickel) proches de l'argile et du limon et du PCB 28, et le deuxième négatif selon F3 (cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc), avec une proximité des HAP.

3.2.5.3 Conclusion sur les corrélations entre paramètres

Les **corrélations entre paramètres** (corrélation deux à deux, analyse en composantes principales) existent sur le plan statistique (généralement dictées par des valeurs extrêmes ou des LQ) mais ne sont **pas fonctionnelles sauf entre congénères de PCB** et peut-être entre chrome et nickel, entre plomb et zinc et entre le TBT, les HCT et le COT. Les corrélations obtenues ne sont globalement pas concluantes, la **variabilité géographique** ou **chronologique** l'emportant sur la physico-chimie du comportement des contaminants.

3.2.6 Proximité entre échantillons

3.2.6.1 Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification et de regroupement progressif de données multivariées d'échantillons. Le regroupement se fait par le calcul de la dissimilarité des données²⁸ entre les objets que nous voulons regrouper. Nous recherchons à regrouper les échantillons selon les concentrations observées. Seuls les 430 échantillons complets²⁹ sont pris en compte pour la CAH.

Le nombre d'échantillons et la variance des différentes classes obtenues par CAH choisie à 10 classes sont présentés dans le Tableau 13. Quelques échantillons se singularisent des autres données à partir de la classe 5.

Tableau 13 : Nombre d'échantillons et variance intra-groupe pour les 10 classes obtenues partir d'une CAH

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nombre d'échantillons	216	107	49	39	12	3	1	1	1	1
Variance intra-classe	2 299	4 581	27 729	7 556	36 174	23 722	-	-	-	-

La Figure 48 permet de visualiser le regroupement progressif des données à partir de la dissimilarité des échantillons. On peut alors se faire une idée sur l'éloignement des différences classes.

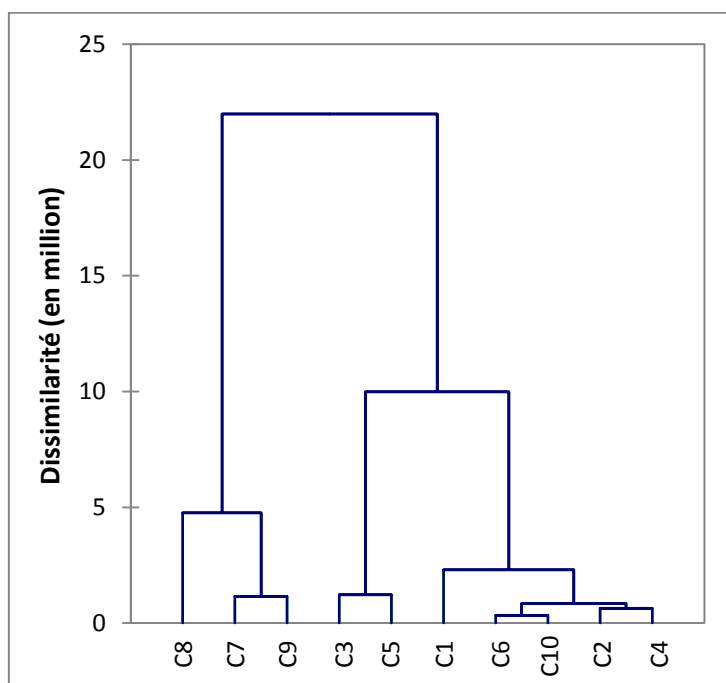


Figure 48 : Dendrogramme de dissimilarité de 10 classes d'échantillons obtenues à partir d'une CAH.

²⁸ L'indice de dissimilarité se calcule à partir de la distance euclidienne par paramètre, permettant la détermination des différences entre deux échantillons.

²⁹ Avec l'ensemble des paramètres réglementaires analysés, c'est-à-dire les 8 métaux lourds, les 7 PCB et le TBT.

Les concentrations moyennes en contaminants, pour chacune des classes par contamination croissante, sont présentées dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Concentration moyennes en métaux et contaminants organiques pour les 10 classes de la CAH.

Classes CAH		C1	C2	C4	C6	C10	C3	C5	C8	C9	C7
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Nombre de données (n)		216	107	39	3	1	49	12	1	1	1
Variance intra-classe		2 299	4 581	7 556	23 722	0	27 729	36 174	0	0	0
Métaux	arsenic	10.1	14.0	15.7	5.8	9.6	18.9	16.2	32.0	30	196
	cadmium	0.35	0.62	0.71	0.23	0.50	1.01	3.68	0.30	3.70	5.90
	chrome	37.6	51.6	55.7	48.7	30.0	57.1	52.2	391.0	68.0	94.0
	cuivre	24.3	76.1	155	432	954	178	154	2 651	456 1	1459
	mercure	0.43	0.27	0.60	0.07	0.42	0.76	1.08	0.21	11.4	112
	nickel	15.5	22.1	24.3	12.0	46.6	27.9	20.8	146	29.0	42.0
	plomb	29.3	47.2	92.5	31.3	89.0	124	194	662	1 011	1 340
	zinc	95.6	197	316	112	531	492	839	982	2 415	3 493
Contaminants Organiques	PCB 28	0.011	0.009	0.011	0.004	0.002	0.013	0.011	0.001	0.004	0.004
	PCB 52	0.012	0.012	0.016	0.004	0.008	0.020	0.022	0.001	0.200	0.050
	PCB 101	0.014	0.014	0.028	0.005	0.010	0.031	0.057	0.003	0.230	0.150
	PCB 118	0.012	0.013	0.025	0.004	0.011	0.027	0.063	0.011	0.190	0.130
	PCB 138	0.014	0.016	0.039	0.006	0.011	0.051	0.126	0.016	0.410	0.180
	PCB 153	0.016	0.016	0.044	0.006	0.009	0.060	0.105	0.014	0.330	0.280
	PCB 180	0.012	0.011	0.036	0.006	0.003	0.039	0.090	0.005	0.320	0.100
	tributylétain	0.14	1.85	2.99	2.71	4.48	1.58	0.70	8.87	1.69	9.58

En gras, les concentrations \geq aux valeurs seuils N1

En surligné, les concentrations \geq aux valeurs seuils N2

A partir du dendrogramme (Figure 48) et du Tableau 14 nous pouvons distinguer des différences entre les classes :

- La classe C1 est peu contaminée, avec des moyennes $>$ N1 pour le mercure et le TBT, et regroupe 50,2% des échantillons (216 des 430 échantillons complets).
- Les classes C2 et C4 présentent des moyennes \geq N2 pour le TBT, ainsi qu'en cuivre pour C4. On observe des dépassements de N1 en TBT pour la classe C2, et en mercure, en zinc, en PCB 118 et en PCB 180 pour la classe C4. Les classes C2 et C4 regroupent respectivement 24,9 % et 9,1 % des échantillons.
- Les classes C6 et C10 sont similaires aux classes C2 et C4, avec des concentrations moyennes en cuivre 3 fois et 6 fois plus importantes sur 4 sites précis : le port de Caen-Quistreham (14), du Croisic(44), de Bonifacio (2A) et de Carnon (34).
- Les classes C3 (49 échantillons) et C5 (12 échantillons) présentent des concentrations moyennes plus importantes que les classes précédentes. Les seuils N1 (pour la classe C3) et N2 (pour la classe C5) sont dépassés pour les PCB. Les moyennes en cadmium (uniquement

pour C5), cuivre, mercure, plomb et zinc sont supérieures aux seuils N1 pour la classe C3 (avec un dépassement de N2 en cuivre) et à N2 pour la classe C5 (sauf en plomb où la moyenne est supérieur au seuil N1 et non au seuil N2).

- La classe C8 présente un échantillon sur le port de Macinaggio (2B) avec des dépassements de seuils N2 pour le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb le zinc, et le TBT. Les concentrations sont considérables en cuivre et en TBT (20 fois supérieur au seuil N2) mais pas pour les autres contaminants organiques.
- Les classes C7 et C9 regroupent des échantillons uniques multicontaminés (port de Toulon et de Marseille). Les concentrations en arsenic (uniquement pour C7), en cadmium, en cuivre, en mercure, en plomb, en zinc, en PCB (sauf pour le PCB 28) et en TBT sont supérieures au seuil N2. Le port de Toulon (classe C7) présente des concentrations très importantes en cuivre (1 459 mg/kg), en mercure (112 mg/kg), en plomb (1 340 mg/kg), en zinc (3 493 mg/kg), et en TBT (9,58 mg/kg). Les concentrations les plus élevés en PCB sont retrouvées au niveau du Port autonome de Marseille (classe C9).

3.3 Distribution des paramètres et des échantillons selon les seuils réglementaires N1 et N2

Les niveaux de dépassements des seuils de qualités N1 et N2 pour des sédiments se mesurent à partir de 16 paramètres. Le nombre d'échantillons comportant ces 16 paramètres est présenté au Tableau 15. Un échantillon est dit supérieur au seuil si au moins un des paramètres dépasse la valeur seuil.

Tableau 15 : Nombre d'échantillons et nombre d'échantillons avec les 16 paramètres nécessaires pour le classement (métaux lourds, les 7 PCB et le TBT), selon l'origine des données.

Origine	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons complets
REPOM	808	421
La Manche	366	260
Nord-Pas-de-Calais	95	56
<i>Nord (59)</i>	35	4
<i>Pas de Calais (62)</i>	60	52
Normandie Haute	45	13
<i>Seine Maritime (76)</i>	45	13
Normandie Basse	79	53
<i>Calvados (14)</i>	40	39
<i>Manche (50)</i>	39	14
Bretagne	147	138
<i>Ille et vilaine (35)</i>	50	44
<i>Finistère (29)</i>	97	94
Atlantique	332	86
Pays de la Loire	301	59
<i>Loire Atlantique (44)</i>	122	42
<i>Vendée (85)</i>	179	17
Aquitaine	31	27
<i>Landes (40)</i>	10	9
<i>Pyrénées Atlantiques (64)</i>	21	18
Méditerranée	106	75
Languedoc Roussillon	69	60
<i>Pyrénées Orientales (66)</i>	12	12
<i>Aude (11)</i>	10	10
<i>Hérault (34)</i>	41	34
<i>Gard (30)</i>	6	4
PACA	2	-
<i>Bouches-du-Rhône (13)</i>	1	-
<i>Var (83)</i>	1	-
Corse	35	15
<i>Corse du Sud (2A)</i>	17	12
<i>Haute Corse (2B)</i>	18	3
Outre-mer	4	-
Guadeloupe	4	-
<i>Guadeloupe (971)</i>	4	-
PROSED	2	2
La Manche	2	2
Nord-Pas-de-Calais	2	2
<i>Nord (59)</i>	2	2
SEDIMARD	7	7
Méditerranée	7	7
PACA	7	7
<i>Bouches-du-Rhône (13)</i>	1	1
<i>Var (83)</i>	5	5
<i>Alpes Maritimes (06)</i>	1	1
Total général	430	817

Le taux de dépassement des seuils a donc pu être mesuré de façon complète sur 430 échantillons, soit environ 50 % des données. Le taux d'échantillons complets diffère selon les gestionnaires des données, les façades maritimes, les régions et les départements.

Le réseau REPOM présente un fort taux d'échantillons complets pour la Bretagne, l'Aquitaine et le Languedoc Roussillon. Ce taux est faible pour les régions de la Haute Normandie, du Pays de la Loire et de la Corse. Aucun échantillon complet n'est disponible pour la région PACA et la Guadeloupe. Les projets PROPSSED et SEDIMARD présentent des données complètes pour l'ensemble des échantillons.

Le taux de dépassement des seuils N1 et N2 sont calculés sur plusieurs niveaux successifs :

- Pour chaque paramètre au sein d'un même échantillon ;
- Par regroupement par famille de contaminants ; composés inorganiques, et organiques, afin de déterminer des anomalies sur l'une des deux familles ;
- Par échantillon.

3.3.1 Distribution des paramètres en fonction des seuils N1 et N2

3.3.1.1 Classement de l'ensemble des paramètres

Les valeurs des seuils N1 et N2 par paramètres sont présentées au

Tableau 3 et au

Tableau 4. La Figure 49 présente le nombre de paramètre supérieurs aux seuils N1 et N2, pour l'ensemble des échantillons et pour les 430 échantillons complets.

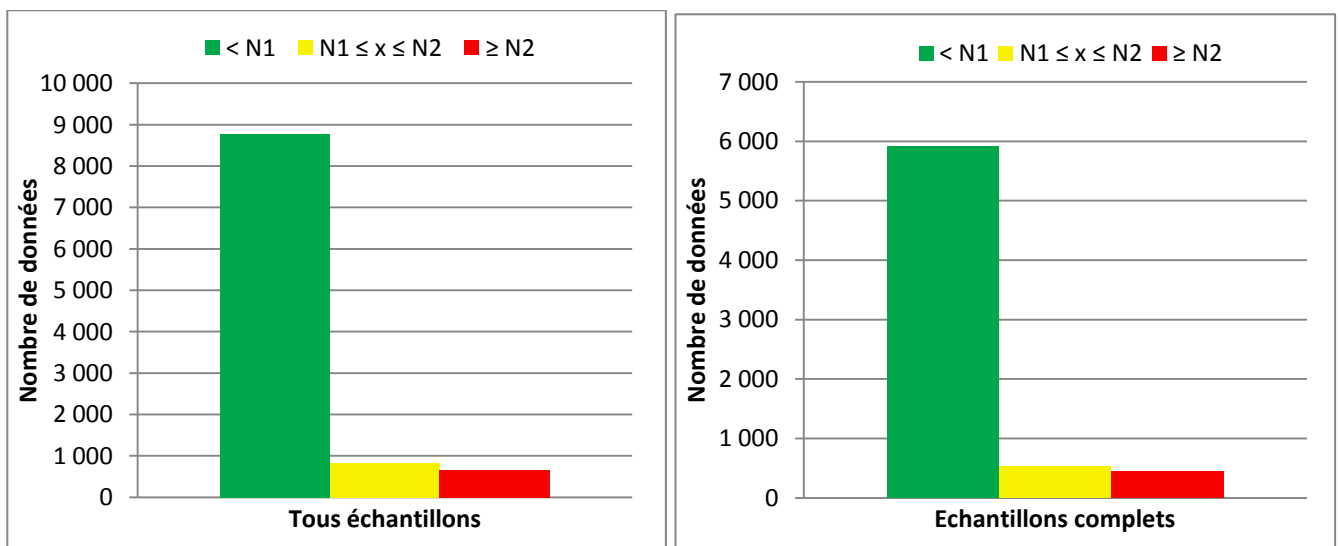


Figure 49 : Total des données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour l'ensemble des échantillons et pour les échantillons complets (avec l'ensemble des 16 paramètres mesurés).

La répartition des dépassements des seuils pour l'ensemble des échantillons et les échantillons complets est identique. Pour les paramètres de l'ensemble des échantillons, **84,6 % des données sont < N1, 8,0 % comprises entre N1 et N2, et 6,4 % sont ≥ N2**. Pour les échantillons complets nous avons respectivement des proportions de 84,8 %, 7,8 % et 6,4 %.

Le nombre de dépassement des seuils N1 et N2 est présenté par paramètre pour l'ensemble des échantillons et pour les échantillons complets, respectivement dans la Figure 50 et la Figure 51.

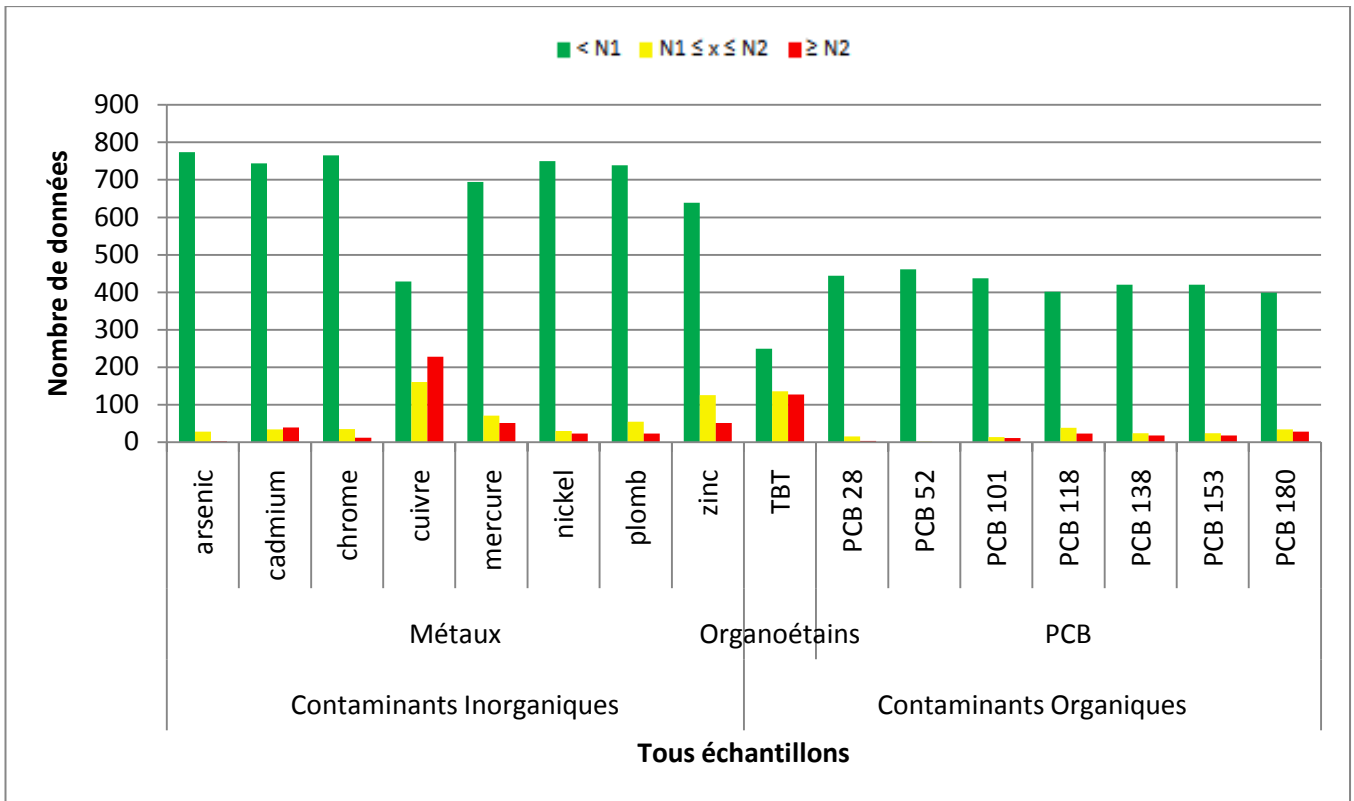


Figure 50 : Nombre de données $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$ par paramètre pour l'ensemble des échantillons.

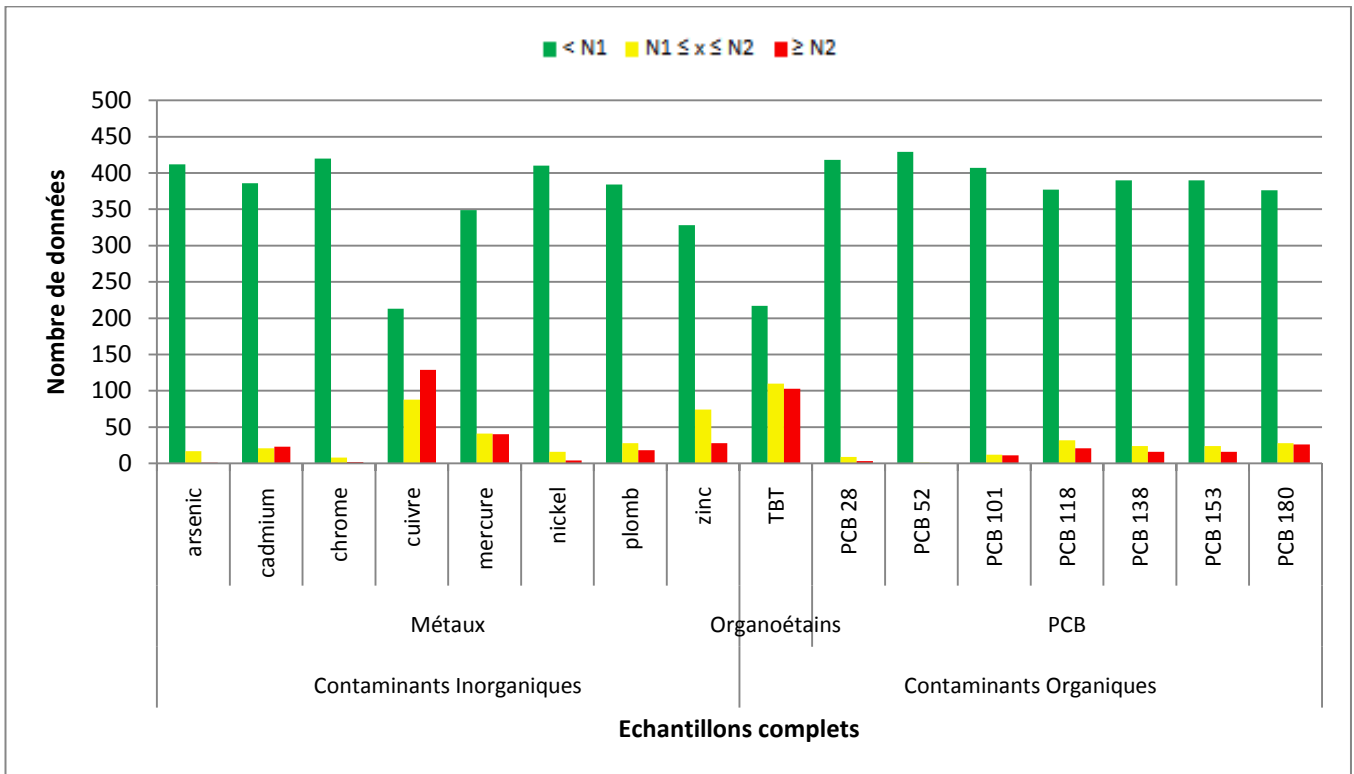


Figure 51 : Nombre de données $< N1$, comprises entre $N1$ et $N2$, et $\geq N2$ par paramètre pour les échantillons complets.

Les taux de dépassement de seuil par paramètre sont les mêmes pour l'ensemble des échantillons et les échantillons complets. La non prise en compte de certains échantillons non complets n'a aucune influence sur l'étude des dépassements de seuils par paramètre. Nous travaillerons par la suite avec l'ensemble des échantillons pour avoir plus de données lors de l'étude des paramètres, sauf lors de la classification des familles (partie 3.3.2) et des échantillons (partie 3.3.3).

Les taux de dépassement changent en fonction du paramètre considéré. Le cuivre et le TBT présentent les taux de dépassements les plus élevés (19,6 % compris entre N1 et N2, et 27,9 % \geq N2 pour le cuivre et 26,6 % compris entre N1 et N2, et 24,8 % \geq N2 pour le TBT). Les dépassements pour le mercure (8,7 % compris entre N1 et N2, et 6,3 % \geq N2) et le zinc (15,3 % compris entre N1 et N2, et 6,3 % \geq N2) sont supérieurs aux taux de dépassement moyens pour l'ensemble des paramètres (8,3 % compris entre N1 et N2, et 6,6 % \geq N2). Le nombre de dépassement des seuils N1 et N2 est très faible pour les PCB ainsi que pour les autres métaux.

3.3.1.2 Classement des paramètres selon l'origine géographique

Le nombre d'échantillons, ainsi que le nombre de résultats de classification pour les 8 métaux lourds, les HAP et les PCB, sont présentés du Tableau 16 au Tableau 19. Le nombre de données $<$ N1, comprises entre N1 et N2, et \geq N2, pour les 8 métaux lourds, les 7 PCB et le TBT est présenté pour les façades de La Manche (Tableau 16), Atlantique et d'Outre-mer (Tableau 17), et Méditerranéenne (Tableau 18) du réseau REPOM. Dans le Tableau 19, sont présentées les données pour les projets PROSPED et SEDIMARD.

Tableau 16 : Nombre de valeurs $<$ N1, comprises entre N1 et N2, et \geq N2, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime de La Manche.

REPOM																					
La Manche																					
Paramètres	NPdC			Haute Normandie			Basse Normandie			Bretagne											
	59	62	76	14	50	35	29														
	<N1	\geq N1*	\geq N2	<N1	\geq N1	\geq N2	<N1	\geq N1	\geq N2	<N1	\geq N1	\geq N2	<N1	\geq N1	\geq N2						
Métaux																					
cadmium	31	2	2	50	4	6	36	6	3	39	-	1	32	2	5	30	5	15	97	-	-
chrome	34	1	-	60	-	-	36	7	2	38	2	-	39	-	-	50	-	-	97	-	-
cuivre	34	1	-	60	-	-	24	10	11	19	10	11	18	14	7	29	9	12	31	29	37
mercure	33	2	-	50	4	6	22	20	3	40	-	-	34	2	2	31	5	14	72	16	9
nickel	34	-	1	60	-	-	29	6	10	39	1	-	39	-	-	50	-	-	97	-	-
plomb	32	2	1	58	2	-	38	7	-	39	1	-	32	4	3	40	5	5	88	9	-
zinc	26	6	3	50	6	4	31	11	3	31	9	-	35	3	1	36	4	10	70	22	5
Contaminants organiques																					
PCB 28	4	-	-	53	-	-	24	-	-	39	-	1	13	5	-	50	-	-	93	1	-
PCB 52	4	-	-	53	-	-	24	-	-	39	1	-	18	-	-	50	-	-	94	-	-
PCB 101	4	-	-	53	-	-	24	-	-	37	1	1	18	-	-	45	3	2	86	5	3
PCB 118	4	-	-	53	-	-	24	-	-	38	1	1	12	5	1	39	5	6	78	9	7
PCB 138	4	-	-	53	-	-	24	-	-	38	1	1	17	1	-	40	2	8	83	8	3
PCB 153	4	-	-	53	-	-	24	-	-	38	1	1	17	1	-	40	5	5	82	7	5
PCB 180	4	-	-	53	-	-	24	-	-	38	-	2	13	5	-	40	1	9	76	12	6
TBT	4	-	-	39	13	-	12	1	-	20	13	7	7	4	3	30	8	6	13	25	56

Tableau 17 : Nombre de valeurs < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime Atlantique et d'Outre-mer du réseau REPOM.

REPOM															
Atlantique												Outre-mer			
Pays de la Loire						Aquitaine						Guadeloupe			
44			85			40			64			971			
Paramètres	<N1	≥N1*	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2
Métaux															
cadmium	121	-	1	178	1	-	9	1	-	21	-	-	4	-	-
chrome	112	10	-	172	6	1	9	-	-	21	-	-	-	-	-
cuivre	63	29	30	96	30	53	5	3	2	11	2	8	4	-	-
mercure	120	2	-	176	2	1	9	-	1	20	1	-	4	-	-
nickel	117	4	1	174	5	-	9	-	-	21	-	-	-	-	-
plomb	116	5	1	174	4	1	10	-	-	15	6	-	3	1	-
zinc	103	14	5	149	21	9	8	1	1	15	4	2	4	-	-
Contaminants organiques															
PCB 28	42	-	-	17	-	-	8	1	-	11	8	2	-	-	-
PCB 52	42	-	-	17	-	-	9	-	-	21	-	-	-	-	-
PCB 101	42	-	-	17	-	-	9	-	-	19	2	-	-	-	-
PCB 118	41	1	-	17	-	-	8	1	-	11	8	2	-	-	-
PCB 138	38	4	-	17	-	-	9	-	-	19	2	-	-	-	-
PCB 153	39	2	1	17	-	-	9	-	-	19	2	-	-	-	-
PCB 180	39	-	3	17	-	-	8	1	-	11	8	2	-	-	-
TBT	14	21	7	37	29	26	6	2	1	13	2	3	-	-	-

*≥ N1 correspond aux concentrations comprises entre N1 et N2

Tableau 18 : Nombre de valeurs < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2, par paramètre, par région et par département, pour la façade maritime Méditerranéenne du réseau REPOM.

REPOM																
Méditerranée																
Languedoc Roussillon				PACA				Corse								
66		11		34		30		13		83		2B		2A		
Paramètres	<N1	≥N1*	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	
Métaux																
cadmium	12	-	-	10	-	-	29	10	2	6	-	-	-	15	2	1
chrome	12	-	-	10	-	-	40	1	-	6	-	-	1	3	6	9
cuivre	1	5	6	2	6	2	11	6	24	-	-	6	-	9	2	7
mercure	12	-	-	10	-	-	28	7	6	6	-	-	1	16	2	-
nickel	12	-	-	8	2	-	31	10	-	6	-	-	1	2	-	11
plomb	12	-	-	10	-	-	33	4	4	5	1	-	-	16	-	1
zinc	12	-	-	10	-	-	23	14	3	4	2	-	-	14	2	1
Contaminants organiques																
PCB 28	12	-	-	10	-	-	35	-	-	4	-	-	-	3	-	-
PCB 52	12	-	-	10	-	-	35	-	-	4	-	-	-	3	-	-
PCB 101	12	-	-	10	-	-	32	1	2	4	-	-	-	3	-	-
PCB 118	12	-	-	10	-	-	27	6	2	4	-	-	-	3	-	-
PCB 138	12	-	-	10	-	-	29	3	3	4	-	-	-	3	-	-
PCB 153	12	-	-	10	-	-	29	3	3	4	-	-	-	3	-	-
PCB 180	12	-	-	10	-	-	28	4	3	4	-	-	-	3	-	-
TBT	11	1	-	10	-	-	15	13	7	1	2	1	-	2	-	1

*≥ N1 correspond aux concentrations comprises entre N1 et N2

Tableau 19 : Nombre de valeurs < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2, par paramètre, par région et par département, des projets PROSED et SEDIMARD.

Paramètres	PROSED			SEDIMARD								
	La Manche			Méditerranée								
	NPdC			PACA								
	59			13			83			06		
	<N1	≥N1*	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2	<N1	≥N1	≥N2
Métaux												
cadmium	2	-	-	-	-	1	4	-	1	1	-	-
chrome	2	-	-	1	-	-	4	1	-	1	-	-
cuivre	-	-	2	-	-	1	-	1	4	-	-	1
mercure	-	1	1	-	-	1	1	1	3	-	-	1
nickel	2	-	-	1	-	-	4	1	-	1	-	-
plomb	-	-	2	-	-	1	2	-	3	-	1	-
zinc	-	2	-	-	-	1	2	1	2	-	1	-
Contaminants organiques												
PCB 28	2	-	-	1	-	-	5	-	-	1	-	-
PCB 52	2	-	-	1	-	-	5	-	-	1	-	-
PCB 101	2	-	-	-	-	1	3	1	1	-	-	1
PCB 118	1	1	-	-	-	1	2	1	2	-	-	1
PCB 138	1	1	-	-	-	1	2	2	1	-	-	1
PCB 153	1	1	-	-	-	1	2	2	1	-	-	1
PCB 180	1	1	-	-	-	1	2	2	1	-	-	1
TBT	-	-	2	-	-	1	1	1	3	-	-	1

*≥ N1 correspond aux concentrations comprises entre N1 et N2

Nous pouvons identifier 4 paramètres se distinguant par un nombre plus important de dépassements des valeurs seuils N1 et N2 : le cuivre, le mercure, le zinc et le TBT. Ces résultats sont présentés graphiquement ci-dessous.

Métaux :

Les répartitions géographiques par département pour le cuivre, le mercure et le zinc sont présentées à la Figure 52, la Figure 53 et la Figure 54 :

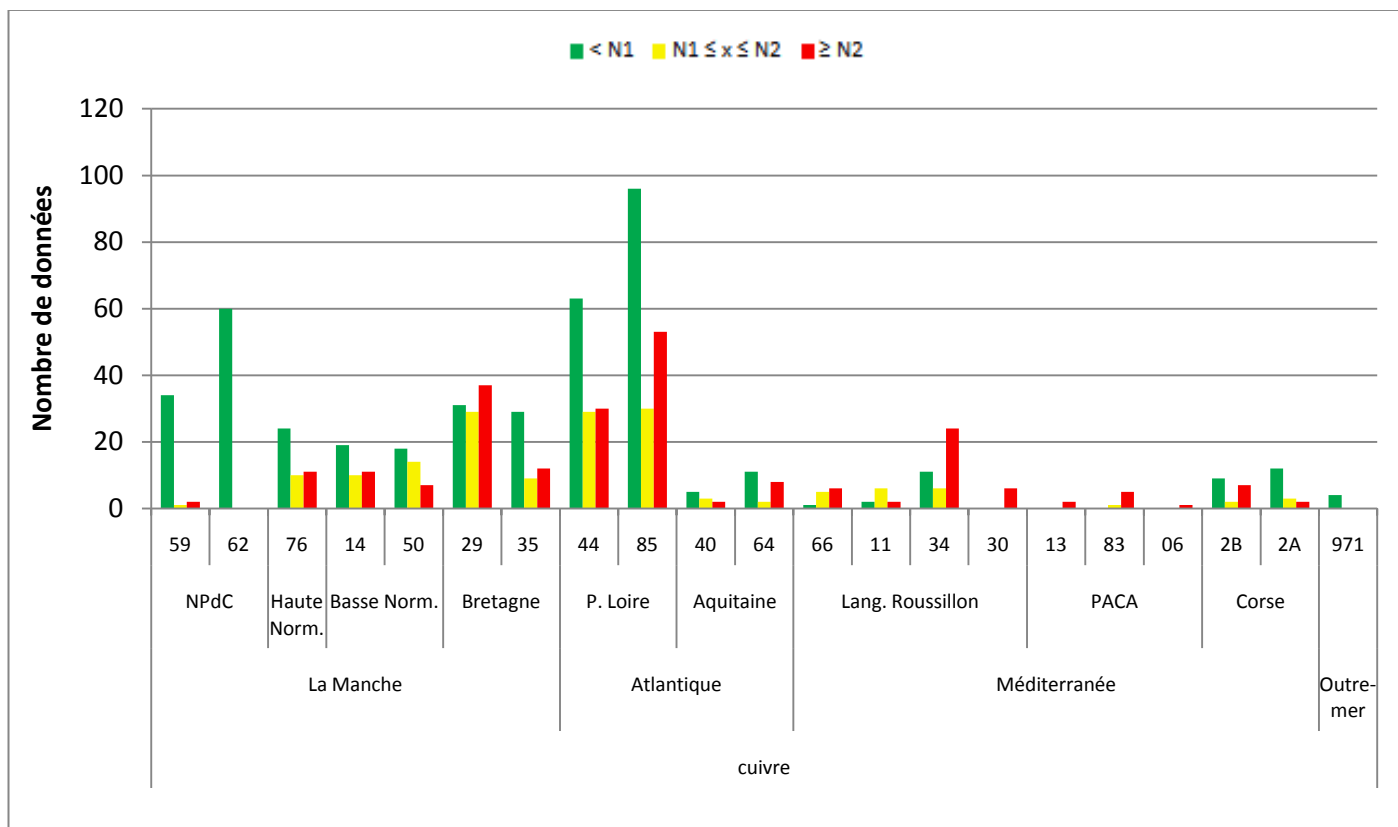


Figure 52 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le cuivre, en fonction des différents des départements.

Pour le cuivre (Figure 52), le taux de dépassement des seuils N1 et N2 est très important pour l'ensemble des départements (sauf pour le Nord (59), le Pas-de-Calais (62), et la Guadeloupe (971) avec 95 % à 100 % des données < N1). Les dépassements les plus fréquents se localisent sur la façade méditerranéenne avec moins de 30 % des échantillons < N1 (100 % des échantillons de la région PACA et du Gard (30) sont ≥ N2), sauf en Corse. 1 échantillon sur 3 est supérieur au seuil N2 dans les régions Normandie, Bretagne, Pays de la Loire et Aquitaine.

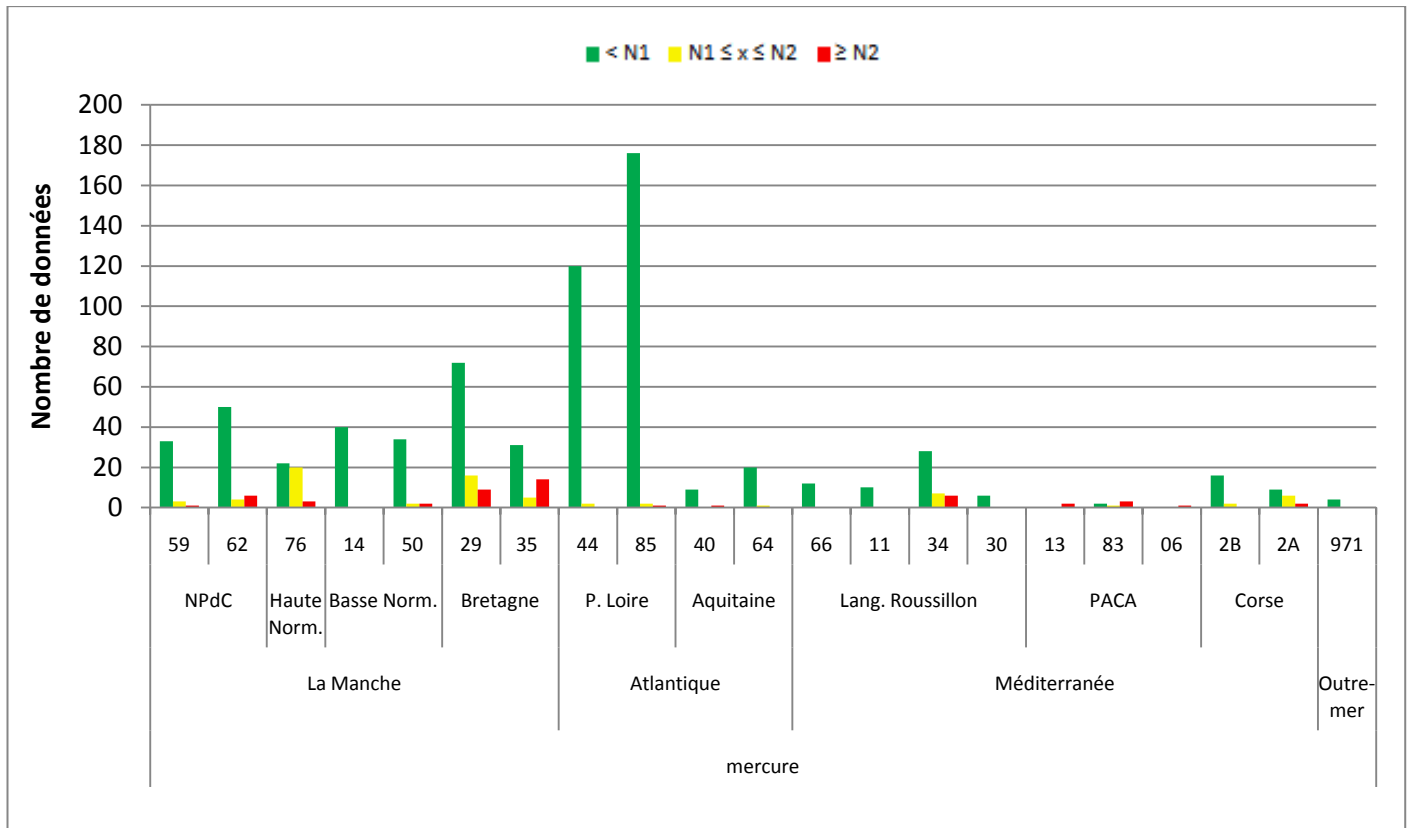


Figure 53 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le mercure, en fonction des différents des départements.

Les dépassements de seuils N1 et N2 pour le mercure sont plus localisés que pour le cuivre. A l'échelle nationale 85 % des échantillons sont < N1. Ce taux descend à 74 %, 62 %, 52 % et 48 % pour le Finistère (29), l'Ille et vilaine (35), la Haute Corse (2B) et la Seine Maritime respectivement. Le taux de dépassement est cependant beaucoup plus important en région PACA (jusqu'à 100% des données ≥ N2 pour les 2 données des Bouches-du-Rhône). Le dépassement des seuils N2 est également identifié dans la région Nord-Pas-de-Calais et les départements de l'Hérault (34) et de la Corse du Sud (2A).

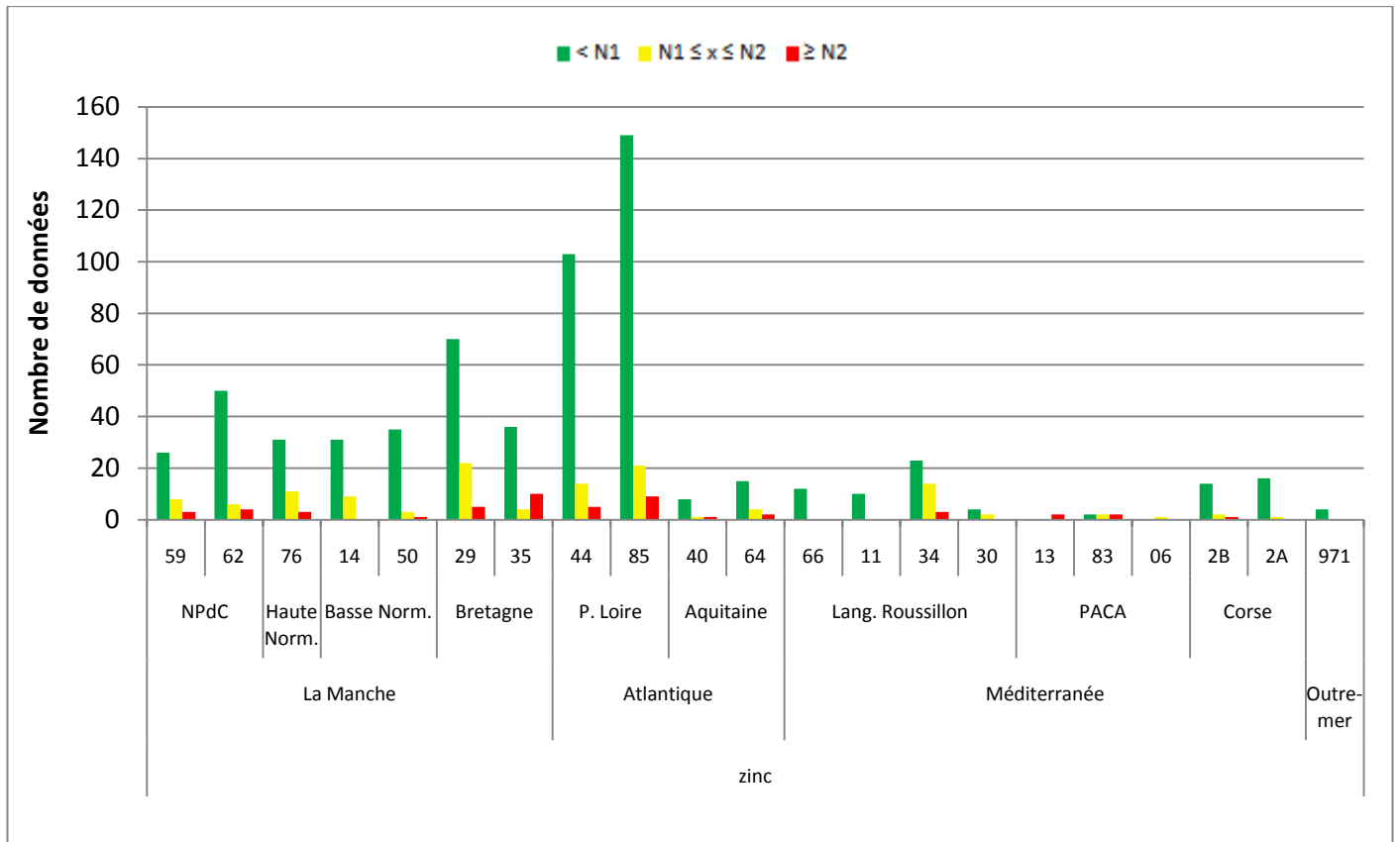


Figure 54 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le zinc, en fonction des différents des départements.

Le zinc est, après le cuivre, le métal le plus fréquemment > N1. La région PACA présente encore une fois le taux de dépassements le plus important. Pour cette région, des dépassements sont identifiés pour l'ensemble des métaux de part le choix des échantillons du projet SEDIMARD riches en polluants. Hormis la région PACA, l'Hérault (34) présente les dépassements les plus importants en zinc avec 35,0 % des données comprises entre N1 et N2, et 7,5 % ≥ N2. Les seuils en zinc sont dépassés pour 1 échantillon sur 4 pour les régions Nord-Pas-de-Calais, Haute Normandie, Bretagne et Pays de la Loire.

Contaminants Organiques :

La répartition géographique par département pour le TBT et le PCB 138 est présentée dans la Figure 55 et la Figure 56.

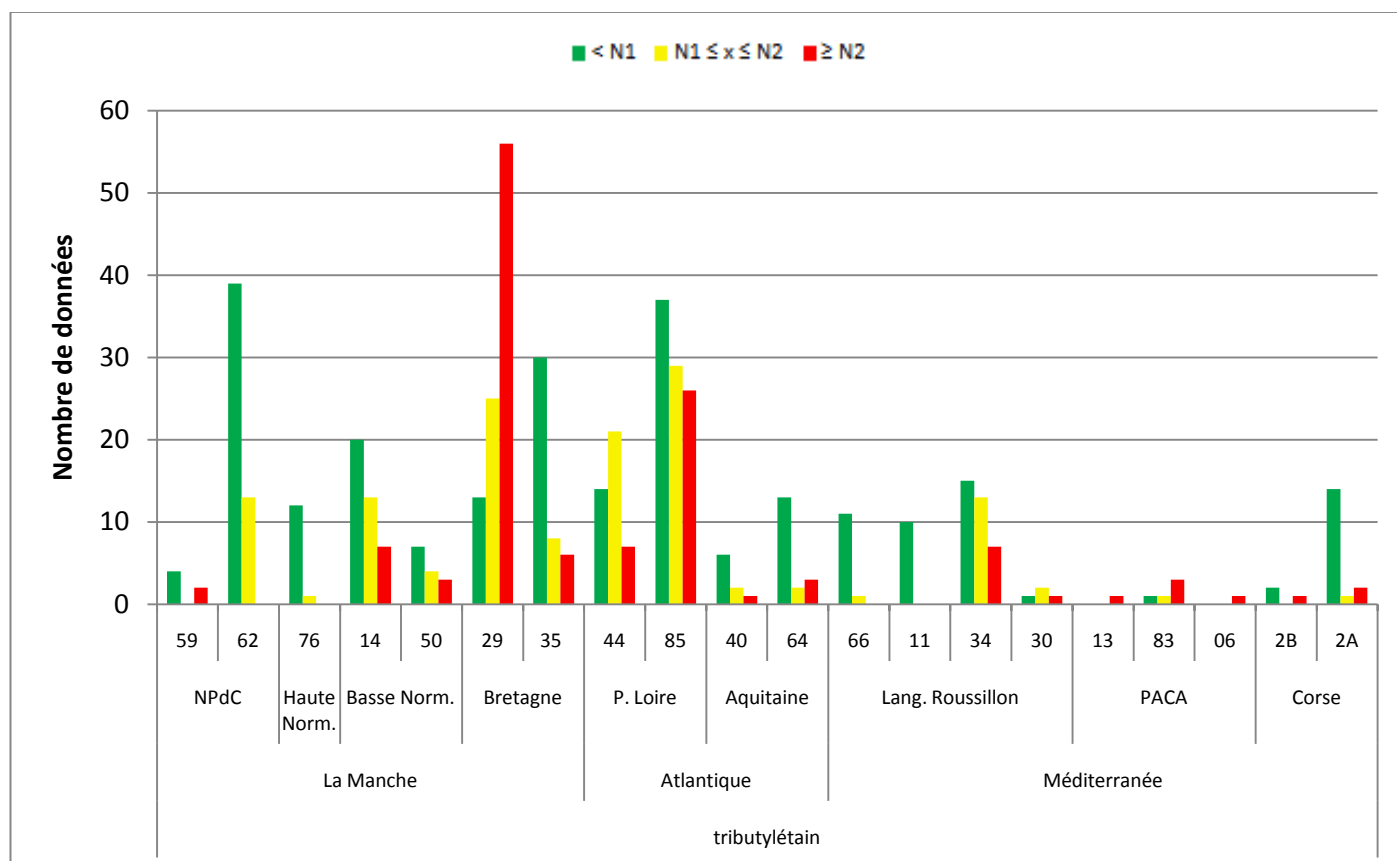


Figure 55 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le TBT, en fonction des différents des départements.

Les dépassements des valeurs seuils pour le TBT montrent une forte concentration sur de nombreux sédiments marins de plusieurs départements. Le Finistère (29) présente des concentrations en TBT \geq N2 pour 59,6 %, et comprises entre N1 et N2 pour 26,6 % des échantillons. Seuls les départements de la région PACA présentent eux aussi plus d'1 échantillon sur 2 \geq N2, mais sur un nombre d'échantillon beaucoup moins important. Dans les régions Basse Normandie, Pays de la Loire, et pour les départements de l'Hérault (34) le taux de dépassement des seuils N1 et N2 est nettement plus élevé (plus d'1 échantillon sur deux au minimum compris entre N1 et N2). 10 % des échantillons de la Seine Maritime (76), les Pyrénées Orientales (66), et l'Aude (11) présentent des concentrations inférieures au seuil N1.

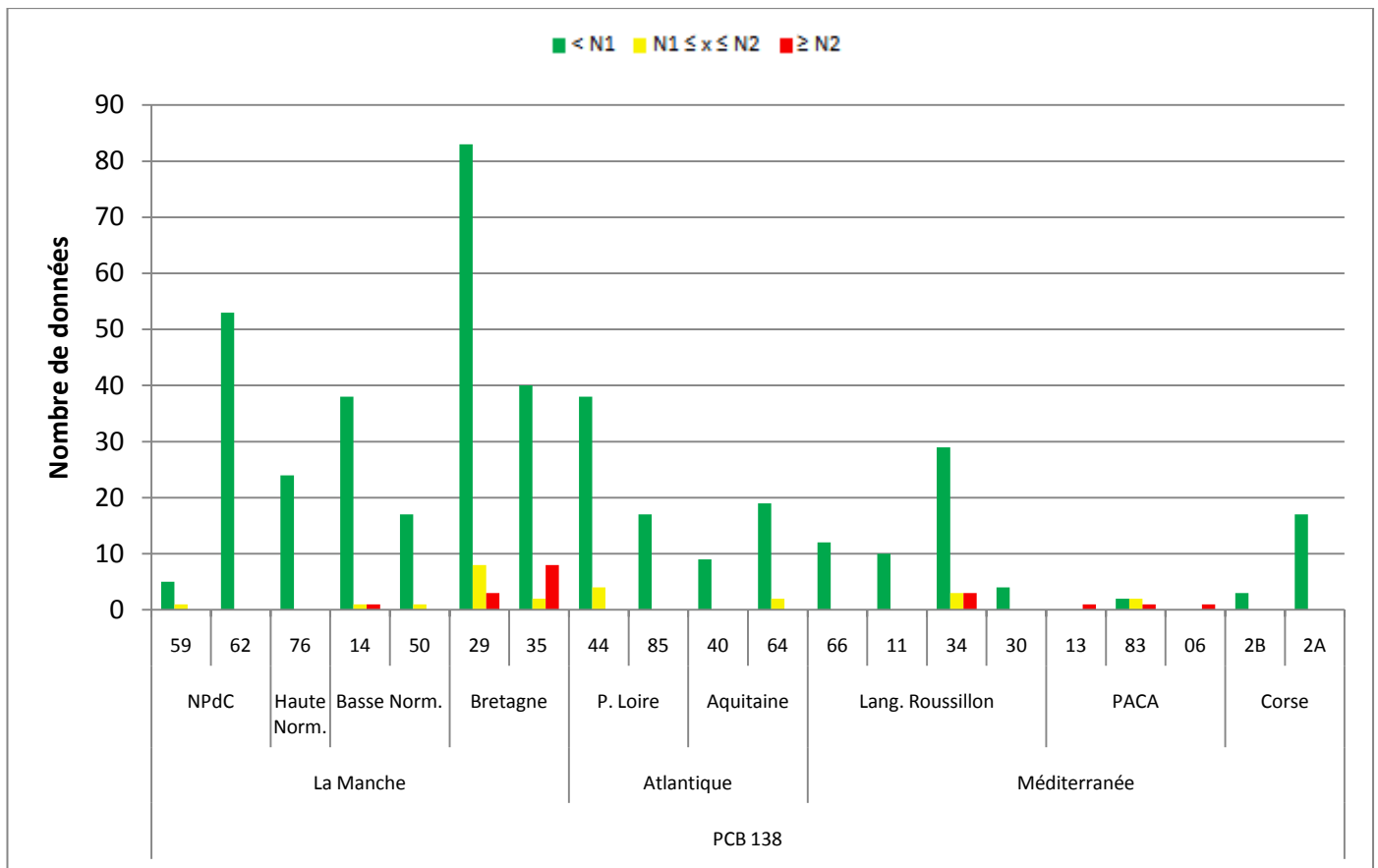


Figure 56 : Nombre de données < N1, comprises entre N1 et N2, et ≥ N2 pour le PCB 138, en fonction des différents des départements.

Le dépassement des valeurs seuils N1 et N2 est présenté étudié par département pour un des congénères des PCB. Il y a relativement peu de dépassement pour l'ensemble des départements. La région PACA présente les dépassements les plus importants encore une fois, mais sur un total constitué de 6 échantillons dans le VAR (83) et de 1 échantillon chacun pour les départements des Bouches-du-Rhône (13) et des Alpes-Maritimes (06). Des dépassements sont aussi à souligner en Bretagne et dans l'Hérault (34) pour environ 20 % des échantillons, dont 16 % sont ≥ N2 dans l'Ille et Vilaine (35).

3.3.2 Distribution des familles analytiques en fonction des seuils N1 et N2

Nous regroupons les paramètres par famille (une famille est comprise entre N1 et N2 lorsqu'un de ses paramètres est compris entre N1 et N2), en considérant uniquement les échantillons complets³⁰. Les dépassements sont un peu plus importants pour les métaux que pour les contaminants organiques (Figure 57) :

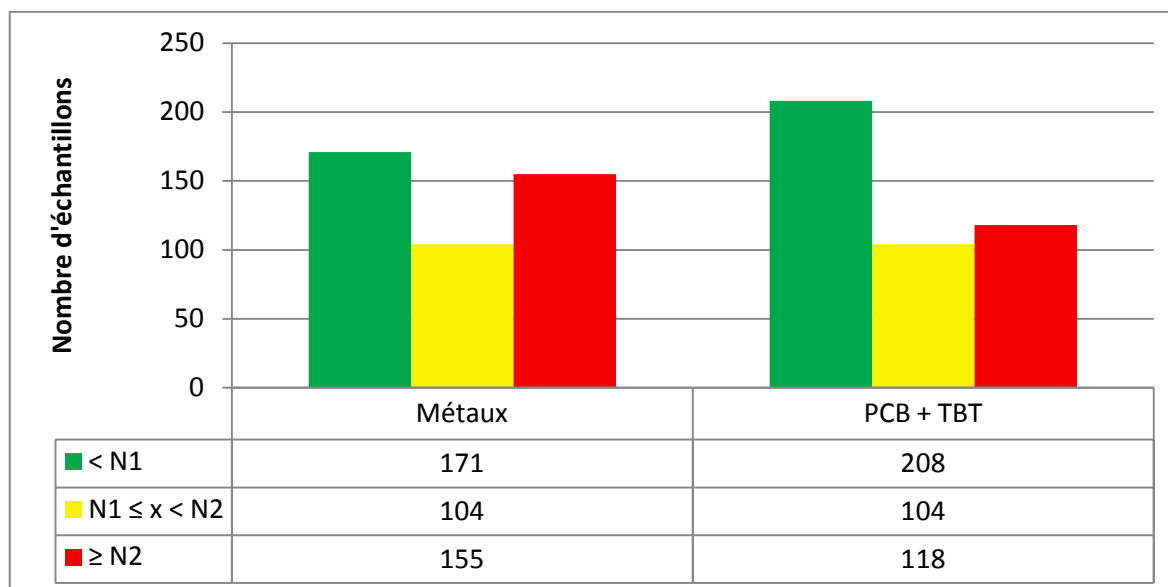


Figure 57 : Nombre d'échantillons complets classés par famille < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2.

- 25 % des échantillons sont compris entre N1 et N2 pour les métaux et les contaminants organiques ;
- 35 % des échantillons sont ≥ N2 pour les métaux et 25% pour les contaminants organiques.

³⁰ Dans le cas où l'on étudie le taux de dépassement pour un ensemble de paramètres, pour un même échantillon, le choix de travailler avec uniquement les échantillons complets devient une obligation.

3.3.3 Distribution des échantillons en fonction des seuils N1 et N2.

Les dépassements des valeurs seuils N1 et N2 pour les échantillons complets sont présentés dans la Figure 58. **Seulement 27 % des échantillons respectent les valeurs seuils pour l'ensemble des paramètres, 28 % des échantillons compris entre N1 et N2, et 45 % des échantillons dépassent le seuil N2.**

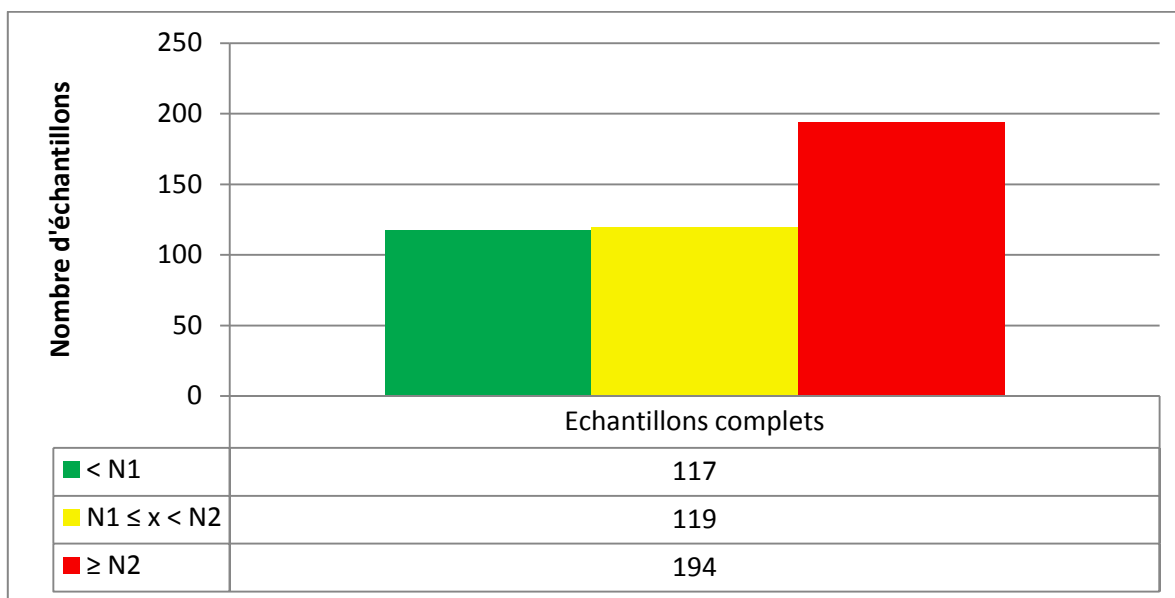


Figure 58 : Nombre d'échantillons < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2 pour l'ensemble de la base de données.

Les taux de dépassement observés par échantillon varient selon les départements et les régions (Figure 59). L'ensemble des départements de la façade méditerranéenne présente une majorité d'échantillons ≥ N2 (sauf pour les Pyrénées Orientales et l'Aude), alors que pour le Nord-Pas-de-Calais et la Haute Normandie 55 % et 62 % des échantillons sont compris entre N1 et N2. Pour les autres départements des façades de La Manche et atlantique, les dépassements restent fréquents (sauf pour le Finistère avec 68 % des échantillons ≥ N2). Alors que les sédiments fluviaux du Nord-Pas-de-Calais contiennent les plus fortes concentrations en métaux³¹, nous ne les retrouvons pas dans les sédiments marins. Ceci se relie aisément à la situation spécifique du Port de Dunkerque qui n'est pas situé à l'estuaire des canaux de navigation.

³¹ INERIS, 2010 : *Qualité des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles*. INERIS – DRC – 10-105335-04971A. PADOX J.M., HENNEBERT P., 26 juin 2010.

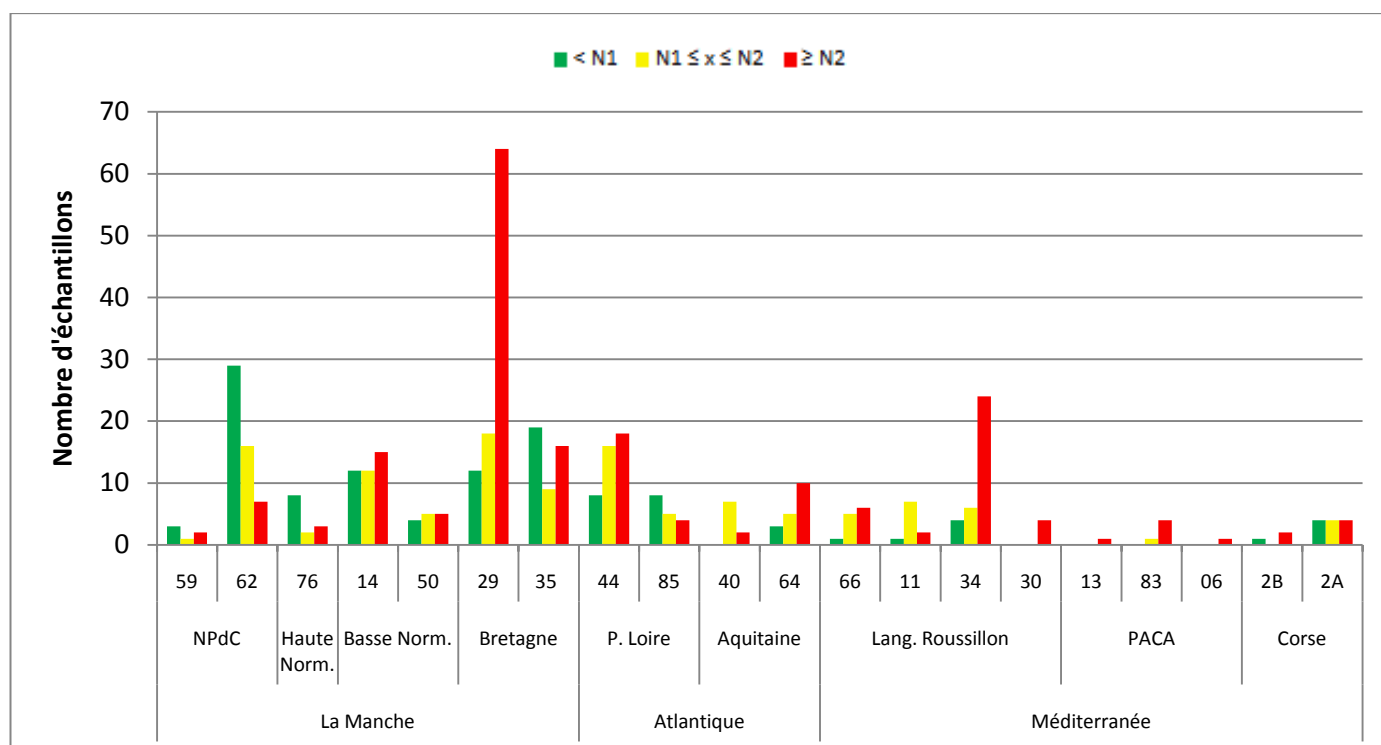


Figure 59 : Nombre d'échantillons < N1, compris entre N1 et N2, et ≥ N2 par département. Un seul paramètre ≥ N1 ou ≥ N2 classe la famille en ≥ N1 ou ≥ N2.

Conclusion sur le dépassement des valeurs seuils :

45 % des échantillons dépassent le seuil N2 et 25 % sont compris entre N1 et N2, avec des concentrations importantes en **cuivre** et en **TBT** principalement. Les dépassements se localisent au niveau de la **façade méditerranéenne** et dans **le Finistère**. Les sédiments marins du Nord-Pas-de-Calais sont moins sujets à dépassement, malgré les contaminations observées sur les sédiments fluviaux.

4. Conclusion

L'INERIS a établi une base de données sédiments marins à partir du Réseau de surveillance de Ports Maritimes (REPOM) animé par l'IFREMER et de deux projets de caractérisation et de traitement de sédiments (PROPSSED et SEDIMARD). Elle comporte 27 538 données pour 818 échantillons, sur une période allant de 1996 à 2008.

Les teneurs médianes en contaminants sont les suivantes : As 13,0 mg/kg, Cd 0,33 mg/kg, Cr 51,0 mg/kg, Cu 41,3 mg/kg, Hg 0,13 mg/kg, Ni 20,0 mg/kg, Pb 41,0 mg/kg, Zn 1 500 mg/kg, PCB 0,010 mg/kg (pour l'ensemble des congénères), TBT 0115 mg/kg, somme des 16 HAP 1,49 mg/kg et HCT 100 mg/kg. Les teneurs médianes des fractions granulométriques sont de 5,71 % d'argile, 63,0 % de limon, 27,3 % de sable, avec 3,4 % de carbone organique et 0,35% d'azote Kjeldahl. Les analyses de lixiviats, disponibles uniquement pour le projet SEDIMARD, sont toutes inférieures aux valeurs réglementaires pour le stockage en décharge des déchets inertes pour les métaux lourds.

La distribution des concentrations par polluant est normale (gaussienne) pour l'arsenic, le chrome et le nickel. Le cuivre montre une distribution log-normale. Pour l'ensemble des autres paramètres, les distributions sont non normales et dominées par quelques points particulièrement contaminés (teneurs jusqu'à 400 fois plus grandes pour le TBT) ou par la non détection de certains contaminants (60 % des mesures de PCB sont \leq LQ). Sur 118 lieux, des chroniques annuelles ont été recueillies (une donnée par an et par lieu, répétée entre 1 et 10 années). Ces chroniques montrent une variabilité très importante, mais non systématique, des concentrations en contaminants pour un même lieu au cours des années pour tous les contaminants, modifiant le classement réglementaire du lieu d'une année à l'autre. L'absence de plusieurs campagnes de mesures une même année ne permet pas l'étude de la variabilité intra-annuelle.

Certains paramètres sont corrélés sur le plan statistique (corrélation deux à deux généralement dictées par des valeurs extrêmes ou la présence de nombreuses concentrations à la limite de quantification, analyse en composantes principales) mais ces corrélations sont peu opérationnelles et ne montrent pas une structure claire des contaminations, la variabilité géographique ou chronologique l'emportant sur la physico-chimie du comportement des contaminants. Les meilleures corrélations sont observées entre chrome et nickel, entre plomb et zinc et entre les différents congénères de PCB.

Le regroupement des échantillons par classification ascendante hiérarchique permet de différencier des groupes de contamination croissante dont 3 échantillons avec des concentrations particulièrement importantes en métaux, PCB et TBT (ports de Macinaggio en Corse, de Marseille et de Toulon).

Le classement a été possible selon la réglementation du dragage des sédiments marins (seuils N1 et N2) pour la moitié des échantillons (présentant des données complètes) : 25 % des échantillons sont compris entre N1 et N2 (étude complémentaire nécessaire pour clapage en mer) et 45 % des échantillons dépassent le seuil N2 (étude du milieu récepteur nécessaire), principalement du fait des teneurs en cuivre et en TBT. Les dépassements de seuils se localisent principalement en façade méditerranéenne et dans le Finistère.

5. Références citées

BATAILLE T., LE GUYADER C., SIMON A., 2010. *XI^{ème} Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil : Bilan national du réseau de surveillance de la qualité de l'eau et des sédiments dans les ports maritimes (REPOM) 1997 à 2006.*

BRIGNON J.M., 2005. *Fiche du tributylétain.* INERIS-DRC-MECO (page consultée le 20 sep 2010)
http://rsde.ineris.fr/fiches/fiche_Tributyletain.pdf

FOCUS ON IMO, 2002. *Anti-fouling systems.* (Page consultée le 08 Aout 2010)
http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D7986/FOULING2003.pdf

INERIS, 2009. *Impacts sur les milieux aquatiques des sédiments de dragage gérés à terre : Problématique, contexte réglementaire, modélisation du transfert de contaminants organiques.* INERIS-DRC-08-95306-16457A. BENARD A., HAZEBROUCK B., 30 juin 2009.

INERIS, 2010. *Qualité des sédiments fluviaux en France : synthèse des bases de données disponibles.* INERIS-DRC-10-105335-04971A PADOX J.M., HENNEBERT P., 26 juin 2010.

PROPSSED, 2009. *Caractérisation de trois types de sédiments de curage,* Rapport final BRGM/RP 57506-FR, S. TOUZE & al, Juillet 2009.

Règlement (CE) n° 782/2003 du Parlement européen et du Conseil du 14 Avril 2003 interdisant les composés organostanniques sur les navires. Paru au Journal Officiel des Communautés européennes le 09/05/2003.

6. Liste des annexes

Repère	Désignation	Nb pages
Annexe 1	Relation des concentrations lixiviables en fonction de la concentration totale en métaux et en TBT, pour les données du réseau SEDIMARD.83	3 A4
Annexe 2	Liste des ports de la base de données sédiments marins, par origine des données, façade maritime, région et département	3 A4
Annexe 3	Liste des paramètres de la base de données sédiment marin, nombre de données par façade maritime, région et département	7 A4
Annexe 4	Table des concentrations médianes par paramètre et par département	2 A4

Annexe 1 : Relation entre les concentrations lixiviables et les concentrations totales en métaux et en TBT, pour les données du réseau SEDIMARD.83

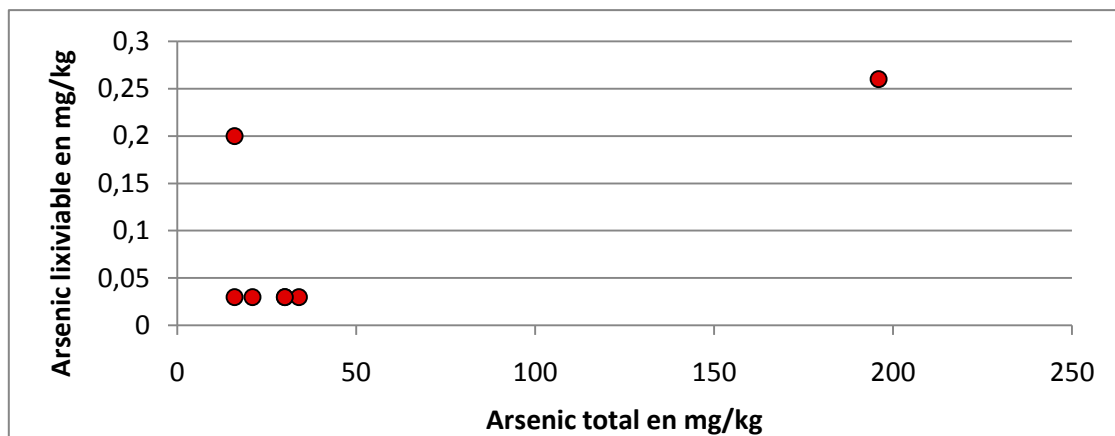


Figure 60 : Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD

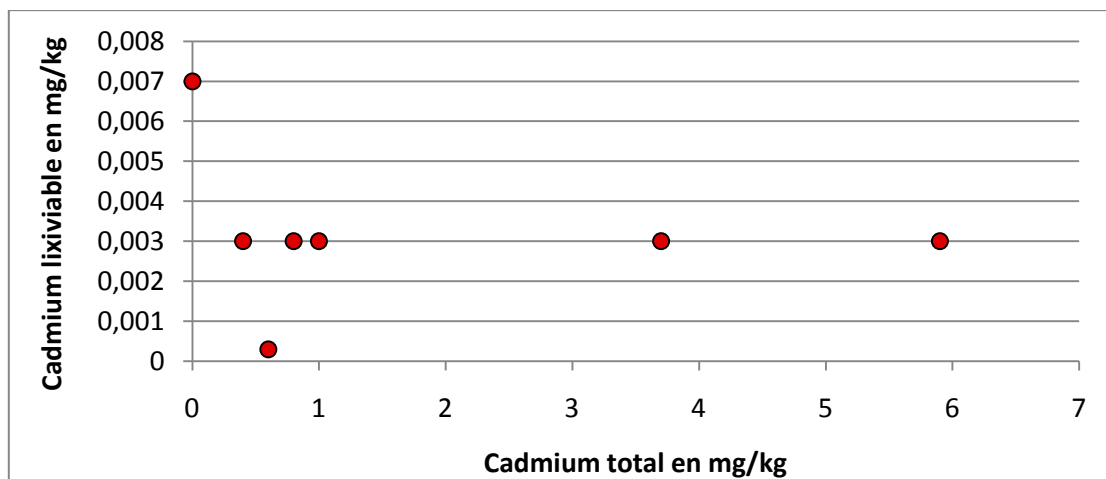


Figure 61: Concentration en cadmium lixiviable en fonction de la concentration en cadmium total pour les données du réseau SEDIMARD

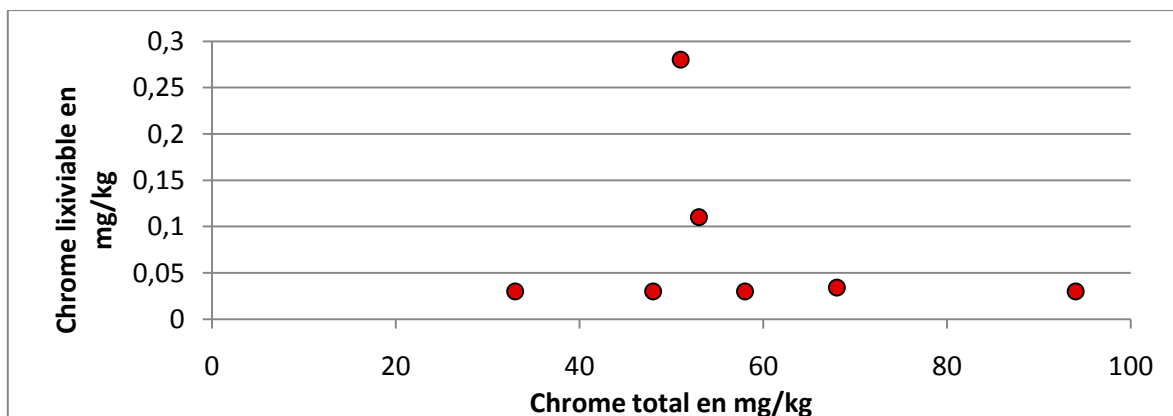


Figure 62: Concentration en chrome lixiviable en fonction de la concentration en chrome total pour les données du réseau SEDIMARD

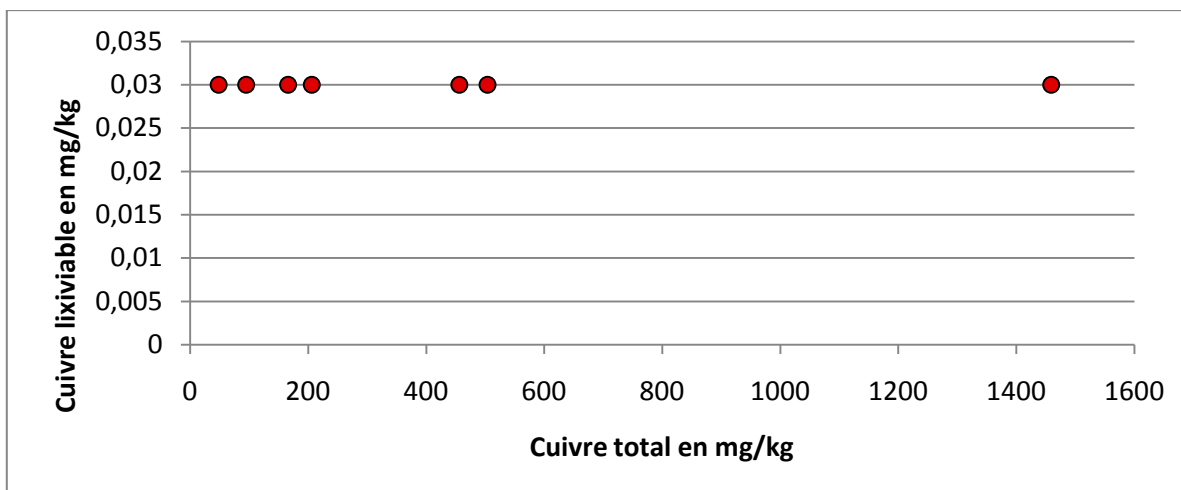


Figure 63: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD

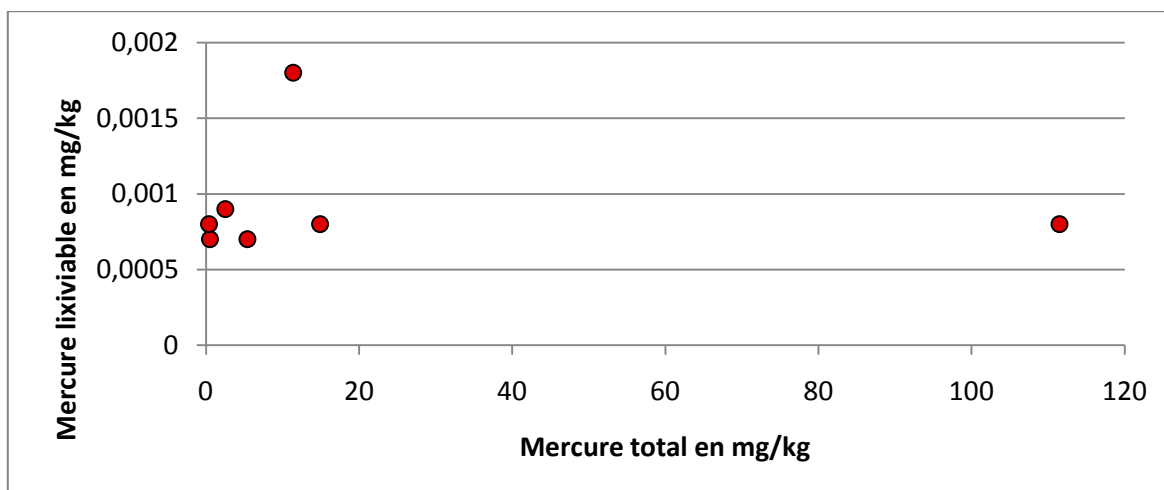


Figure 64: Concentration en mercure lixiviable en fonction de la concentration en mercure total pour les données du réseau SEDIMARD

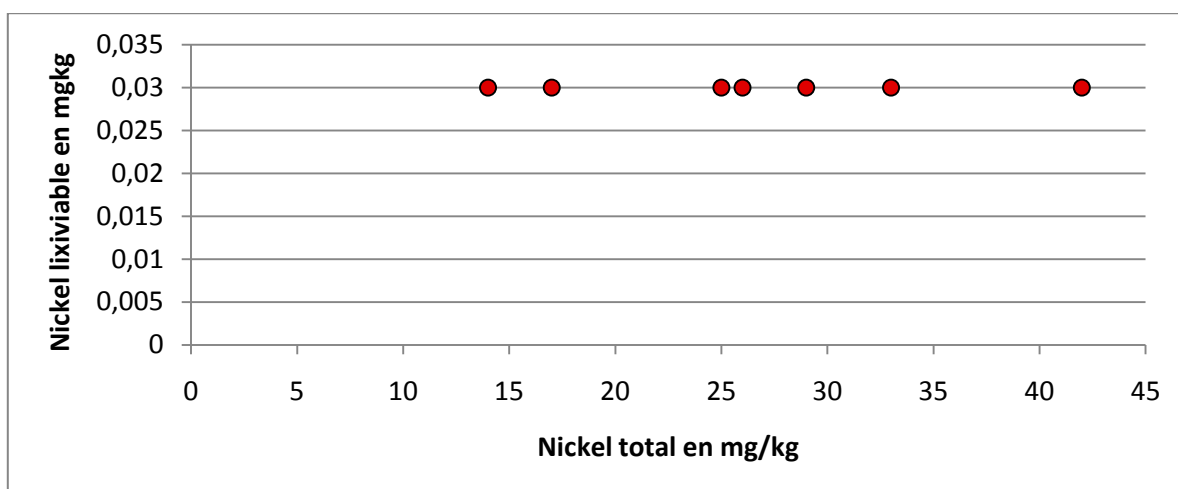


Figure 65: Concentration en nickel lixiviable en fonction de la concentration en nickel total pour les données du réseau SEDIMARD

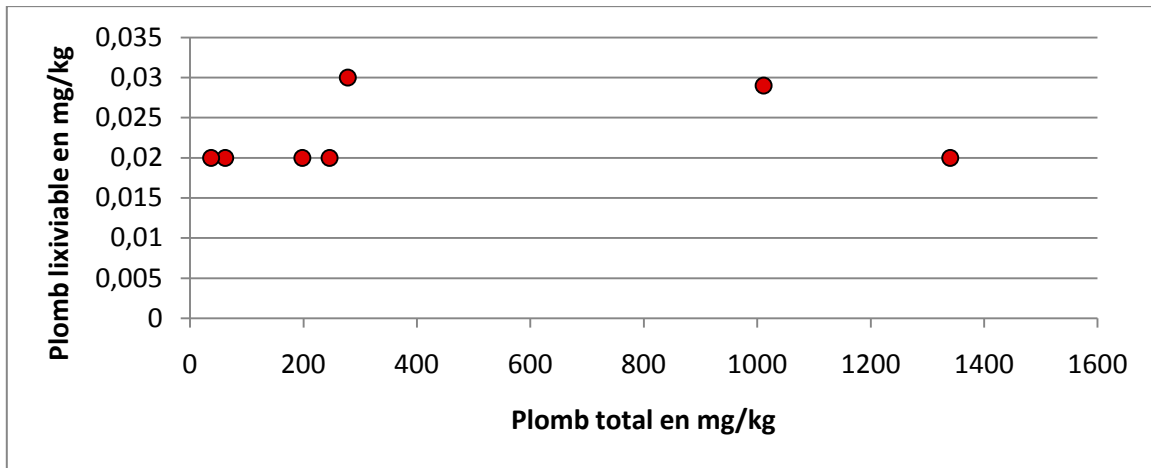


Figure 66: Concentration en plomb lixiviable en fonction de la concentration en plomb total pour les données du réseau SEDIMARD

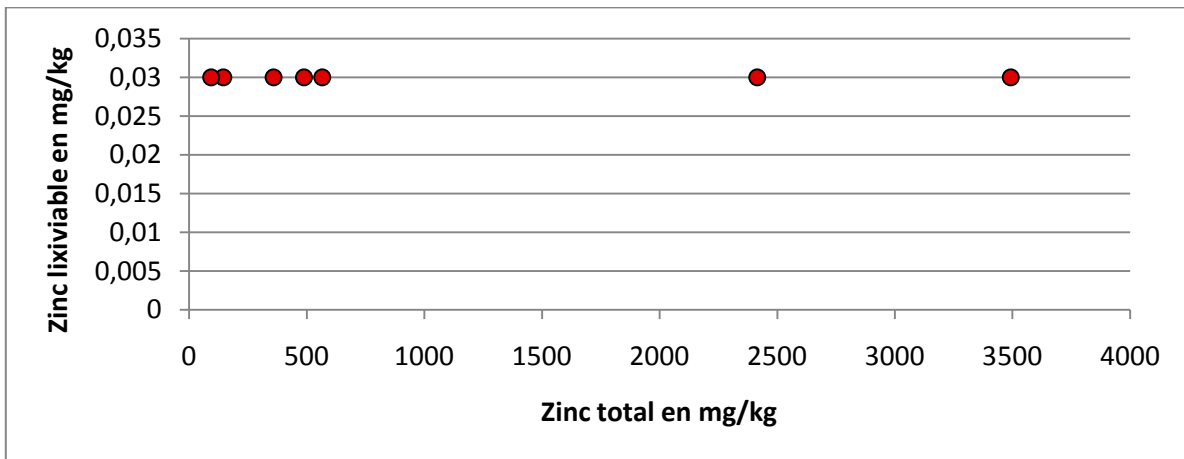


Figure 67: Concentration en arsenic lixiviable en fonction de la concentration en arsenic total pour les données du réseau SEDIMARD

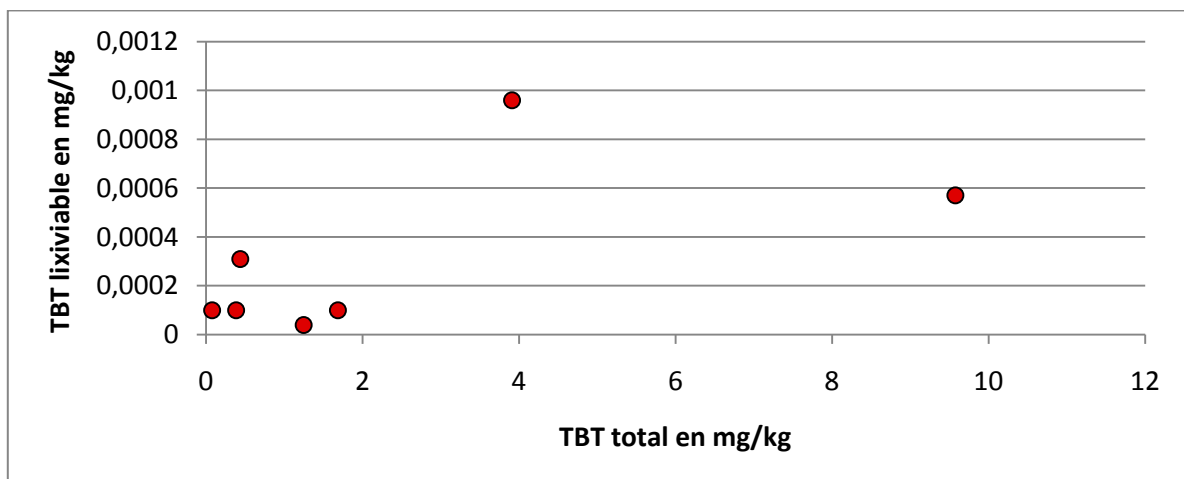


Figure 68 : Concentration en TBT lixiviable en fonction de la concentration en TBT total pour les données du réseau SEDIMARD

Annexe 2 : Liste des ports de la base des données sédiments marins, par origine de données, façade maritime, région et département

Origine	Ports
REPOM	
La Manche	
Nord-Pas-de-Calais	
<i>Nord (59)</i>	Dunkerque
<i>Pas de Calais (62)</i>	Boulogne/Mer Calais
Normandie Haute	
<i>Seine Maritime (76)</i>	Dieppe Fecamp Le Havre Le Tréport Saint Valéry
Normandie Basse	
<i>Calvados (14)</i>	Caen Courseulles Deauville Dives Grandcamp Port-en-Bessin
<i>Manche (50)</i>	Barfleur Barneville Carentan Cherbourg Dielette Granville Saint Vaast la Hougue
Bretagne	
<i>Finistère (29)</i>	Bénodet Penfoul Brest Combrit Concarneau Crozon Morgat Douarnenez La Forêt Fouesnant Le Guilvinec Loctudy Penmarch Roscoff
<i>Ille et vilaine (35)</i>	Cancale Dinard Le Vivier sur Mer Saint Briac le Frémur Saint Malo

Origine	Ports
Atlantique	
Pays de la Loire	
<i>Loire Atlantique (44)</i>	La Baule La Turballe Le Croisic Nantes Piriac Pornic Pornichet Saint-Michel
<i>Vendée (85)</i>	Bouin Jard sur Mer La Barre de Monts L'aiguillon sur Mer Les Sables d'Olonne L'île d'Yeu Noimoutier Saint Gilles Croix de Vie Talmont
Aquitaine	
<i>Landes (40)</i>	Capbreton
<i>Pyrénées Atlantiques (64)</i>	Bayonne Biarritz Hendaye La Nouvelle Saint Jean de Luz
Méditerranée	
Languedoc Roussillon	
<i>Pyrénées Orientales (66)</i>	Argelès Canet Port Barcarès Port-Vendres Saint Cyprien
<i>Aude (11)</i>	Gruissan Port la Nouvelle Port Leucate
<i>Hérault (34)</i>	Cap d'Agde Carnon Frontignan La Grande Motte Palavas les Flots Sète
<i>Gard (30)</i>	Le Grau du Roi Port Camargue
PACA	
<i>Bouches-du-Rhône (13)</i>	Marseille

Origine	Ports
<i>Var (83)</i>	Sainte Maxime
Corse	
<i>Corse du Sud (2A)</i>	Ajaccio Bonifacio Porto-Vecchio
<i>Haute Corse (2B)</i>	Bastia Calvi Ile Rousse Macinaggio Saint Florent
Outre-mer	
Guadeloupe	
<i>Guadeloupe (971)</i>	Bas-du-Fort Pointe à Pitre
PROPSÉD	
La Manche	
Nord-Pas-de-Calais	
<i>Nord (59)</i>	Dunkerque
SEDIMARD	
Méditerranée	
PACA	
<i>Bouches-du-Rhône (13)</i>	Marseille
<i>Var (83)</i>	Bandol Bregallon Saint Mandrier Sanary Lavandou Toulon
<i>Alpes Maritimes (06)</i>	Cannes

Annexe 3 : Liste des paramètres de la base de données sédiments marins, nombre de données par façade maritime, région et département

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total		
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA					Corse	
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971	
Contaminants Inorganiques	330	520	462	361	347	872	494	1 253	1 843	98	200	107	80	384	57	22	79	14	147	143	28	7 841
Métaux	296	480	360	320	310	776	400	966	1 432	78	168	96	80	327	48	16	48	8	132	137	22	6 500
arsenic	37	60	45	40	38	97	50	112	179	10	21	12	10	41	6	2	6	1	17	18	2	804
cadmium	37	60	45	40	39	97	50	122	179	10	21	12	10	41	6	2	6	1	17	18	4	817
chrome	37	60	45	40	39	97	50	122	179	9	21	12	10	41	6	2	6	1	17	18		812
cuivre	37	60	45	40	39	97	50	122	179	10	21	12	10	41	6	2	6	1	17	18	4	817
mercure	37	60	45	40	38	97	50	122	179	10	21	12	10	41	6	2	6	1	17	18	4	816
nickel	37	60	45	40	39	97	50	122	179	9	21	12	10	41	6	2	6	1	13	13		803
plomb	37	60	45	40	39	97	50	122	179	10	21	12	10	41	6	2	6	1	17	17	4	816
zinc	37	60	45	40	39	97	50	122	179	10	21	12	10	40	6	2	6	1	17	17	4	815
Métaux autres	34	40	102	41	37	96	94	287	411	20	32	11		57	9	6	31	6	15	6	6	1 341
aluminium total	2	25	24		1			44	177	10	21	10		41	6	1	6	1	3		2	374
antimoine																1	5	1				7
baryum	2															1	5	1				9
bore	2																					2
calcium	2																					2
cobalt	2																					2
étain total	4	15	40	40	35	96	50	122	166	10	11			3	2					3	2	599
fer	2		12																			14
magnésium	2																					2

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total		
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse			
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971	
manganèse	2		12																			14
molybdène																1	5	1				7
phosphore total	4		14	1	1		44	121	68			1		13	1	1	5	1	12	3		290
potassium	2																					2
sélénium																1	5	1				7
silicium	2																					2
sodium	2																					2
titane	2																					2
vanadium	2																				2	4
Contaminants Organiques	186	1 363	440	1 070	390	2 465	1 076	1 650	717	217	529	337	284	951	82	34	186	34	420	93	4	12 528
PCB	48	424	192	319	147	752	400	336	136	72	168	96	80	291	34	8	40	8	135	24		3 710
PCB 28	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 52	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 101	6	53	24	39	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		461
PCB 118	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 138	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 153	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 180	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	16	3		461
Somme 7 PCB	6	53	24	40	18	94	50	42	17	9	21	12	10	35	4	1	5	1	17	3		462
PCB 35							1															1
PCB 105							1							11	2							14
PCB 156							1															1
BTEX																5	25	5				35
benzène																1	5	1				7
toluène																1	5	1				7

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total			
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse				
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971		
ethyl benzène																1	5	1					7
m+p xylène																1	5	1					7
o xylène																1	5	1					7
Organostanniques	24	54	39	70	21	248	76	78	126	19	50	40	33	114	13	3	15	3	51	10		1 087	
tributylétain	6	52	13	40	14	94	44	42	92	9	18	12	10	35	4	1	5	1	17	3		512	
dérivés de tetrabutylétain	2																					2	
dibutylétain	10	1	13	15	3	77	16	18	17	5	16	12	10	35	4	1	5	1	17	4		280	
monobutylétain	6	1	13	15	3	77	16	18	17	5	16	12	10	34	4	1	5	1	17	3		274	
triphenylétain					1							4	3	10	1							19	
HAP	106	878	173	643	194	1 368	550	1 125	289	118	307	201	170	536	33	17	101	17	232	53		7 111	
Somme 16 HAP	10	60	13	40	18	94	50	72	17	9	21	12	10	32	2	1	5	1	16	4		487	
acénaphène	5	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		377	
acénaphthylène	3	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	11	10	24	1	1	6	1	12	3		365	
anthracène	6	46	8	39	7	71	20	62	17	6	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		377	
benzo(a)anthracène	6	46	13	40	7	71	20	62	17	8	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		385	
benzo(a)pyrène	6	59	13	40	17	94	50	72	17	7	21	12	10	32	2	1	6	1	16	3		479	
benzo(b)fluoranthène	6	60	12	40	18	94	50	72	17	9	21	12	10	32	2	1	6	1	16	3		482	
benzo(e)pyrène		1																				1	
benzo(g,h,i)fluoranthène		1												1								2	
benzo(g,h,i)pérylène	6	59	8	40	18	94	50	72	17	9	21	12	10	31	2	1	6	1	16	3		476	
benzo(k)fluoranthène	6	60	12	40	18	94	50	72	17	9	21	12	10	32	2	1	6	1	16	3		482	
chrysène	6	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		378	
dibenzo(a,h)anthracène	10	46	12	4	7	71	20	62	17	2	16	12	10	32	2	1	6	1	12	4		347	
fluoranthène	6	60	13	40	17	94	50	72	17	8	21	12	10	32	2	1	6	1	16	3		481	
fluorène	6	46	13	40	7	71	20	63	17	7	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		385	

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total		
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse			
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971	
indéno(1,2,3-cd)pyrène	6	58	8	40	18	94	50	72	17	8	21	12	10	32	2	1	6	1	16	3		475
naphtalène	6	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	12	10	32	2	1	6	1	12	3		378
phénanthrène	6	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	11	10	32	2	1	6	1	12	3		377
pyrène	6	46	8	40	7	71	20	62	17	6	16	11	10	32	2	1	6	1	12	3		377
Hydrocarbures	6	7	36	38	28	97	50	111	166	8	4			8	2	1	5	1		3	4	575
hydrocarbures totaux	6	7	36	38	28	97	50	111	166	8	4			8	2	1	5	1		3	4	575
Organométalliques																				2	3	5
méthylmercure																				2	3	5
Pesticides phosphorés														1	2							3
dibenzothiophène														1	2							3
Phénols	2																					2
indice phénol	2																					2
Lixiviation	16															23	115	23				177
Métaux																8	40	8				56
arsenic lixi.																1	5	1				7
cadmium lixi.																1	5	1				7
chrome lixi.																1	5	1				7
cuivre lixi.																1	5	1				7
mercure lixi.																1	5	1				7
nickel lixi.																1	5	1				7
plomb lixi.																1	5	1				7
zinc lixi.																1	5	1				7
Métaux autres	2															6	30	6				44
ammonium lixi.																1	5	1				7
antimoine lixi.																1	5	1				7

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total		
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse			
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971	
baryum lixi.																1	5	1				7
chrome hexavalent lixi.	2															1	5	1				9
molybdène lixi.																1	5	1				7
sélénium lixi.																1	5	1				7
Organostanniques																1	5	1				7
tributylétain lixi.																1	5	1				7
Anions	8															4	20	4				36
chlorures lixi.	2															1	5	1				9
cyanures libres lixi.																1	5	1				7
fluorures lixi.	2															1	5	1				9
phosphates lixi.	2																					2
sulfates lixi.	2															1	5	1				9
Divers	6															4	20	4				34
carbone organique total lixi.																1	5	1				7
conductivité lixi.																1	5	1				7
indice phénol lixi.	2															1	5	1				9
pH lixi.																1	5	1				7
rapport liquide/solide lixi.	2																					2
teneur en eau sur brut lixi.	2																					2
Microtoxiques						80																80
Tests bactériologiques						80																80
entérocoques intestinaux						40																40
escherichia coli						40																40
Physico-Chimiques	66	123	104	81	57	194	144	366	420	18	54	22	16	109	14	6	31	6	46	30	4	1 911
Azote	4		14	1			44	122	68		12	4	4	21	3	1	5	1	12			316

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total		
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse			
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971	
azote kjeldahl	4		14	1			44	122	68		12	4	4	21	3	1	5	1	12			316
COT	33	63	44	40	21	97	50	122	179	10	21	4	3	41	6	1	6	1	17	15	2	776
carbone organique total	33	60	44	40	21	97	50	122	179	10	21	4	3	40	6	1	6	1	17	15	2	772
matière organique 450°C		3												1								4
Siccité	27	60	43	40	34	97	50	122	173	8	21	4	3	26	4	1	5	1		12	2	733
siccité																1	5	1				7
matière sèche	27	60	43	40	34	97	50	122	173	8	21	4	3	26	4					12	2	726
Anions			3													2	10	2				17
chlorures																1	5	1				7
cyanures totaux			1													1	5	1				8
fluorures			2																			2
Divers	2				2							10	6	21	1	1	5	1	17	3		69
perte au feu 500 °C												10	6	21	1				17	3		58
pH					2											1	5	1				9
soufre	2																					2
Physique	131	366	252	237	209	664	334	932	981	36	116	97	82	241	38	2	27	13	158	83	2	5 001
Granulométrie	24	180	114	90	96	282	150	366	510	18	63	36	30	72	12		6	3	51	27		2 130
0 < ø < 2µm	8	60	38	30	32	94	50	122	170	6	21	12	10	24	4		2	1	17	9		710
2 < ø < 63µm	8	60	38	30	32	94	50	122	170	6	21	12	10	24	4		2	1	17	9		710
63 < ø < 2000µm	8	60	38	30	32	94	50	122	170	6	21	12	10	24	4		2	1	17	9		710
Granulométrie autres	103	186	124	144	113	382	184	488	471	18	47	61	52	164	26	2	20	9	107	56	2	2 759
<1mm																	2	1				3
<2mm																	2	1				3
0 < <1																	2	1				3
0 < <10																	2	1				3

Paramètre	La Manche							Atlantique				Méditerranée							Outre-mer	Total			
	NPdC		Haute Norm.	Basse Norm.		Bretagne		P. Loire		Aquitaine		Lang. Roussillon				PACA			Corse				
	59	62	76	14	50	35	29	44	85	40	64	66	11	34	30	13	83	06	2A	2B	971		
0 < < 125																	2	1					3
0 < < 500																	2	1					3
fraction > 2 mm	25	7	7	40	25	97	50	122	131		5	12	10	39	6	1	1		17	13	2	610	
fraction 0 < < 2 µm	35	60	34	30	35	94	50	122	170	9	21	5	4	20	3		2	1	7	13		715	
fraction 0 < < 20 µm					1																	1	
fraction 0 < < 200 µm																	2	1				3	
fraction 0 < < 2000 µm			34																			34	
fraction 0 < < 63 µm	35	60	30	40	37	97	50	122	170	9	21	12	10	27	5	1	3	1	17	18		765	
fraction 1000 < < 2000 µm														2								2	
fraction 160 < < 250 µm												8	7	19	3				16	3		56	
fraction 2 < < 63 µm			10																			10	
fraction 250 < < 500 µm												8	7	19	3				17	3		57	
fraction 500 < < 2000 µm												8	7	19	3				17	3		57	
fraction 63 < < 160 µm												8	7	19	3				16	3		56	
fraction 63 < < 2000 µm			9		11																	20	
médiane granulométrique	8	59		34	4	94	34	122														355	
Divers	4		14	3				78		6				5			1	1				112	
densité	4		14	3				78		6				5			1	1				112	
Total général	729	2 372	1 258	1 829	1 003	4 195	2 048	4 201	3 961	369	899	563	462	1 685	191	87	438	90	771	349	38	27 538	

Annexe 4 : Table des concentrations médianes par paramètre et par département

Nombre de données et concentrations médianes par paramètre et par département pour les façades maritimes de La Manche et Atlantique :

	La Manche										Atlantique											
	NPdC				Haute Norm.		Basse Norm.				Bretagne				P. Loire				Aquitaine			
	59		62		76		14		50		35		29		44		85		40		64	
	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy
arsenic	37	10.9	60	9.15	45	9.80	40	9.55	38	10.2	50	8.55	97	13.0	112	15.0	179	16.0	10	28.0	21	11.6
cadmium	37	0.50	60	0.35	45	0.70	40	0.40	39	0.50	50	0.20	97	0.31	122	0.20	179	0.24	10	0.39	21	0.45
chrome	37	48.0	60	37.5	45	55.0	40	60.5	39	26.0	50	40.5	97	47.0	122	66.0	179	62.0	9	22.0	21	24.0
cuivre	37	14.0	60	14.0	45	41.0	40	48.5	39	48.0	50	27.0	97	63.5	122	43.0	179	40.0	10	47.5	21	44.0
mercure	37	0.14	60	0.12	45	0.42	40	0.15	38	0.40	50	0.20	97	0.26	122	0.10	179	0.08	10	0.12	21	0.20
nickel	37	13.0	60	11.5	45	22.0	40	18.5	39	20.0	50	13.0	97	17.0	122	25.0	179	24.0	9	12.0	21	18.0
plomb	37	34.0	60	25.0	45	57.0	40	44.0	39	34.5	50	25.0	97	49.0	122	47.0	179	37.5	10	38.5	21	63.0
zinc	37	110	60	110	45	159.0	40	179	39	152	50	78.5	97	190	122	150	179	147	10	181	21	166
PCB 28	6	0.010	53	0.010	24	0.010	40	0.001	18	0.025	50	0.004	94	0.010	42	0.010	17	0.010	9	0.25	21	0.025
PCB 52	6	0.010	53	0.010	24	0.010	40	0.001	18	0.025	50	0.010	94	0.010	42	0.010	17	0.010	9	0.025	21	0.025
PCB 101	6	0.010	53	0.010	24	0.011	39	0.003	18	0.038	50	0.010	94	0.010	42	0.010	17	0.010	9	0.050	21	0.050
PCB 118	6	0.010	53	0.010	24	0.010	40	0.002	18	0.025	50	0.010	94	0.010	42	0.010	17	0.010	9	0.025	21	0.025
PCB 138	6	0.010	53	0.010	24	0.018	40	0.003	18	0.050	50	0.010	94	0.020	42	0.010	17	0.010	9	0.05	21	0.050
PCB 153	6	0.010	53	0.010	24	0.015	40	0.004	18	0.050	50	0.010	94	0.020	42	0.010	17	0.010	9	0.05	21	0.050
PCB 180	6	0.010	53	0.010	24	0.012	40	0.002	18	0.025	50	0.010	94	0.010	42	0.010	17	0.010	9	0.025	21	0.025
TBT	6	0.02	52	0.03	13	0.03	40	0.09	14	0.1	44	0.05	94	0.55	42	0.19	92	0.20	9	0.01	18	0.02
HCT	6	68.0	7	930	36	47.7	38	38.9	28	40.5	50	95.5	97	433	111	100	166	68.4	8	1.00	4	86.5
Σ16 HAP	10	1.20	60	0.72	13	0.93	40	1.53	18	1.26	50	2.28	94	3.87	72	1.14	17	0.9	9	0.49	21	1.2
argile	8	76.2	60	70.6	38	61.5	30	74.0	32	57.0	50	59.3	94	56.7	122	73.1	170	67.2	6	11.1	21	32.9
limon	8	16.9	60	20.6	38	22.5	30	23.1	32	22.2	50	34.9	94	40.1	122	22.1	170	25.4	6	65.0	21	42
sable	8	6.91	60	10.3	38	7.27	30	3.56	32	8.07	50	6.34	94	3.33	122	4.72	170	6.50	6	17.2	21	19.2
COT	33	3 000	60	24 500	44	3 090	40	32 825	21	30 000	50	14 500	97	33 000	122	30 000	179	27 000	10	5 460	21	35 900
azote	4	2 350	-	-	14	2 600	1	10 000	-	-	44	1 500	-	-	122	3 200	68	3 050	-	-	12	3 000

Nombre de données et concentrations médianes par paramètre et par département pour les façades maritimes Méditerranéenne et d'Outre-mer :

	Méditerranée																Outre-mer			
	Lang. Roussillon								PACA						Corse				971	
	66		11		34		30		13		83		06		2A		2B		971	
	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy	n	moy
arsenic	12	14.8	10	17.9	41	12.0	6	9.85	2	30.0	6	23.0	1	21.0	17	6.00	18	11.0	2	6.00
cadmium	12	0.30	10	0.48	41	0.70	6	0.22	2	3.58	6	0.66	1	0.60	17	0.14	18	0.22	4	0.45
chrome	12	43.5	10	48.0	41	51.0	6	35.4	2	115.5	6	55.5	1	48.0	17	15.0	18	178	-	-
cuivre	12	89.5	10	56.7	41	117.0	6	154.0	2	617.4	6	217.0	1	166.0	17	23.0	18	59.1	4	32.5
mercure	12	0.10	10	0.10	41	0.25	6	0.09	2	16.3	6	1.50	1	5.40	17	0.20	18	0.15	4	0.19
nickel	12	24.0	10	25.0	41	25.7	6	24.3	2	42.5	6	28.5	1	17.0	13	5.00	13	123	-	-
plomb	12	35.0	10	28.5	41	49.7	6	44.0	2	691	6	246.0	1	198	17	47.5	17	27.6	4	27.0
zinc	12	139	10	108	40	231	6	196	2	1 626	6	413.0	1	359	17	91.4	17	115	4	76.0
PCB 28	12	0.0004	10	0.0003	35	0.003	4	0.001	1	0.004	5	0.004	1	0.004	17	0.001	3	0.002	-	-
PCB 52	12	0.001	10	0.001	35	0.010	4	0.002	1	0.200	5	0.010	1	0.110	17	0.002	3	0.001	-	-
PCB 101	12	0.005	10	0.002	35	0.010	4	0.006	1	0.230	5	0.030	1	0.140	17	0.003	3	0.004	-	-
PCB 118	12	0.005	10	0.002	35	0.010	4	0.006	1	0.190	5	0.030	1	0.100	17	0.003	3	0.003	-	-
PCB 138	12	0.008	10	0.002	35	0.014	4	0.006	1	0.410	5	0.060	1	0.110	17	0.004	3	0.005	-	-
PCB 153	12	0.009	10	0.002	35	0.017	4	0.007	1	0.330	5	0.070	1	0.200	17	0.004	3	0.004	-	-
PCB 180	12	0.006	10	0.001	35	0.010	4	0.003	1	0.320	5	0.040	1	0.090	16	0.003	3	0.001	-	-
TBT	12	0.04	10	0.01	35	0.16	4	0.24	1	1.69	5	0.44	1	1.25	17	0.01	3	0.03	-	-
HCT	-	-	-	-	8	620	2	854	1	563	5	162.0	1	246	-	-	3	1.00	4	82.5
Σ16 HAP	12	0.82	10	0.21	32	6.13	2	0.51	1	71.4	5	1.91	1	12.1	16	2.34	4	0.81	-	-
argile	12	55.5	10	58.7	24	60.8	4	59.2	-	-	2	35.7	1	28.0	17	31.6	9	47.2	-	-
limon	12	27.6	10	22.7	24	23.6	4	24.4	-	-	2	62.0	1	70.0	17	66.5	9	46.9	-	-
sable	12	15.7	10	17.3	24	14.9	4	11.4	-	-	2	2.28	1	1.96	17	8.07	9	1.00	-	-
COT	4	19 850	3	27 500	40	4 250	6	2 300	1	88 000	6	43 000	1	27 400	17	13 000	15	970	2	40 000
azote	4	1 600	4	2 700	21	2 500	3	1 290	1	3 800	5	2 400	1	1 000	12	912	-	-	-	-