

**Suivi de la contamination métallique et organique  
de deux lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés  
au port de Goury et à l'Anse des Moulinets  
(Manche)**

**Année 2015**





<b>Numéro d'identification du rapport :</b> RST/ODE/UL/LERN/16-06 <b>Diffusion :</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> M.P. Halm-Lemeille  Adresse électronique : - adresse WWW : <a href="http://www.ifremer.fr/lern/">http://www.ifremer.fr/lern/</a>		<b>date de publication :</b> avril 2016  <b>nombre de pages :</b> 46 <b>bibliographie :</b> oui <b>illustrations :</b> oui <b>tableaux, graphiques :</b> oui  <b>langue du rapport :</b> Français
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b> Suivi de la contamination métallique et organique de deux lots de moules ( <i>Mytilus edulis</i> ) implantés au port de Goury et à l'Anse des Moulinets (Manche) - Année 2015		
Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> nom, prénom MENET Florence, LOUIS Fabienne MARY Charlotte Coordination – composition- édition : H. Thillaye Du Boulay	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> IFREMER / Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes / Unité Littoral / Laboratoire Environnement Ressources de Normandie	
<b>Collaborateur(s) :</b> nom, prénom Barey S.	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> AREVA NC IFREMER LER-N	
<b>Cadre de la recherche :</b> <b>Programme-:</b> Convention : Contrat AREVA NC 40061713 <b>Projet:</b> <del>Autres (préciser) :</del> Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		
<b>Résumé :</b> Dans le cadre de la surveillance des rejets non actifs de l'usine AREVA NC, les concentrations de différents éléments et substances chimiques sont suivies dans des moules ( <i>Mytilus Edulis</i> ) sur les points Goury et Moulinets. Ce rapport présente les résultats pour l'année 2015. Les variations saisonnières sont présentées pour chaque paramètre surveillé. Les teneurs mesurées sont comparées aux données nationales et régionales du Réseau d'Observation de la contamination chimique (ROCCH).		
<b>Mots-clés :</b>  Contaminants métalliques, contaminants organiques, bio-monitoring, Manche/Cotentin, COGEMA, AREVA NC		



**Suivi de la contamination métallique et organique de  
deux lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés au port de  
Goury et à l'Anse des Moulinets (Manche) – Année 2015**

*Rapport : F. MENET (LERN)*

*Prélèvements et Analyses : Mr LEGENDRE (Areva NC)  
F. LOUIS (LERN)  
C. MARY (LERN)*

*Coordination : H. Thillaye du Boullay (IFREMER)*



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>1</b>
2.1	Sites d'implantation.....	1
2.2	Stratégie d'échantillonnage.....	4
2.3	Protocoles analytiques .....	4
2.4	Interprétation des résultats.....	5
<b>3</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>8</b>
3.1	Contexte climatique .....	8
3.1.1	<i>Température de l'air</i> .....	8
3.1.2	<i>Pluviométrie</i> .....	9
3.1.3	<i>Insolation</i> .....	10
3.2	Métaux.....	12
3.2.1	<i>PLOMB</i> .....	13
3.2.2	<i>CADMIUM</i> .....	15
3.2.3	<i>MERCURE</i> .....	17
3.2.4	<i>CUIVRE</i> .....	19
3.2.5	<i>ZINC</i> .....	21
3.2.6	<i>COBALT</i> .....	22
3.2.7	<i>NICKEL</i> .....	24
3.2.8	<i>CHROME</i> .....	25
3.2.9	<i>FER</i> .....	27
3.2.10	<i>MANGANESE</i> .....	28
3.2.11	<i>ALUMINIUM</i> .....	30
3.3	Organochlorés .....	32
3.3.1	<i>DDT + DDE + DDD</i> .....	33
3.3.2	<i>γ-HCH (LINDANE)</i> .....	35
3.3.3	<i>POLYCHLOROBIPHENYLES (PCB)</i> .....	36
3.4	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : <i>Fluoranthène</i> .....	39
3.5	Tendances et comparaison inter-sites.....	42
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>44</b>

## 1 Introduction

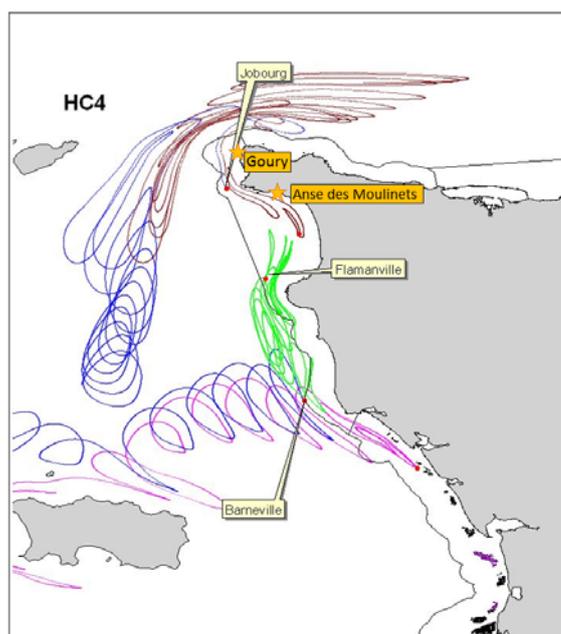
La présente étude, contractualisée avec AREVA NC constitue le volet *contaminants* de la surveillance du site de La Hague, définie par l'arrêté interministériel du 10 janvier 2003. Elle présente les résultats de la surveillance de l'impact des rejets non actifs de l'usine AREVA NC sur la matière vivante. Elle a pour objectif de suivre les contaminations métalliques et organiques dans des moules (*Mytilus edulis*). Les contaminants suivis sont les métaux lourds, les composés organochlorés (pesticides et polychlorobiphényles) et les hydrocarbures aromatiques (et plus particulièrement le fluoranthène).

Les deux sites choisis pour l'implantation des moules sont à la pointe de Goury et l'Anse des Moulinets, dans le nord-ouest du Cotentin. La stratégie actuelle consiste en quatre prélèvements annuels : hiver, printemps, été et automne sur les deux sites. Cette stratégie est effective depuis 2003. Chaque année un nouveau rapport est édité au printemps, en synthétisant les résultats de l'année précédente. Ainsi, 2015 représente la treizième année de suivi des contaminants dans les moules.

## 2 Matériel et Méthodes

### 2.1 Sites d'implantation

Le site à la pointe de Goury sert de référence pour suivre le niveau de contamination chimique des moules implantées en aval de l'usine AREVA NC dans l'Anse des Moulinets. Ces deux zones sont sous la même influence hydrodynamique comme le montre le lâcher d'une particule au point central de l'Anse de Vauville (Figure 1).



**Figure 1 :** Trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à pleine mer par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante sans prise en compte de l'influence du vent des débits des fleuves et des courants de densité.

### Pointe de Goury :

Le point de suivi où le lot de moules est implanté se situe à la pointe de Goury, dans un ancien puits construit sur la falaise rocheuse (sonde marine de + 4,3 m environ). Un grillage fermé par un cadenas, protège l'accès aux poches contenant les moules (Figure 2 et Figure 3).



**Figure 2 :** Position du site à la pointe de Goury.



**Figure 3 :** Photographie du puits grillagé où les moules sont entreposées à Goury.

### Anse des Moulinets :

C'est le point le plus proche de l'usine AREVA NC de La Hague. Il se situe sur l'estran rocheux en contrebas du barrage des Moulinets (bassin de rétention) au niveau de la sonde marine de + 5,4 m environ. Les lots de moules ont été placés à l'intérieur d'une ancienne bâtisse en béton utilisée autrefois par AREVA pour le pompage d'eau de mer (Figure 4 et Figure 5).



**Figure 4 :** Position des poches à moules au point de l'Anse des Moulinets.



**Figure 5 :** Photographie de l'ancienne station de pompage d'AREVA où les moules sont entreposées dans l'anse des Moulinets.

## 2.2 Stratégie d'échantillonnage

Un lot unique de moules issues de la baie des Veys est sub-divisé en 2 sous-lots implantés sur les sites de Goury et des Moulinets en fin d'année  $n-1$ . A cette occasion, une partie du lot est conservée pour analyse afin de déterminer le niveau d'imprégnation chimique initial. Les deux sous-lots sont ensuite échantillonnés en hiver, printemps, été et automne à Goury et aux Moulinets afin de suivre l'évolution de la concentration en contaminants pendant l'année  $n$ .

Les moules en provenance des gisements du secteur de la baie de Veys, sont implantées sur les points de suivi de Goury et des Moulinets au moins trois mois avant le premier prélèvement. Cette période permet ainsi aux moules d'atteindre un niveau d'équilibre avec le milieu environnant.

Les moules utilisées pour le suivi 2015 au port de Goury et à l'Anse des Moulinets ont été implantées en septembre 2014. Cependant la mortalité ayant été totale pendant l'hiver, un nouveau lot de moules a été implanté le 22/01/2015. Le premier prélèvement n'a pu donc avoir lieu que le 4 mai. Les autres prélèvements ont été réalisés les 16 juillet, le 28 et 30 septembre, et 14 décembre 2015 (*Tableau 1*).

**Tableau 1** : Date de prélèvements des moules à Goury et aux Moulinets en 2015.

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>Goury</b>	/	4 mai	16 juillet	28 septembre et 14 décembre
<b>Moulinets</b>	/	4 mai	16 juillet	30 septembre et 14 décembre

Après prélèvement, les moules sont immédiatement transportées au Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LER/N) de l'IFREMER à Port-en-Bessin. Elles sont placées dans un bac rempli d'eau de mer pour décanter pendant la nuit (environ 18 heures). Elles sont ensuite décortiquées et conditionnées pour analyses.

## 2.3 Protocoles analytiques

### Biométrie :

La biométrie est réalisée par les agents du LER/N.

Un minimum de 50 individus est prélevé au hasard. La chair totale est prélevée et mise à égoutter sur Büchner 30 minutes. L'opérateur utilise des gants en polyéthylène et un bistouri en inox. Pour chaque échantillon, un poids net égoutté d'environ 150 mg est congelé pour analyse.

La longueur maximale des coquilles est mesurée au moyen d'un pied à coulisse au  $1/10^{\text{ème}}$  de mm pour obtenir une taille moyenne de l'échantillon.

Analyses chimiques :

Les analyses effectuées sont celles imposées par l'arrêté interministériel du 10 janvier 2003 :

- Métaux lourds : cuivre, cobalt, nickel, cadmium, mercure, plomb, aluminium, fer, manganèse, chrome et zinc ;
- Composés organochlorés et hydrocarbures : pesticides organochlorés (DDT, DDE, DDD,  $\gamma$ -HCH [Lindane]), polychlorobiphényles (PCB) et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Les analyses chimiques ont été sous-traitées au laboratoire Alpa Chimies (ex-Laboratoire de Rouen). Les méthodes d'analyses appliquées sont résumées dans le *Tableau 2*.

**Tableau 2** : Résumé des méthodes d'analyses appliquées par paramètre par le laboratoire Alpa Chimies.

<b>METAUX</b>	
Al, Fe	Spectrométrie par torche à plasma (ICP) selon méthode interne
Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	Spectrométrie par torche à plasma couplée à un spectromètre de masse (ICP-MS) selon méthode interne
Hg	Fluorescence atomique après formation de vapeurs froides
Co	Norme AFNOR NF V 40-100
<b>ORGANOCHLORES</b>	Chromatographie gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électrons (GC/ECD) selon méthode interne
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)</b>	Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC/MS) selon méthode interne

## 2.4 Interprétation des résultats

Contexte climatique :

Les données météorologiques sont obtenues auprès de METEO-France pour la station de La Hague (altitude 6 m ; n°INSEE 50020001) avec des séries temporelles de température de l'air et de pluviométrie acquises depuis 1949. Ces données permettent de décrire le contexte climatique dans lequel s'est déroulée la surveillance.

### Comparaison des données au ROCCH :

Les valeurs analytiques inférieures au seuil de détection sont assimilées à cette valeur seuil, sauf dans le cas des hydrocarbures.

Les informations générales sur les métaux et les contaminants organiques sont consultables dans les ouvrages d'Andral et *al.* (2001), Andral et Stanisière (1999), dans le guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales (AESN, 2008), dans les fiches de l'INERIS, ainsi que dans les différents bulletins annuels du RNO (*cf.* § bibliographie).

Enfin, pour les contaminants dont le suivi est rendu obligatoire par l'arrêté du 10 janvier 2003, mais qui ne sont pas suivis dans le cadre du ROCCH (fer, manganèse et aluminium), des comparaisons avec les niveaux de contamination de l'état initial du lot implanté sont réalisées. En effet, les concentrations du lot reflètent l'état de contamination des moules des gisements de la région de la baie de Veys qui ne figurent pas dans la zone d'influence des rejets de l'usine AREVA NC.

Les niveaux de contamination dans les lots de moules implantés sont comparés aux données du Réseau Nationale d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO), rebaptisé en 2007 : Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du milieu marin (ROCCH). L'objectif du ROCCH est l'évaluation des niveaux (ainsi que des tendances) de la contamination chimique et des paramètres généraux de la qualité du milieu marin. Créé en 1974 par le Ministère chargé de l'Environnement, le ROCCH est coordonné par l'IFREMER. Les paramètres étudiés par le ROCCH sont répertoriés dans le *Tableau 3*.

**Tableau 3 : Paramètres d'évaluation des niveaux de contaminations dans la matière vivante dans le cadre du Réseau ROCCH.**

#### Liste des contaminants mesurés dans la matière vivante

<b>Métaux</b>	mercure (Hg), cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn), cuivre (Cu). Depuis 2002-2003 sont ajoutés : chrome (Cr), argent (Ag), nickel (Ni) et vanadium (V).
<b>Organochlorés</b>	DDT, DDD, DDE, lindane ( $\gamma$ -HCH), $\alpha$ -HCH, polychlorobiphényles (PCB) (congénères 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 180).
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>	Naphtalène, mono, di, tri et tétra méthyles naphtalènes, acénaphthylène, fluorène, mono et di méthyles fluorènes, phénanthrène, anthracène, mono, di et tri méthyles phénanthrènes/ anthracènes, fluoranthène, pyrène, mono et di méthyles pyrènes/fluoranthènes, benzo(a)anthracène, triphénylène, chrysène, mono et di méthyles chrysène, benzofluoranthènes, mono méthyle benzofluoranthènes, benzoFrancepyrène, benzo(a)pyrène, pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène. Hétérocycles soufrés : dibenzothiophène, mono, di et tri méthyles dibenzothiophène, benzonaphtothiophènes, monométhyle benzonaphtothiophènes.

A la mise en place du ROCCH, la fréquence d'échantillonnage était de quatre prélèvements par an, centrés sur les mois de février, mai, août et novembre. Entre 2002 et 2008, cette fréquence est passée à deux échantillons par an pour les métaux (février et novembre) et un par an pour les contaminants organiques (novembre). Depuis 2008, la campagne de février est dédiée au suivi sanitaire des zones de production conchylicoles, et celle de novembre à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Par ailleurs, depuis 1992 les teneurs en PCB ont été exprimées par les concentrations de huit congénères (CB 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 180) et non plus en équivalent de mélange technique (Aroclor 1254).

En outre, le congénère CB153 des PCB et le fluoranthène sont considérés comme représentatifs de la contamination globale respectivement des composés organochlorés et des HAP. Cette simplification est donc appliquée aussi dans le cadre de ce rapport.

Plusieurs documents de l'IFREMER reprennent les résultats marquants annuels et l'historique des différentes modifications méthodologiques (bulletins annuels du RNO, Stanisière, 2001 ; Andral *et al.*, 2001 ; Andral et Stanisière, 1999). Les données du ROCCH permettent notamment aussi à la France de remplir ses obligations dans le cadre de certaines conventions internationales (OSPAR, MEDPOL)<sup>1</sup> et européennes (DCE, DCSMM)<sup>2</sup>.

Les points ROCCH de Basse Normandie utilisés pour réaliser les comparaisons avec les résultats de surveillance obtenus à Goury et aux Moulinets sont positionnés sur la *Figure 6*. Ils sont localisés à Bréville, Cherbourg et Villerville.



**Figure 6 :** Situation des points ROCCH (ex-RNO) et AREVA sur le plan régional utilisés pour les comparaisons.

<sup>1</sup> OSPAR : Convention par laquelle quinze gouvernements des côtes et îles occidentales d'Europe, avec la Communauté européenne, coopèrent pour protéger l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est.

MEDPOL : programme d'évaluation et de contrôle de la pollution en Méditerranée.

<sup>2</sup> DCE : Directive Cadre sur l'Eau.

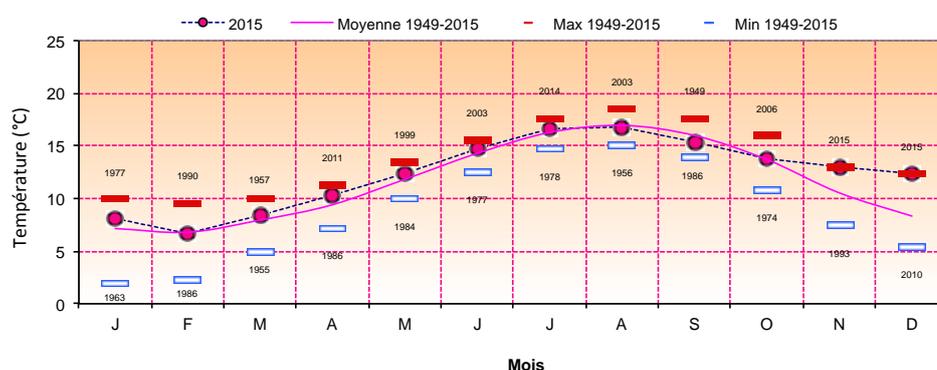
DCSMM : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin.

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Contexte climatique

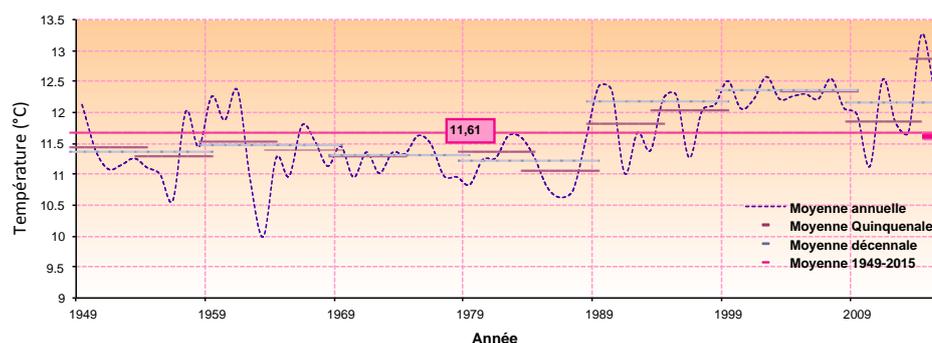
##### 3.1.1 Température de l'air

Au cours des 67 dernières années (1949/2014), la température moyenne mensuelle de l'air varie de 6,8°C en janvier à près de 17°C en août (Figure 7). Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (2,0°C) et en août 2003 (18,9°C). En 2015, les températures de l'air ont été très proches de la moyenne interannuelle de janvier à octobre. La fin d'année 2015 se caractérise par des températures de l'air très élevées en novembre et décembre par rapport aux moyennes interannuelles à ces deux périodes avec respectivement 13,0°C et 12,3°C. Ces valeurs représentent les plus fortes températures relevées en novembre et décembre depuis le début du suivi en 1949.



**Figure 7 :** Température mensuelle moyenne de l'air à La Hague au cours de l'année 2015, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1949.

Sur la période 1949/2015, la température moyenne annuelle est de 11,6°C, avec un écart thermique moyen de 10,2°C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud (Figure 8). L'année la plus chaude est 2014 avec une température moyenne annuelle de 13,3°C suivie par 2002 (12,6°C) et 2007 (12,55°C). L'année 2015 avec une moyenne annuelle de 12,4°C représente désormais la quatrième année la plus chaude depuis 1949 pour le Nord Cotentin. L'année la plus froide est 1963 avec 10,0°C, suivie par 1956 et 1986 (10,6°C). Le plus grand écart thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud d'une même année est noté en 1987 avec 14,1°C ; le plus faible en 2007 avec 8,2°C.

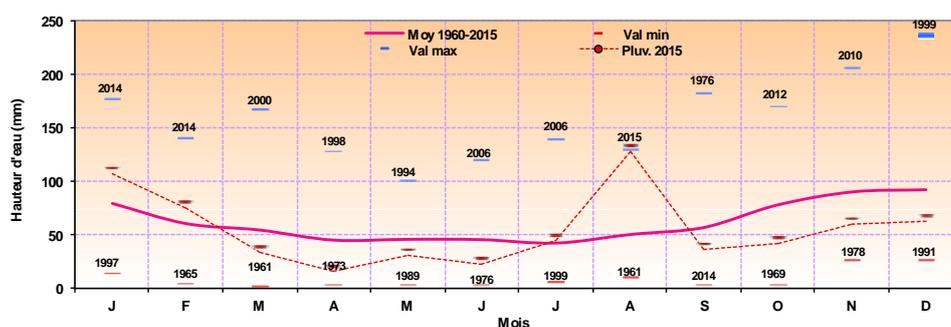


**Figure 8 :** Température de l'air au sémaphore de La Hague de 1949 à 2015. Comparaison des moyennes annuelles, quinquennales et décennales à la moyenne observée sur la totalité de la période.

Enfin, l'évolution de la température mensuelle moyenne de l'air par période décennale montre un échauffement moyen de 0,98°C entre les décennies 1979/1988 et 1989/1998 (Figure 8), avec une accentuation du phénomène à partir de la fin des années 1980 avec une nette augmentation en 2014. L'année 2015 étant cependant moins chaude que 2014, seules les données des prochaines années pourront permettre d'identifier une tendance.

### 3.1.2 Pluviométrie

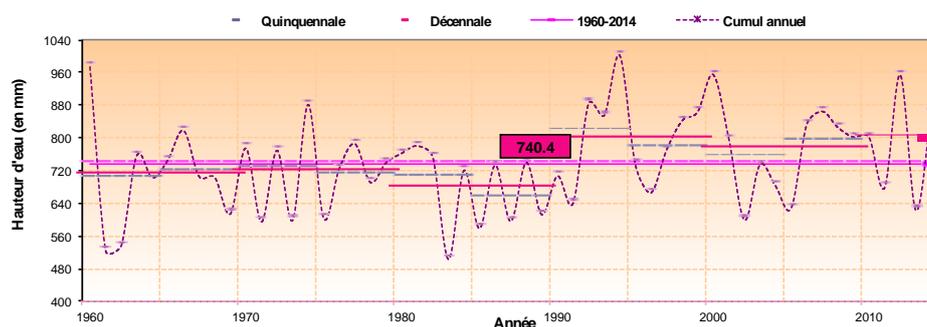
Depuis 1960, la pluviométrie mensuelle moyenne sur le nord-ouest Cotentin (Figure 9) est de 61,7 mm. Avec une moyenne mensuelle de 54,8 mm et un cumul annuel de pluie de 657,4 mm, l'année 2015 se caractérise par un déficit de 81,7 mm de pluie par rapport à la moyenne interannuelle (738,9 mm). Le printemps (*i.e.* mars à juin) et l'automne (septembre à décembre) 2015 ont été particulièrement secs, avec des hauteurs de pluie cumulées bien inférieures aux moyennes interannuelles (Figure 9). Ces faibles précipitations printanières et automnales sont cependant restées supérieures aux minima enregistrés depuis le début de la série temporelle. Pendant l'été 2015, le mois d'août a été particulièrement pluvieux dans le Nord Cotentin avec une hauteur de pluie cumulée de 128,1 mm soit plus de deux fois la moyenne interannuelle calculée depuis 1960 à cette période (50,3 mm). La pluviométrie exceptionnelle du mois d'août 2015 représente désormais la plus forte valeur enregistrée à cette période depuis 1960. Par ailleurs, le début d'année 2015 a lui aussi été marqué par des précipitations bien supérieures aux moyennes interannuelles. Cependant, les hauteurs d'eau relevées en janvier et février 2015 sont restées bien inférieures aux valeurs extrêmes enregistrées à cette période en 2014.



**Figure 9** : Pluviométrie mensuelle au sémaphore de La Hague au cours de l'année 2015, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1960.

Le cumul annuel moyen sur la période de 1960/2015 est de 738,9 mm, variant de 503 mm en 1983 à 1001 mm en 1994 (Figure 10). Le cumul de l'année 2015, de 657,2 mm est inférieur au cumul annuel moyen calculé sur la période 1960/2015.

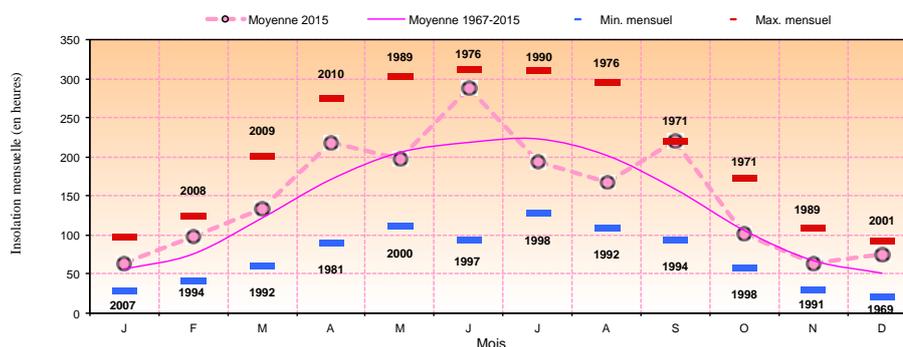
Sur la période 1960/2015, l'observation des cumuls annuels par période décennale (Figure 10) permet d'apprécier la forte pluviométrie des deux dernières décennies. Sur la période 1989/1998 le cumul moyen atteint 796 mm et sur la période 1999/2008, il est de 735 mm. Ces deux cumuls sont supérieurs aux décennies précédentes (677 mm pour 1979/1988 ; 716 mm pour 1969/1978).



**Figure 10 :** Pluviométrie au sémaphore de La Hague de 1960 à 2015. Comparaison des cumuls annuels, quinquennaux et décennaux au cumul moyen annuel observé sur la totalité de la période.

### 3.1.3 Insolation

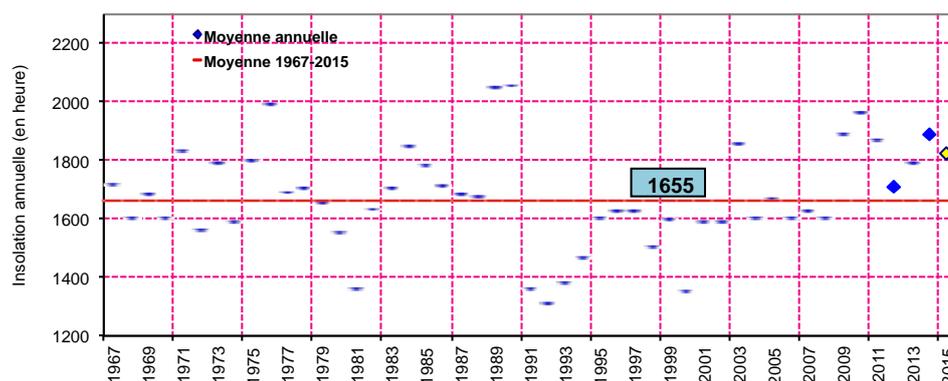
L'importance de l'insolation mensuelle moyenne est directement dépendante de la durée même du jour. Elle est de ce fait minimale en hiver (< 100 heures) et maximale en été (max en juin 1978 : 262 heures). Mais la couverture nuageuse peut perturber ce schéma.



**Figure 11 :** Insolation mensuelle à Valognes au cours de l'année 2015, comparée aux moyennes et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1986.

L'année 2015 se caractérise par des durées d'insolation légèrement supérieures aux moyennes interannuelles de janvier à mai et particulièrement élevées en avril et juin (Figure 11). Par la suite, les mois de juillet et août se sont caractérisés par des insolation cumulées plus faibles que les moyennes interannuelles, mais qui sont cependant restées bien supérieures aux minima observés en 1998 et 1992. L'automne 2015 a été marqué par des durées d'insolation supérieures aux médianes pluriannuelles en septembre et décembre, alors que ces dernières sont restées proches de la moyenne en octobre et novembre.

A l'instar des années précédentes, l'année 2015 a été caractérisée par une durée d'insolation moyenne annuelle supérieure à la moyenne pluriannuelle observée sur la zone depuis 1986 (Figure 12). La durée d'insolation moyenne annuelle observée en 2015 a cependant été plus faible que celle observée au cours de l'année 2014.



**Figure 12 :** Insolation annuelle dans le secteur de La Hague depuis 1986, comparée à la moyenne annuelle obtenue sur la totalité de la période. L'année 2015 est identifiée en jaune.

### L'année 2015 se caractérise donc par :

- Un déficit en pluviométrie de 81,7 mm sur l'année 2015 par rapport à la moyenne interannuelle avec un cumul annuel des précipitations de 657,2 mm. Le premier et le troisième trimestre ont été excédentaires. En revanche, le deuxième et dernier trimestre ont été largement déficitaires, et occupent respectivement les 5<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> rangs des printemps et automne les plus secs depuis 1960 (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Bilan pluviométrique trimestriel (en mm) de 1960 à 2015 (rang : 1 sec – 56 très humide)

	Minimum	Année	Moyenne	2015	Rang/56	Maximum	Année
<b>Trim. 1</b>	85,8	1992	194,5	216,2	36	377,8	2014
<b>Trim. 2</b>	26,2	1976	136,5	68,4	5	243,7	1964
<b>Trim. 3</b>	52,4	1964	149,4	208,8	46	307,5	1974
<b>Trim. 4</b>	118,8	1983	258,5	163,8	4	422,6	2012

- Une température moyenne annuelle de l'air (12,4 °C) très supérieure à la moyenne enregistrée sur la période 1949-2014 (11,6 °C). A l'exception de l'été, les températures enregistrées au cours de 3 autres trimestres de 2015 sont supérieures à la moyenne interannuelle. L'automne 2015 a été caractérisé par des températures exceptionnellement douces avec une moyenne de 13,0°C, et est, à ce titre, le deuxième automne le plus chaud dans le Nord Cotentin enregistré depuis 1949, juste après celui de 2014 durant lequel les températures ont atteint une moyenne de 13,7°C (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Bilan des températures trimestrielles (en °C) de 1949 à 2015 (rang : 1 froid – 67 chaud)

	Minimum	Année	Moyenne	2015	Rang/67	Maximum	Année
<b>Trim. 1</b>	3,8	1963	7,3	7,7	42	9,5	2007
<b>Trim. 2</b>	10,6	1977	11,8	12,4	50	13,3	2014
<b>Trim. 3</b>	15,0	1986	16,4	16,3	25	17,8	1949
<b>Trim. 4</b>	9,2	1952	10,9	13,0	66	13,7	2014

- A l'exception des mois de juillet et d'août, l'année 2015 a été caractérisée par des durées d'insolation mensuelles supérieures ou proches des moyennes interannuelles tout au long de l'année et plus particulièrement au cours des mois d'avril, juin, septembre et décembre.

## 3.2 Métaux

### Synthèse des résultats analytiques

Le *Tableau 6* présente les concentrations en métaux dans les moules à Goury, et aux Moulinets, excepté pour février 2015 car aucun échantillon n'a pu être fourni du fait de mortalités totales sur les 2 points.

**Tableau 6 :** Concentrations en métaux pour les points Goury, Moulinets et baie des Veys en 2015. Concentrations en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de poids sec (ps).

METAUX											
BAIE DES VEYS	Al	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Zn
22/01/2015	16	0,36	0,4	0,2	4,4	129	4,5	0,06	0,7	0,5	54,5
GOURY	Al	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Zn
Février 2015	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
04/05/2015	50	0,81	1,0	0,5	6,6	205	6,5	0,13	1,7	1,4	86,1
16/07/2015	49	0,94	1,5	0,5	6,9	231	5,3	0,12	1,8	1,9	92,0
30/09/2015	9	0,71	1,2	0,4	6,7	145	3,1	0,10	1,2	1,3	87,4
14/12/2015	24	0,42	0,5	0,2	4,7	100	4,2	0,06	0,6	0,7	60,2
MOULINETS	Al	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Zn
Février 2015	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
04/05/2015	30	0,90	1,0	0,5	6,1	179	5,4	0,13	1,4	1,3	89,6
16/07/2015	54	0,84	1,1	0,4	6,4	270	5,2	0,11	1,4	1,5	84,6
28/09/2015	20	0,76	0,9	0,3	5,7	183	3,8	0,08	1,1	1,2	78,5
14/12/2015	53	0,49	0,6	0,3	4,7	168	5	0,07	0,6	0,7	62,4

### 3.2.1 PLOMB

Le *Tableau 7* résume les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du plomb.

**Tableau 7 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du plomb.**

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7439-92-1	Non		Eau marine : 5,4 µg/L	NQE Eau marine 1,3 µg/L
N° SANDRE 1382	applicable : composé inorganique	2 279 (mollusques)		Chair coquillages : 1,5 mg/kg pf
Masse Molaire 207,2 g/mol			Sédiment : 6,8 mg/kg ps	

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec ; pf : poids frais.

Depuis l'abandon de l'usage du plomb-tétraéthyle comme antidétonant dans les essences, les usages principaux de ce métal restent la fabrication d'accumulateurs (60 à 75 % de son utilisation) et l'industrie chimique. Les nouveaux besoins liés au développement de technologies modernes (imagerie médicale, supraconducteurs) utilisent de façon croissante le plomb. A titre informatif, le rejet en mer de plomb autorisé par arrêté à AREVA NC est de 70 kg / an.

Son cycle atmosphérique est très important et constitue une source majeure d'apport à l'environnement (RNO, 2006). Les émissions de plomb dans l'atmosphère sont principalement anthropiques. Au niveau urbain ou routier, les rejets des véhicules à moteur constituaient une part importante des émissions qui ont considérablement diminuées depuis la disparition du plomb dans les carburants.

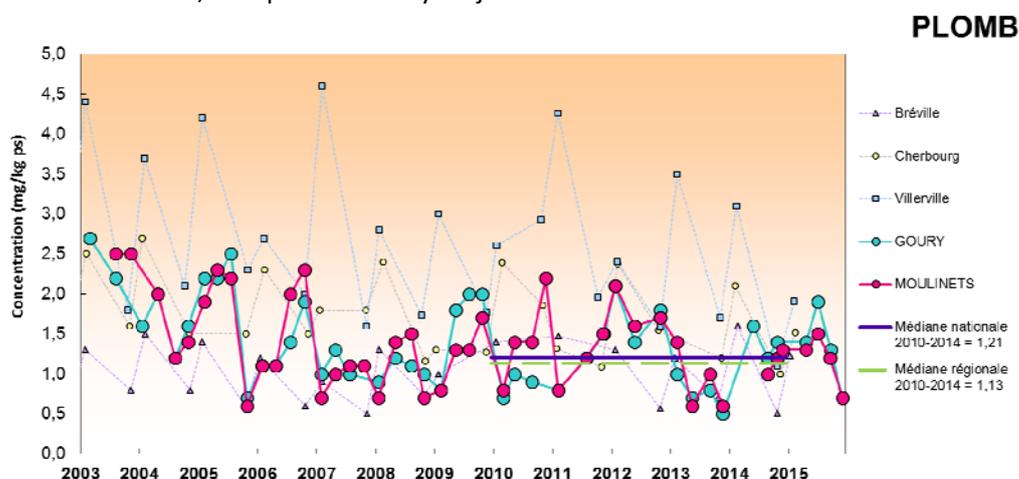
Dans le milieu marin, le plomb est généralement bioaccumulé par les organismes vivants. A titre d'exemple, dans l'estuaire de la Seine, les plus fortes concentrations ont été mesurées chez les organismes benthiques à la base du réseau trophique (Miramand *et al.*, 1999). Les formes inorganiques sont moins écotoxiques que les formes organiques (composés alkylés) qui inhibent notamment la croissance du phytoplancton à partir de 0,5 µg/L de Pb dissous dans l'eau (Chiffolleau *et al.*, 2001). Le plomb peut également provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.

Le règlement européen N° 221/2002 qui a pris application le 6 février 2002 fixe la teneur maximale en plomb dans les mollusques bivalves à 1,5 mg/kg de poids humide (*Tableau 7*). Les résultats du ROCCH étant exprimés en poids sec, il convient d'appliquer un facteur de conversion moyen de 0,20 (rapport du poids sec sur poids humide) aux concentrations observées pour les comparer au seuil susmentionné. Ce seuil est alors égal à **7,5 mg/kg de poids sec**.

Les concentrations en plomb mesurées au cours de l'année 2015 sont très proches sur les deux sites, exceptés en juillet, et ont évolué de manière similaire toute l'année (*Figure 13*). La concentration en plomb a été maximale en juillet à Goury (+ 0,4 mg/kg ps) par rapport aux Moulins, et a chuté sur les deux sites en

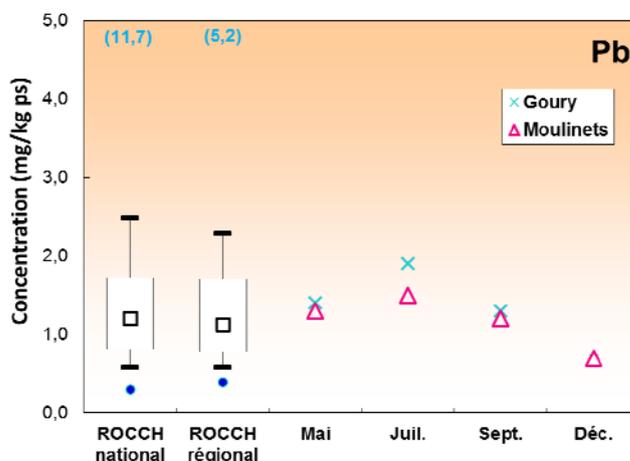
décembre (0,7 mg/kg ps). Ces concentrations sont similaires à celles enregistrées en 2013 et 2014 sur les deux sites, hormis en juillet à Goury où ce niveau est le plus important depuis 2013.

Dans l'ensemble, les teneurs mesurées à Goury et aux Moulinets tendent vers les niveaux mesurés à Bréville depuis 2013. L'évolution des concentrations observées sur les sites régionaux du ROCCH depuis 2003 montre que les plus fortes teneurs sont généralement rencontrées à Villerville (Baie de Seine) (Figure 13). La médiane régionale (1,13 mg/kg ps) des concentrations en Pb calculée dans les moules entre 2010 et 2014 est légèrement inférieure à la médiane nationale (1,21 mg/kg ps). Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets en 2015 sont proches de ces médianes, exceptées à Goury en juin.



**Figure 13 :** Concentrations en plomb à Goury et aux Moulinets en 2015 et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale en février entre 2010 et 2014 du ROCCH.

La Figure 14 présente les médianes nationale et régionale ROCCH 2010-2014, (février) avec leur dispersion. Les deux médianes sont proches, mais la dispersion est plus limitée au niveau régional. Les variations 2015 à Goury et aux Moulinets restent dans la gamme basse des valeurs observée par le ROCCH tant sur le plan régional que national et **en deçà du seuil sanitaire de 7,5 mg/kg ps**.



**Figure 14 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en plomb sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.2.2 CADMIUM

Le *Tableau 8* résume les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du cadmium.

**Tableau 8 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du cadmium.**

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-43-9	Non		Eau marine : 0,21 µg/L	NQE Eau marine 0,2 µg/L
N° SANDRE 1388	applicable : composé inorganique	994 (invertébrés)		Coquillages filtreurs : 1,0 mg/kg pf
Masse Molaire 112,41 g/mol			Sédiment : 2,3 mg/kg ps	

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec ; pf : poids frais.

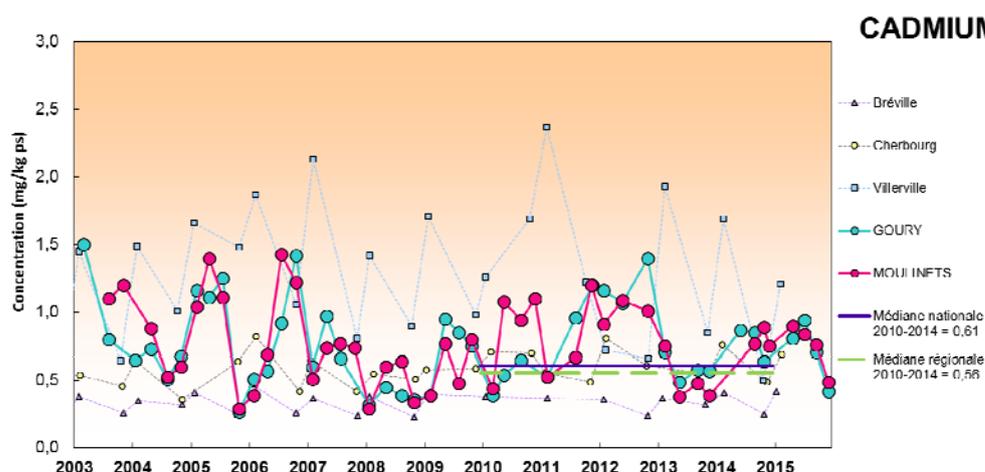
Le cadmium est un élément relativement rare dans la croûte terrestre. Il est présent dans les minerais de zinc, plomb et phosphates principalement sous forme d'oxyde, de chlorure, ou de sulfure.

Les principales utilisations du cadmium sont les traitements de surface (cadmiage), les industries électriques et électroniques (oxyde de cadmium), et la production de pigments colorés surtout destinés aux matières plastiques (sulfate et sulfure de cadmium). Dans l'environnement, les autres sources de cadmium sont la combustion du pétrole ainsi que l'utilisation de certains engrais chimiques où il est présent à l'état d'impureté (RNO, 2006). A titre informatif, le rejet en mer de cadmium autorisé par arrêté à AREVA NC est de 25 kg / an.

Le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu. En milieu marin, le cadmium provoque des effets sur le développement larvaire de certains organismes, notamment les crustacés. Les processus responsables de détoxification des molécules organiques sont par ailleurs inhibés.

Le règlement européen N° 466/2001 qui a pris application le 5 avril 2002 fixe la teneur maximale en cadmium dans les mollusques bivalves à 1 mg/kg de poids humide (*Tableau 8*). Les résultats du ROCCH étant exprimés en poids sec, il convient d'appliquer un facteur de conversion moyen de 0,2 aux concentrations observées pour les comparer au seuil susmentionné. Ce seuil est alors égal à **5 mg/kg en poids sec**.

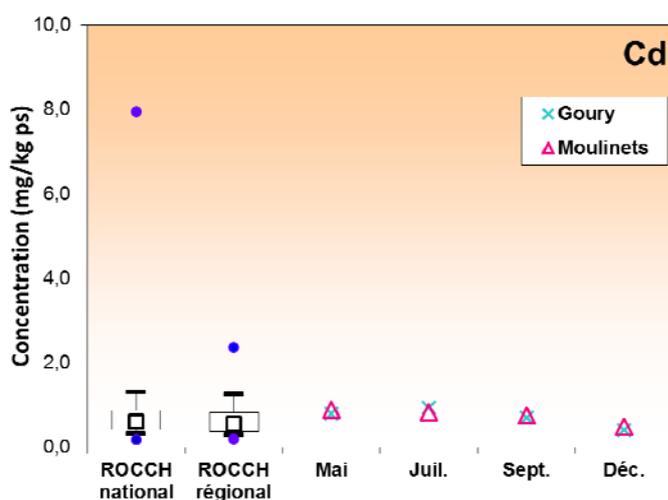
L'évolution des concentrations observées à Goury et aux Moulinets pour le cadmium est présentée sur la *Figure 15*. En 2015, les concentrations sont légèrement supérieures aux médianes nationale (0,61 mg/kg ps) et régionale (0,56 mg/kg ps) sur les deux sites d'étude comme en 2014. Par ailleurs, les concentrations en cadmium ont chuté sur les deux zones en décembre 2015, comme pour le plomb.



**Figure 15 :** Concentrations en cadmium à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

Comme pour le plomb, l'évolution des concentrations observées sur les sites régionaux ROCCH depuis 2003 (Figure 15), montre que les plus fortes teneurs sont rencontrées à Villerville. La contamination en cadmium à Goury et aux Moulinets reste généralement inférieure aux valeurs à Villerville, mais supérieure à Bréville sur la côte ouest sud du Cotentin. Finalement, les valeurs observées en 2015 restent aussi **très inférieures au seuil européen de 5 mg/kg ps**.

La Figure 16 présente les médianes nationale et régionale du ROCCH pour la période 2010-2014 (février) avec leurs dispersions. Cette figure présente aussi les concentrations observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les valeurs mesurées en 2015 sont légèrement supérieures à la médiane nationale du ROCCH à Goury et aux Moulinets tout au long de l'année exceptée en décembre, mais restent dans la gamme de concentrations habituellement observées dans ce secteur de la Manche (Cherbourg).



**Figure 16 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en cadmium sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (▲) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.2.3 MERCURE

Le *Tableau 9* résume les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du mercure.

**Tableau 9** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du mercure.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7439-97-6	Non		Eau marine : 0,036 µg/L	NQE Eau marine 0,07 µg/L
N° SANDRE 1387	applicable : composé inorganique	5300 (mollusques)		NQE poissons 20 µg/kg pf
Masse Molaire 200,59 g/mol			Sédiment : 9,3 mg/kg ps	Chair coquillages : 0,5 mg/kg pf

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec ; pf : poids frais.

Seul métal volatil, le mercure, naturel ou anthropique, peut être transporté en grandes quantités par l'atmosphère. Les sources naturelles en sont le dégazage de l'écorce terrestre, les feux de forêt, le volcanisme et le lessivage des sols. Les sources anthropiques sont constituées par les processus de combustion (charbon, pétrole, ordures ménagères, etc.), de la fabrication de la soude et du chlore, ainsi que de l'orpaillage (RNO, 2006). Les émissions naturelles sont estimées à 3 000 T/an et les émissions anthropogéniques à 4 500 T/an. A titre informatif, le rejet en mer de mercure autorisé par arrêté à AREVA NC est de 20 kg / an.

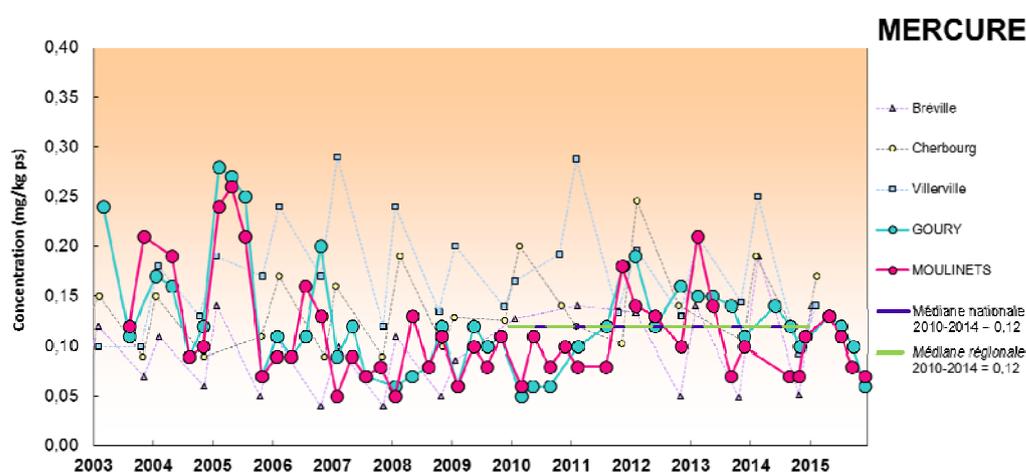
Les diverses formes du mercure sont susceptibles d'évoluer dans l'environnement. Le mercure élémentaire et les composés organiques du mercure sont très volatils. Les composés inorganiques le sont par contre très peu. Dans l'eau, le mercure élémentaire est quasiment insoluble. La solubilité des composés organiques est variable, mais tous sont plus ou moins solubles. La solubilité des composés du mercure inorganique est également très variable. Il s'accumule facilement dans les organismes. L'une des principales particularités du mercure est de subir, dans les sols, sédiments et poissons, des réactions de méthylation / déméthylation.

Pour les organismes aquatiques, le mercure reste le plus toxique des métaux traces et plus particulièrement sous ses formes organiques. La croissance du plancton et de larves de bivalves est retardée à de très faibles concentrations. La bioamplification du mercure est très importante dans la chaîne trophique ; des concentrations en méthylmercure toxiques pour l'homme peuvent être atteintes dans la chair de poissons situés en bout de chaîne alimentaire (thonidés, squalés).

Le règlement européen N° 466/2001 qui a pris application le 5 avril 2002 fixe la teneur maximale en mercure dans les mollusques bivalves à 0,5 mg/kg de poids humide. Les résultats du ROCCH étant exprimés en poids sec, il convient d'appliquer un facteur de conversion moyen de 0,2 aux concentrations observées pour les comparer au seuil susmentionné. Ainsi ce seuil est égal à **2,5 mg/kg en poids sec**.

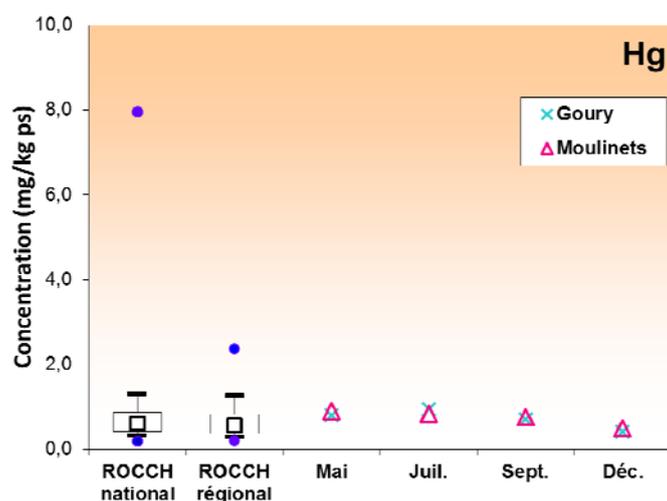
Les concentrations observées en 2015 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2014, et suivent la même évolution annuelle sur les deux sites (Figure 17). Les concentrations diminuent de mai à décembre à Goury et aux Moulinets.

Avant 2006 les concentrations en mercure aux points Goury et Moulinets étaient supérieures aux valeurs enregistrées sur l'ensemble de points de suivi ROCCH régionaux. Depuis 2006, Villerville présente les teneurs en mercure les plus élevées, même si celles aux Moulinets étaient équivalentes début 2013 (Figure 17). En 2015, les concentrations étaient proches des médianes nationale et régionale (0,12 mg/kg ps) du ROCCH calculées sur la période 2010-2014 en mai, puis ont chuté en septembre et décembre, jusqu'à atteindre le niveau de concentration à Brévilles en novembre 2012, 2013 et 2014.



**Figure 17 :** Concentrations en mercure à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

La Figure 18 présente sous forme de boîtes à moustaches les médianes nationale et régionale du ROCCH pour la période 2010-2014 (février) avec leurs dispersions. Cette figure présente aussi les concentrations observées sur les deux points pour chaque date de prélèvement. Pour les deux sites, les concentrations sont restées proches voire inférieures à la médiane régionale, et **inférieures au seuil réglementaire de 2,5 mg/kg ps**.



**Figure 18 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en mercure sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.2.4 CUIVRE

Le *Tableau 10* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du cuivre.

**Tableau 10** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du cuivre.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-50-8	Non		Eau marine : 0,8 µg/L	Limite qualité eau potable 2 mg/L
N° SANDRE 1392	applicable : composé inorganique	950 (poisson eau douce)		Pas de NQE
Masse Molaire 63,55 g/mol			Sédiment : 0,8 mg/kg ps	Pas de seuil sanitaire

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; ps : poids sec.

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés.

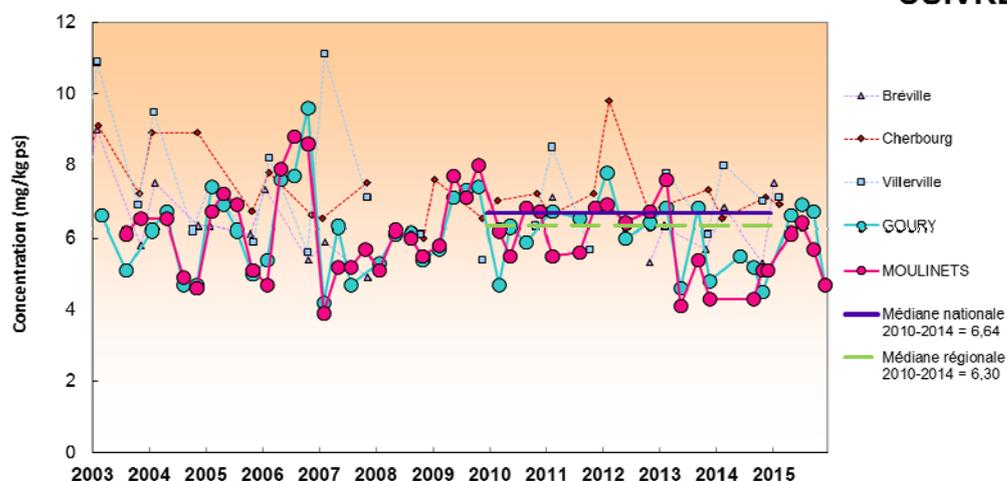
Le cuivre est impliqué dans de multiples usages en raison de ses propriétés de bon conducteur (chaleur et électricité) et biocides. Il est ainsi très largement employé dans la fabrication de matériels électriques, dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie. Ses dérivés sont utilisés comme catalyseur chimique, pigments et fongicide (acétate de cuivre), agent désodorisant, désulfurant ou purifiant, encres indélébiles, colorants (chlorure cuivrique), et peintures antisalissure pour bateaux (« anti-fouling ») (oxyde cuivrique) surtout depuis le bannissement du tributylétain (TBT).

Le cuivre est rejeté dans l'atmosphère sous forme particulaire d'oxyde, de sulfate ou de carbonate ou adsorbé à la matière particulaire. Dans l'eau, le comportement du cuivre est largement influencé par différents phénomènes de complexation, adsorption et bioaccumulation. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend donc à migrer plus ou moins rapidement vers le compartiment sédimentaire. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90 % du cuivre total.

Dans le milieu aquatique, il peut perturber le développement embryonnaire des bivalves et la croissance du phytoplancton, si les concentrations sont importantes. Par contre, il entre dans le métabolisme de nombreux mollusques, dont les moules. De fait, ces bivalves sont de très mauvais indicateurs de la contamination du milieu par le cuivre, car ils en régulent leur contenu autour de 7 mg/kg ps (RNO, 2006).

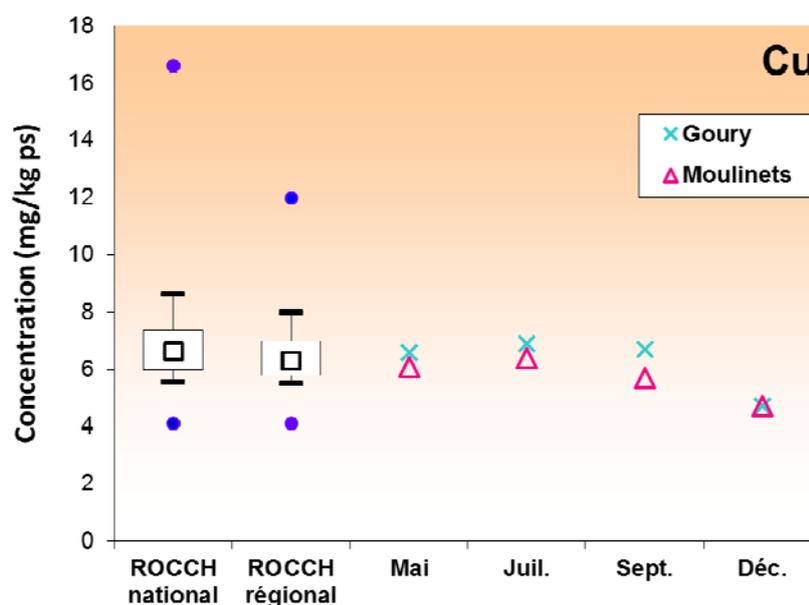
Le cuivre étant régulé par le métabolisme des moules, les concentrations observées à Goury et aux Moulinets oscillent effectivement autour de 7 mg/kg ps (*Figure 19*). Les concentrations mesurées en de mai à septembre 2015 étaient voisines de 6,5 mg/kg ps, mais ont chuté à partir de septembre jusqu'à atteindre 4,7 mg/kg ps en décembre sur les deux sites.

## CUIVRE



**Figure 19 :** Concentrations en cuivre à Gourey, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

La Figure 20 présente les médianes nationale et régionale ROCCH 2010-2014 (février) avec leurs dispersions, ainsi que les teneurs observées aux points Gourey et Moulinets pour chaque campagne. Ce graphique permet de mieux visualiser le niveau nettement inférieur en cuivre sur les deux sites en décembre (4,7 mg/kg ps) par rapport aux médianes nationale (6,64 mg/kg ps) et régionale (6,30 mg/kg ps).



**Figure 20 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en cuivre sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Gourey (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.2.5 ZINC

Le *Tableau 11* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du zinc.

**Tableau 11** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du zinc.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-66-6	Non applicable		Eau douce : 7,8 µg/L	NQE provisoire eau marine 8,0 µg/L
N° SANDRE 1383	composé inorganique	1200 (poisson)		Pas de seuil sanitaire
Masse Molaire 65,38 g/mol			Sédiment : 37 mg/kg ps	

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec.

Le zinc est naturellement présent dans les roches magmatiques, sédiments argileux et schistes de la croûte terrestre.

Le zinc a des usages voisins de ceux du cadmium, est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion, auxquels il faut ajouter les peintures anti-rouille et l'industrie pharmaceutique. A titre informatif, le rejet en mer de zinc autorisé par arrêté à AREVA NC est de 180 kg / an.

Les sources naturelles incluent l'érosion, le volcanisme, les feux de forêts et les aérosols marins. Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent eux essentiellement des activités minières et industrielles, des épandages agricoles, car présent en quantité significatives comme impureté dans certains engrais phosphatés, et de nombreuses activités urbaines (érosion des toitures et gouttières, usure des pneumatiques, poussières d'incinération des ordures).

Le zinc fait partie des oligo-éléments essentiels au développement de la vie. Il est peu toxique pour l'homme, mais à de fortes concentrations, il peut perturber la croissance des larves d'huîtres (RNO, 2006).

Les concentrations en zinc en 2015 étaient légèrement supérieures aux niveaux observés au deuxième semestre 2014, mais restent tout de même globalement inférieures aux années 2010-2013 sur les deux sites (*Figure 21*). Les teneurs observées y sont proches de la médiane nationale du ROCCH (91 mg/kg ps) et supérieures à la médiane régionale (64 mg/kg ps) en mai et juillet, et proches de la médiane régionale en décembre (*Figure 22*).

## ZINC

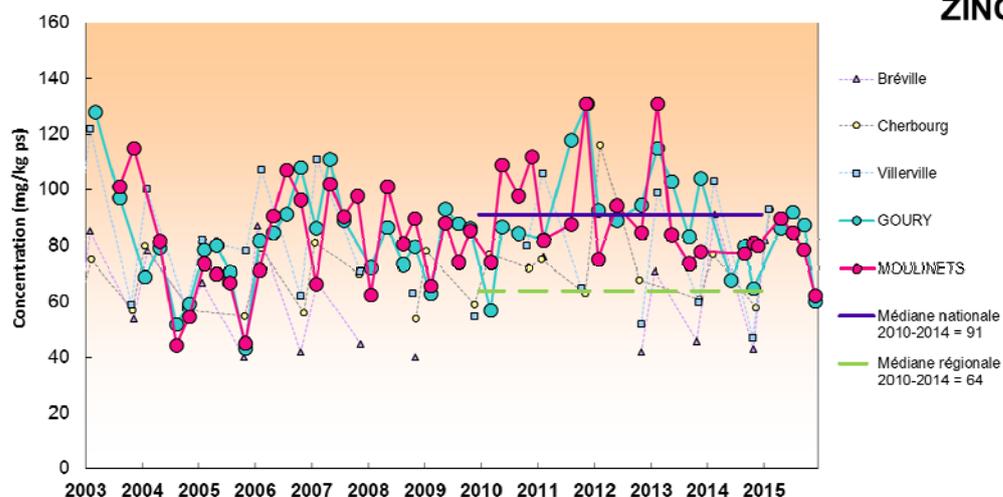


Figure 21 : Concentrations en zinc à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

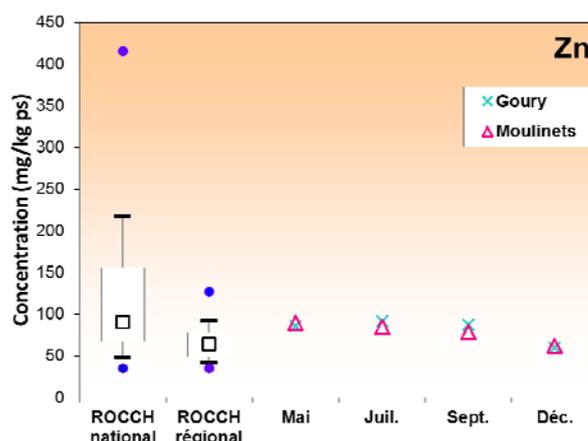


Figure 22 : Boîte à moustaches présentant les concentrations en zinc sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : □ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

## 3.2.6 COBALT

Le Tableau 12 ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du cobalt.

Tableau 12 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du cobalt.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-48-4	Non applicable :	15	Eau marine : 0,1 µg/L	Pas de NQE
N° SANDRE 1379	composé inorganique	( <i>Mytilus edulis</i> )		Pas de seuil sanitaire
Masse Molaire 58,93 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec.

Le cobalt est présent à l'état naturel (environ 0,002 % de la croûte terrestre), souvent associé au nickel, à l'argent, au plomb et au cuivre.

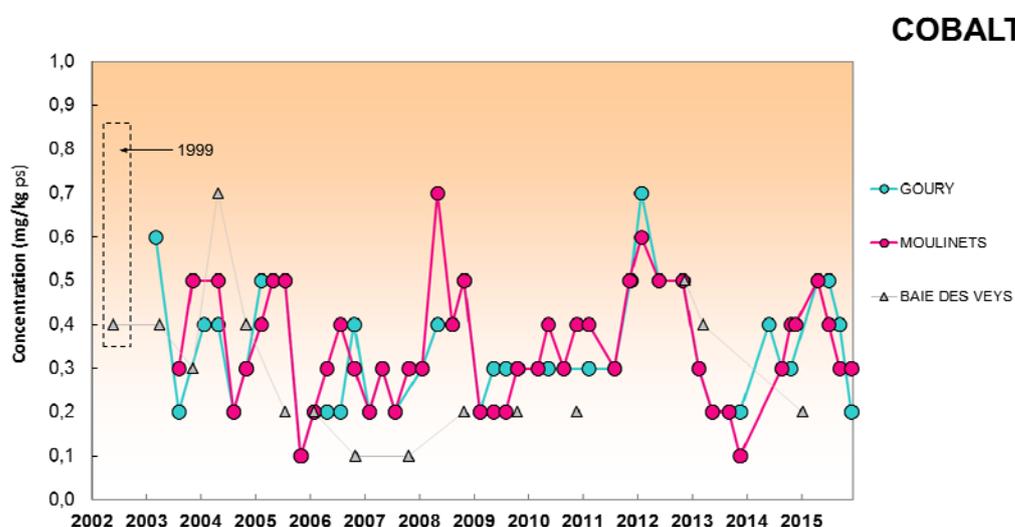
Ce métal participe à la composition de nombreux alliages utilisés dans différents secteurs industriels (électricité, aéronautique et automobile), et dans la fabrication de fertilisants agricoles et d'additifs alimentaires pour animaux. A titre informatif, le rejet en mer de cobalt autorisé par arrêté à AREVA NC est de 200 kg / an.

Le cobalt n'est pas un élément volatil, mais il peut être transporté dans l'atmosphère sur la matière particulaire. Ces particules sont alors principalement constituées d'oxydes de cobalt. Les éruptions volcaniques et les feux de forêts constituent les principales sources d'exposition naturelles. Les sources anthropiques proviennent principalement des activités industrielles liées à l'extraction minière, mais aussi des fumées de centrales thermiques et des incinérateurs ainsi que des échappements de véhicules.

En milieu aquatique, le cobalt est généralement adsorbé sur la matière particulaire (ou précipite) et migre donc rapidement vers les sédiments. Il peut aussi se complexer avec la matière organique (substances humiques). Les quantités de cobalt adsorbé sur les particules sédimentaires diminuent au profit du cobalt dissous et du cobalt précipité (ou co-précipité) quand la concentration en matière organique augmente.

Peu de données écotoxicologiques existent sur le cobalt. Cependant, les études réalisées sur le sujet montrent que le cobalt pourrait avoir des effets sur la croissance. La solubilité du cobalt semble un facteur clé influençant sa toxicité. L'assimilation du cobalt semble liée à celle du calcium.

Les variations des teneurs en cobalt à Goury, aux Moulinets et en baie des Veys en 2015 sont présentées sur la *Figure 23*. Les concentrations sont restées similaires à celles de 2014, à part le pic en mai 2015 non observé en 2014 par manque résultats. Comme pour les autres métaux, les concentrations diminuent entre juillet et décembre avec un minimum à Goury en décembre de 0,2 mg/kg ps. Ainsi, les concentrations oscillent de façon modérée autour de la moyenne interannuelle (2003 – 2014) sur les deux sites de 0,34 mg/kg ps.



**Figure 23 :** Concentrations en cobalt à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

### 3.2.7 NICKEL

Le *Tableau 13* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du nickel.

**Tableau 13** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du nickel.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-02-0	Non applicable :	300	Eau marine : 0,5 – 1,7 µg/L	NQE Eau marine 8,6 µg/L
N° SANDRE 1386	composé inorganique	(moules, huîtres)	Sédiment : 3,2 – 4,0 mg/kg ps	Eau potable 20 µg/L
Masse Molaire 58,71 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec ; pf : poids frais.

Le nickel est peu répandu dans la croûte terrestre (0,8 à 0,9 %), principalement sous forme de minerais sulfurés, associés au fer et au cuivre.

Le nickel entre dans la fabrication d'acier inoxydable, comme catalyseur dans l'industrie chimique et dans certains pigments. A titre informatif, le rejet en mer de nickel autorisé par arrêté à AREVA NC est de 250 kg / an.

Les principales sources de nickel dans les milieux aquatiques sont les eaux usées domestiques, et les boues de station d'épuration ainsi que, via l'atmosphère, la combustion du pétrole et du bois (RNO, 2006).

En milieu marin, le nickel est beaucoup moins toxique pour les organismes que le cadmium ou le mercure. Assez peu bioaccumulable, cet élément est nécessaire à faible concentration aux fonctions physiologiques de certains organismes, mais des effets sur le développement embryonnaire d'invertébrés marins ont cependant été observés à plus forte concentration.

Les concentrations en nickel dans les moules aux stations de surveillance et dans le secteur de la Manche autour du Cotentin sont présentées sur la *Figure 24*. En 2015, les concentrations en nickel similaires à 2014 sur les deux sites et sont restées très inférieures à celles observées sur les données ROCCH présentées pour Bréville, Cherbourg et Villerville.

La *Figure 25* présente les médianes nationale et régionale ROCCH 2010-2014 (février) avec leurs dispersions, ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque campagne. Ce graphique permet de mieux visualiser le niveau nettement inférieur en nickel sur les deux sites (en moyenne 1,2 mg/kg ps) par rapport aux médianes nationale (1,84 mg/kg ps) et régionale (2,20 mg/kg ps).

## NICKEL

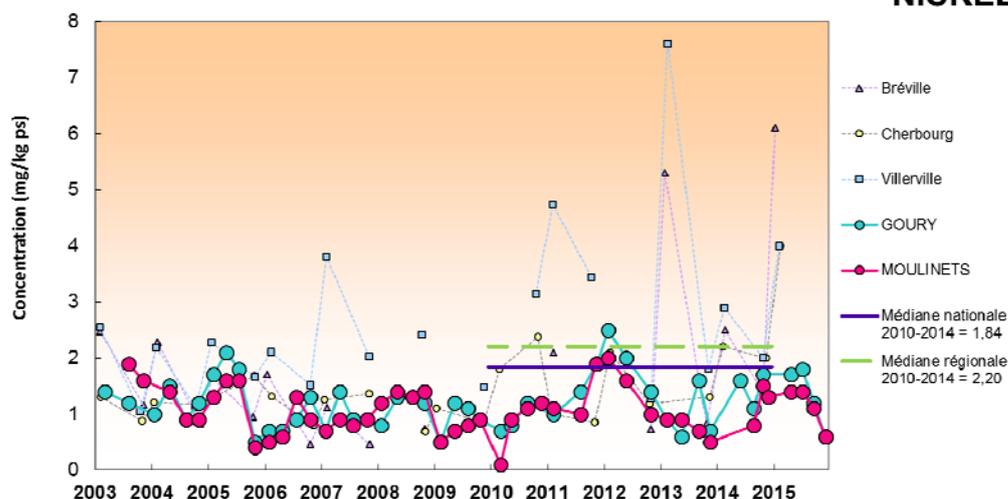


Figure 24 : Concentrations en nickel à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux. Rappel de la médiane nationale et régionale (février) entre 2010 et 2014 du ROCCH.

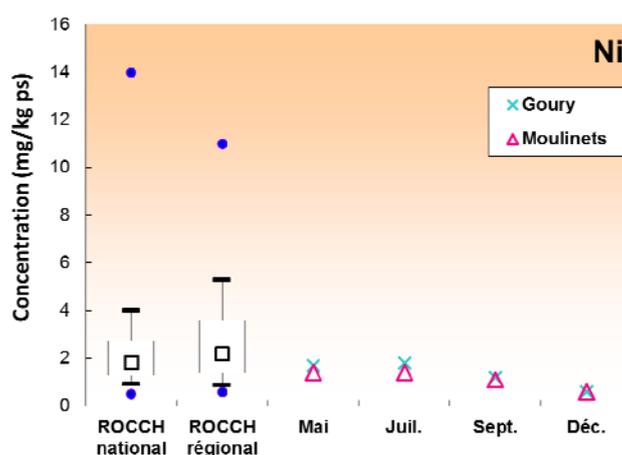


Figure 25 : Boîte à moustaches présentant les concentrations en nickel sur la série nationale et régionale ROCCH (février 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : □ = médiane ; — = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

## 3.2.8 CHROME

Le Tableau 14 ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du chrome.

Tableau 14 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du chrome.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7440-47-3	Non	2800	Eau marine (CrVI) : 3,0 µg/L	Pas de NQE
N° SANDRE 1389	applicable : composé inorganique	(moule CrIII) 100-9000 (moule CrIV)		Eau potable 50 µg/L
Masse Molaire 51,996 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec.

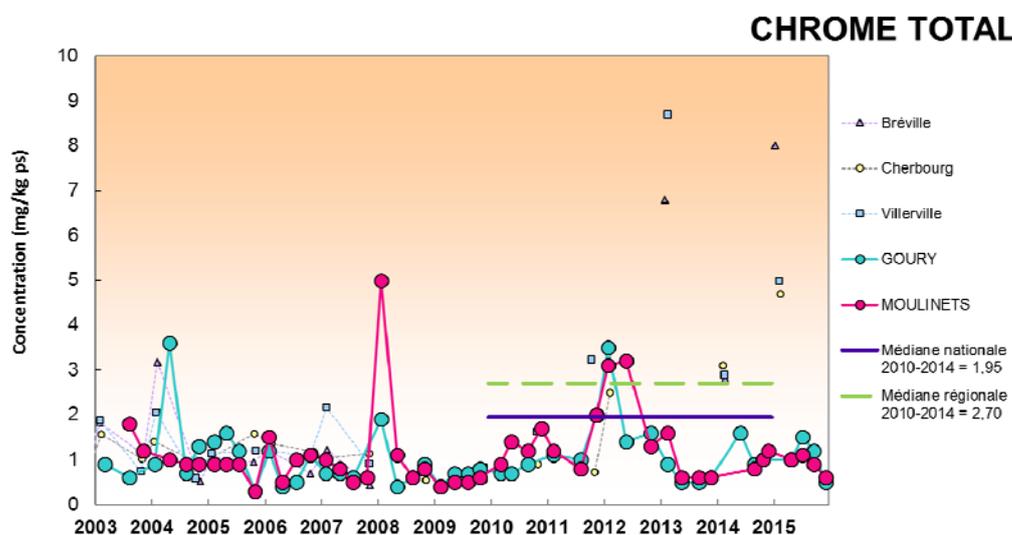
Elément largement distribué dans la croûte terrestre, le principal minéral est la chromite.

Le chrome est un des métaux les plus utilisés dans le monde et peut donc être rejeté en quantités significatives dans l'atmosphère et les milieux aquatiques. Il entre dans la composition d'aciers inoxydables, d'aciers spéciaux et d'alliages. Il améliore notamment la dureté des métaux et leur résistance à la corrosion. A titre informatif, le rejet en mer de chrome autorisé par arrêté à AREVA NC est de 130 kg / an.

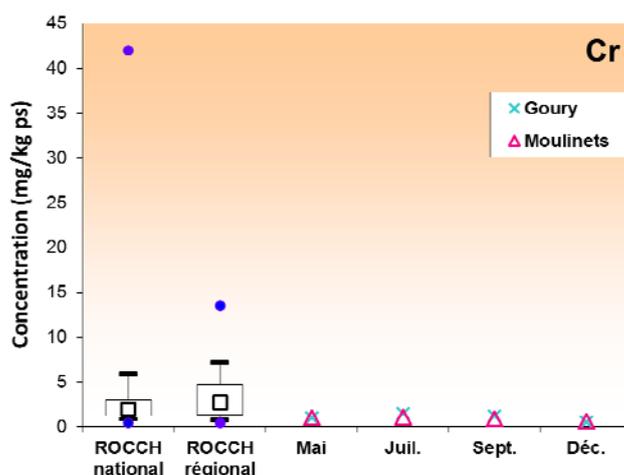
Le chrome n'est pas volatil. Ses principales sources d'émission dans l'atmosphère sont l'industrie chimique, la combustion de gaz naturel, d'huile et de charbon. Les usines de production de ciment constituent une autre source d'émission atmosphérique. Les composés de chrome sont alors présents sous forme de fines particules qui se déposent progressivement sur les sols et les surfaces aquatiques.

En milieu marin, il a été montré que le Cr (VI) provoque des anomalies dans le développement larvaire des bivalves.

La Figure 26 présente l'évolution des concentrations en chrome depuis 2003 à Goury et aux Moulinets, mais aussi sur les stations du ROCCH où son suivi n'est plus effectué qu'en février depuis 2008. En 2015, les concentrations sont restées proches de celles de 2014, avec une diminution de la teneur en chrome en décembre sur les deux sites. Les niveaux mesurés sont très inférieurs à ceux relevés sur les autres stations du ROCCH, y compris à Bréville en février 2015. Sur les deux sites les teneurs en chrome sont bien inférieures aux médianes régionales (2,70 mg/kg ps) et nationales (1,95 mg/kg) du ROCCH entre 2010-2014 (février) (Figure 27).



**Figure 26 :** Concentrations en chrome à Goury, au Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux.



**Figure 27 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en chrome sur la série nationale et régionale ROCCH (novembre 2010-2014) en mg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : □ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.2.9 FER

Le *Tableau 15* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques du fer.

**Tableau 15 :** Caractéristiques chimiques et toxicologiques du fer.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7439-89-6	Non applicable :	---	---	Pas de NQE
N° SANDRE 1393	composé inorganique			Eau potable 0,2 mg/L
Masse Molaire 55,845 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale.

Le fer compose environ 5 % de la croûte terrestre. Il est généralement combiné avec l'oxygène et forme des minerais d'oxyde de fer.

Le fer est utilisé partout dans la métallurgie, les transports, les constructions, les outils et machines ou encore les emballages. Il est rarement utilisé à l'état pur, mais c'est le principal élément entrant dans la composition de l'acier. A titre informatif, le rejet en mer de fer autorisé par arrêté à AREVA NC est de 500 kg/an.

Dans l'atmosphère, il est généralement véhiculé sous forme particulaire. Il est alors essentiellement présent dans les poussières minérales d'origine terrestre, principalement en provenance des régions arides. Dans l'eau, le fer peut se trouver sous forme dissoute et/ou particulaire. Néanmoins, lorsque les conditions sont oxiques, le fer précipite sous forme d'oxyde et d'hydroxydes, donnant lieu à des réactions d'adsorption et d'échanges entraînant une élimination de certains métaux dissous de la colonne d'eau vers le sédiment. Le fer joue donc un rôle important pouvant influencer le devenir d'autres métaux.

En milieu marin, le fer est nécessaire au développement de l'activité phytoplanctonique. Les risques écotoxicologiques du fer sont limités car les

concentrations en fer dissous, assimilables par le phytoplancton, sont généralement très faibles.

Le fer n'est pas un élément suivi en routine par le ROCCH. L'évolution de sa concentration sur les points Goury et Moulinets peut cependant être comparée avec sa teneur à l'état initial du lot de moules en provenance des gisements de la baie des Veys.

Comme pour les autres métaux, les concentrations en 2015 étaient proches de celles mesurées en 2014 sur les deux sites (Figure 28). Ces teneurs restent aussi proches de la médiane interannuelle (2003-2014) sur les deux sites (237 mg/kg ps). Par rapport à l'état initial du lot, les concentrations ont été légèrement plus élevées en mai, de façon plus prononcée en juillet, légèrement en septembre, et sont revenues à des concentrations similaires en décembre 2015.

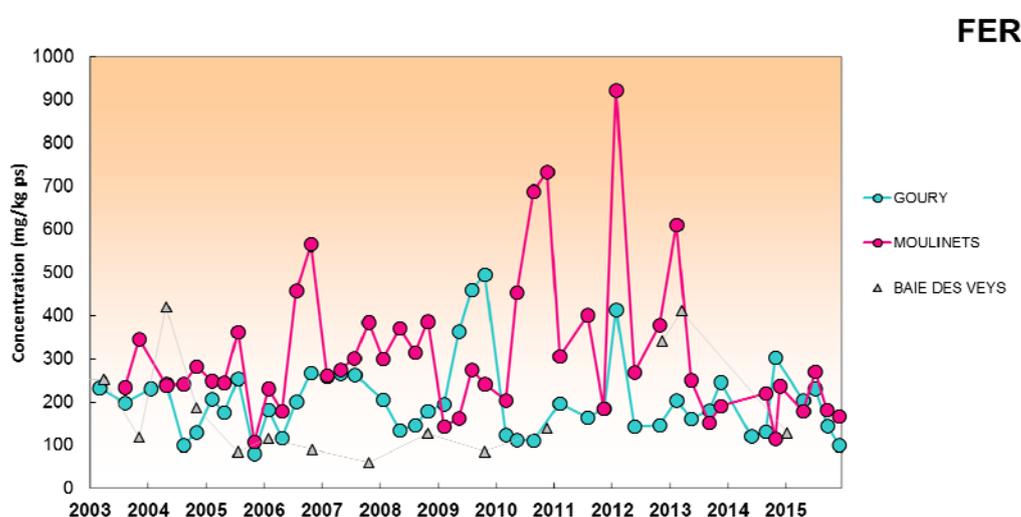


Figure 28 : Concentrations en fer à Goury, aux Moulinets et dans le lot de moules avant implantation (état initial).

### 3.2.10 MANGANESE

Le Tableau 16 ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du manganèse.

Tableau 16 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du manganèse.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7439-96-5	Non			Pas de NQE
N° SANDRE 1394	applicable : composé inorganique	---	Eau douce : 15 µg/L	Eau potable 50 µg/L
Masse Molaire 54,938 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale.

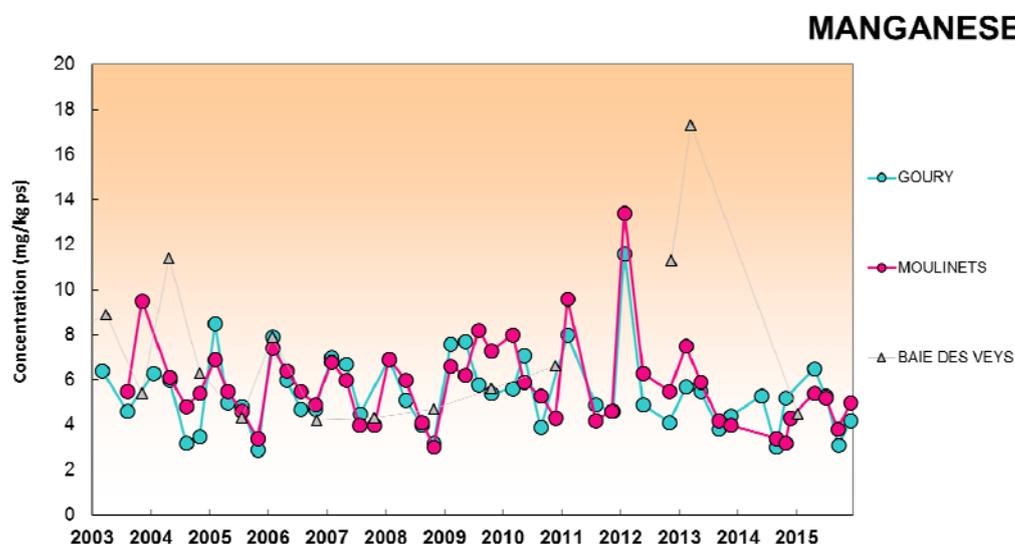
Le manganèse représente environ 0,1 % de la croûte terrestre sous forme d'oxydes, de silicates et des carbonates.

Ce métal participe à la composition de nombreux alliages avec le fer, l'aluminium et le cuivre. Sous forme pure ou dérivés (acétate, chlorure, oxyde, sulfate de manganèse), ils rentrent dans divers procédés chimiques pour la fabrication des peintures, le verre, les piles sèches, des pesticides, la conservation du bois, le traitement du cuir, l'alimentation du bétail ou encore les engrais. A titre informatif, le rejet en mer de fer autorisé par arrêté à AREVA NC est de 100 kg/an.

Le manganèse élémentaire et ses différents dérivés ne sont pas ou très peu volatils. Dans l'air, les principales sources d'émission sont industrielles à travers la production de ferro-alliage. La combustion de combustibles fossiles et l'entraînement de particules de sol contribuent également à la contamination de l'atmosphère. Le manganèse présent dans l'atmosphère sous forme particulaire est principalement associé à de petites particules ( $< 5 \mu\text{m}$ ), favorisant ainsi sa dispersion. Dans l'eau, le manganèse est généralement associé au carbonate. La concentration en manganèse est donc limitée par la faible solubilité de  $\text{MnCO}_3$ . Les différents dérivés du manganèse sont le plus souvent transportés sur les matières en suspension dans l'eau et les sédiments.

En milieu marin, le manganèse a tendance à se bioaccumuler mais sa toxicité dans le milieu aquatique est généralement réduite.

Le manganèse n'est pas un élément suivi en routine par le ROCCH. L'évolution de sa concentration sur les points Goury et Moulinets peut cependant être comparée avec sa teneur à l'état initial du lot de moules en provenance des gisements de la baie des Veys.



**Figure 29 :** Concentrations en manganèse à Goury, aux Moulinets et dans le lot de moules avant implantation (état initial).

Comme pour les autres métaux, les concentrations en 2015 étaient proches de celles mesurées en 2014 sur les deux sites (Figure 29). Ces teneurs restent aussi proches de la médiane interannuelle (2003-2014) sur les deux sites (5,5 mg/kg ps). Par rapport à l'état initial du lot, les concentrations ont été légèrement plus élevées en mai et en juillet, légèrement plus faibles en septembre, et sont revenues à des concentrations similaires en décembre 2015.

### 3.2.11 ALUMINIUM

Le *Tableau 17* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques de l'aluminium.

**Tableau 17 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques de l'aluminium.**

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 7429-90-5	Non applicable :		Eau douce : 0,06 µg/L	Pas de NQE
N° SANDRE 1370	composé inorganique	---	Eau marine : 0,006 µg/L	Eau potable 200 µg/L
Masse Molaire 26,982 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale.

L'aluminium est le troisième élément le plus répandu sur la terre et représente ainsi 8 % de la masse de la croûte terrestre. Très réactif, il ne se trouve pas à l'état pur dans la nature, mais combiné avec l'oxygène, le silicium ou le fluor.

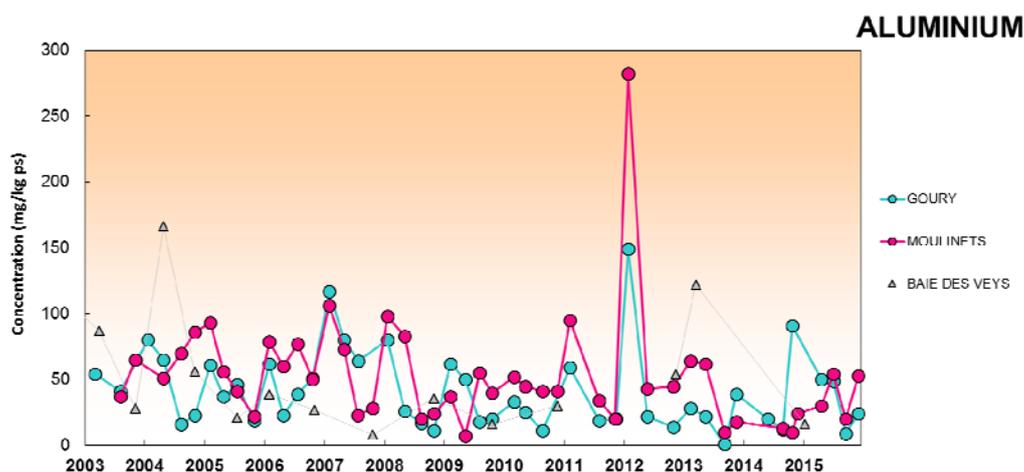
L'aluminium est utilisé principalement dans les fabrications d'alliages. Il est utilisé dans l'industrie automobile, le bâtiment, l'électroménager, dans la fabrication de câbles électriques, l'industrie alimentaire et cosmétique ainsi que dans la composition des médicaments. L'utilisation de ses dérivés est très diversifiée. Ils sont utilisés comme catalyseur en synthèse organique (bromure d'aluminium), pour la protection des bois (chlorure d'aluminium), comme traitement contre l'acidité pour l'estomac (hydroxyde d'aluminium) ou encore dans la fabrication d'abrasifs, de réfractaires, de céramiques, d'isolants électriques ou de catalyseur (oxyde d'aluminium). A titre informatif, le rejet en mer de fer autorisé par arrêté à AREVA NC est de 500 kg/an.

Les principales sources naturelles dans l'atmosphère sont l'émission par les sols ou les roches de particules contenant de l'aluminium ainsi que l'activité volcanique. Les principales sources anthropiques sont liées à la production industrielle d'aluminium mais aussi à l'agriculture, à la combustion du charbon et aux échappements des automobiles. L'aluminium transporté dans l'atmosphère est généralement présent sous forme de silicates, d'oxydes et d'hydroxydes particulaires.

Dans l'eau, la forme insoluble Al(OH)<sub>3</sub> est prédominante dans la gamme de pH comprise entre 5,2 et 8,8. En présence d'une grande quantité de matières organiques dissoutes, en particulier d'acide fulvique, l'aluminium peut se complexer fortement à ces substances.

En milieu aquatique, l'aluminium peut être accumulé de façon significative par des organismes filtreurs (bivalves) causant d'importants dysfonctionnements physiologiques. Des effets toxiques ont aussi été observés sur certains poissons et de crustacés du à la précipitation d'aluminium insoluble sur les branchies. Finalement, ce métal est aussi toxique pour le phytoplancton et certaines algues benthiques altérant des fonctions physiologiques de bases comme la photosynthèse ou leur capacité de reproduction.

Comme pour le cobalt, le fer ou le manganèse, l'aluminium n'est pas un élément suivi en routine par le ROCCH. L'évolution de sa concentration sur les points Goury et Moulinets peut cependant être comparée avec sa teneur à l'état initial du lot de moules en provenance des gisements de la baie des Veys.



**Figure 30** : Concentrations en aluminium à Goury, aux Moulinets et dans le lot de moules avant implantation (état initial).

En 2015, les concentrations étaient légèrement supérieures à 2014 (excepté en novembre 2014 à Goury), avec un faible pic sur les deux sites en juillet, et à Moulinets en décembre (Figure 30). Ainsi, les valeurs en 2015 fluctuent autour de la médiane interannuelle (2003-2014) sur les deux sites (41 mg/kg ps). Par rapport à l'état initial, les niveaux étaient légèrement plus élevés sur trois des quatre prélèvements, celui de septembre étant proche de la valeur initiale sur les deux sites.

### 3.3 Organochlorés

Pour permettre une comparaison des résultats entre les sites AREVA NC et ceux du ROCCH, les résultats du DDT et de ses métabolites (DDD et DDE) sont présentés sommés.

Afin de rester cohérents avec le suivi du ROCCH, le Lindane ( $\gamma$ -HCH) a été choisi comme marqueur de la famille des hexachlorocyclohexanes. Les dernières études effectuées par ce réseau montrent une tendance à la baisse des concentrations dans le milieu plus rapide pour le  $\alpha$ -HCH que pour le Lindane.

D'une façon analogue, le congénère CB153 est généralement considéré comme représentatif de la contamination par les PCB. Il a donc été choisi comme marqueur de la contamination par les PCB.

#### Synthèse des résultats analytiques

Le *Tableau 18* présente les teneurs en pesticides (lindane, DDT et ses métabolites) et PCB (CB153) mesurées sur les lots de moules étudiés à Goury et aux Moulinets.

**Tableau 18** : Concentrations en pesticides et PCB ( $\mu\text{g}/\text{kg ps}$ ) dans les moules des points Goury et Moulinets en 2015.

GOURY	PESTICIDES				PCB
	DDT	DDE	DDD	$\gamma$ -HCH	CB153
Février 2015	/	/	/	/	/
04/05/2015	< 0,1	0,8	0,3	0,2	14,5
16/07/2015	< 0,1	0,5	0,2	0,2	7,3
30/09/2015	0,3	0,4	0,1	0,3	4,0
14/12/2015	0,1	0,6	0,2	< 0,1	14,9

MOULINETS	DDT	DDE	DDD	$\gamma$ -HCH	CB153
	Février 2015	/	/	/	/
04/05/2015	0,1	10,4	0,2	0,1	16,6
16/07/2015	< 0,1	0,4	0,2	< 0,1	8,7
28/09/2015	< 0,1	0,4	0,2	0,1	7,2
14/12/2015	0,1	0,6	0,1	< 0,1	15,4

BAIE DES VEYS	DDT	DDE	DDD	$\gamma$ -HCH	CB153
	22/01/2015	< 0,1	2,6	< 0,1	0,1

### 3.3.1 DDT + DDE + DDD

Le *Tableau 19* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques des pesticides organochlorés DDT, DDD et DDE.

**Tableau 19** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du DDT, DDD et DDE.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
<b>DDT</b>				
N° CAS : 789-02-6 & 50-29-3	6,79	45 600	Pas de PNEC	NQE provisoire : 0,01 µg/L
N° Sandre : 1147 & 1148	& 6,91	(mollusques)		
Masse Molaire : 354,49 g/mol				
<b>DDD</b>				
N° CAS : 53-19-0 & 72-54-8	5,87		Pas de PNEC	Pas de NQE
N° Sandre : 1143 & 1144	& 6,02			
Masse Molaire : 320,04 g/mol				
<b>DDE</b>				
N° CAS : 3424-82-6 & 72-55-9	6,00		Pas de PNEC	Pas de NQE
N° Sandre : 1145 & 1146	& 6,51			
Masse Molaire : 318,02 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale.

Le DDT (dichloro-diphényl-trichloro-éthane) fait partie de la famille chimique des organochlorés. Ces composées sont parmi les plus anciens pesticides organiques de synthèse. Cette substance se présente sous forme d'un solide incolore qui est très faiblement soluble dans l'eau. Le DDT technique est un mélange de différents isomères. Il a été utilisé dès les années 1950 pour lutter contre les larves et les stades adultes d'insectes (notamment la démoustication). A partir de 1972, il a fait l'objet d'importantes limitations d'emploi. Il est maintenant interdit en France depuis plus de vingt ans en raison de son caractère toxique, bioaccumulable et persistant. Il provoque notamment des perturbations du métabolisme chez de nombreux organismes terrestres et marins. Il est potentiellement cancérigène et mutagène. Le DDD (dichloro-diphényl-dichloro-éthane) est un produit de dégradation du DDT. Cette dégradation intervient en particulier en milieu réducteur, c'est à dire souvent dans les sédiments. Le DDE (dichloro-diphényl-dichloro-éthylène) est un autre produit de dégradation du DDT. Il est le résultat de la métabolisation par les organismes.

De nos jours, l'utilisation du DDT est interdite dans la majorité des pays occidentaux, mais toujours utilisé dans certains pays en développement. Il reste néanmoins aussi utilisé comme intermédiaire dans la fabrication du dicofol (acaricide) employé pour des applications agricoles (quelques tonnes par an en France). Le dicofol pouvant contenir du DDT comme impureté (< 0,1 %), quelques kilogrammes de DDT peuvent donc être accidentellement introduits dans l'environnement annuellement.

Le DDT et ses produits de dégradation sont semi-volatils. Ils sont donc susceptibles de se disperser facilement dans l'atmosphère. Dans ce compartiment, le DDT peut se présenter sous forme de gaz, d'aérosol ou fixées sur des particules. Dans les sols, l'usage agricole intensif durant plusieurs décennies, a conduit à fortes accumulations dans les horizons superficiels du sol

en raison d'une mobilité assez faible de cette substance. Depuis la surface des sols, le DDT peut être sujet à une lente évaporation et/ou à une photo-oxydation peu intense. En outre, sous conditions anaérobiques et réductrices, le DDT peut subir une dégradation vers le DDD. Dans l'eau, le DDT possède une forte affinité pour la matière particulaire. La fraction non adsorbée a généralement tendance à s'évaporer.

En milieu aquatique, le DDT et ses dérivés possèdent une forte affinité pour les composés lipidiques. Cette propriété ainsi que leurs persistances sont responsable de phénomènes de bioaccumulation dans les organismes aquatiques. Il peut en résulter une bio-magnification progressive du DDT dans la chaîne trophique.

La Figure 31 présente les variations des concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury, aux Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux depuis 2003 (2009 pour Villerville). En 2015, les concentrations sont restées très faibles dans les prélèvements effectués en mai à Goury, juillet, septembre, et décembre sur les deux sites d'étude, où les valeurs enregistrées sont très inférieures aux médianes régionales et nationales sur les deux sites de suivi (Figure 31). Cependant, un pic important a été enregistré en mai aux Moulinets, le deuxième plus important depuis le début du suivi en 2003. Cet événement ne peut pas être interprété par manque d'autres informations, mais pourrait être dû aux pratiques agricoles locales.

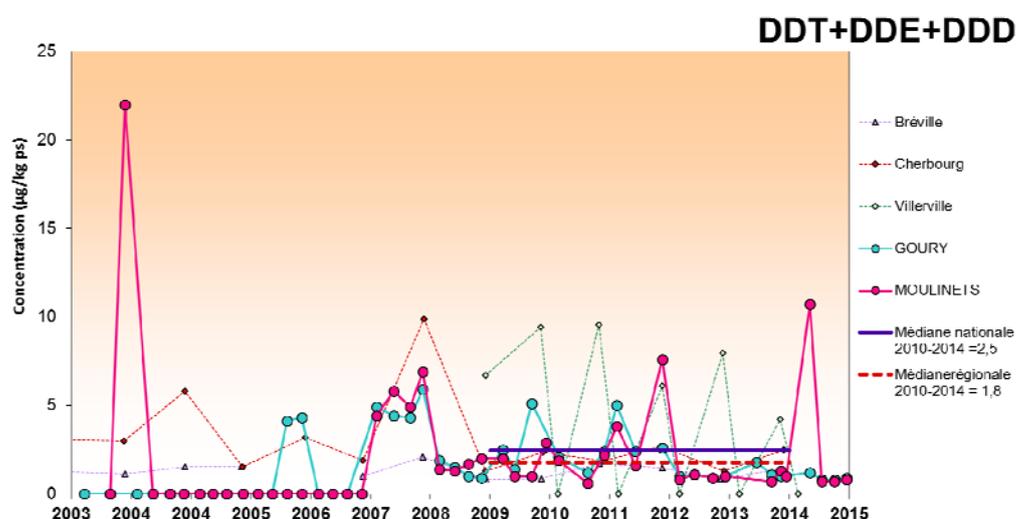


Figure 31 : Concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury, aux Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux et médianes nationale et régionale (2010-2014) du ROCCH.

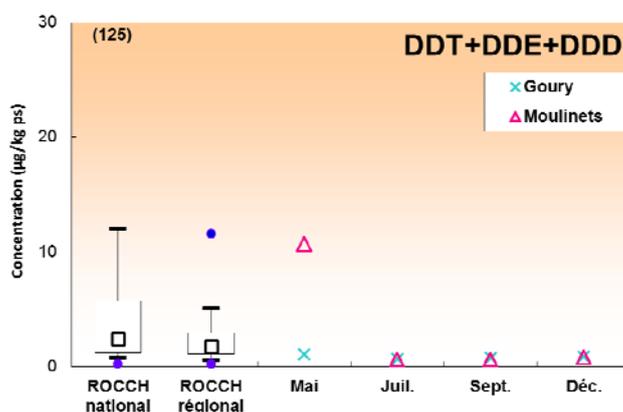


Figure 32 : Boîte à moustaches présentant les concentrations en DDT+DDE+DDD sur la série nationale et régionale ROCCH (novembre 2010-2014) en µg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.3.2 $\gamma$ HCH (LINDANE)

Le *Tableau 20* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques et toxicologiques du lindane.

**Tableau 20** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du lindane.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 58-89-9			Eau marine : 0,002 µg/L	NQE provisoire : 0,02 µg/L
N° SANDRE 1203	3,69	161 (Moules) 240 ( <i>Mytilus edulis</i> )	Sédiments mer : 0,0011 mg/kg ps	Eau potable 0,1 µg/L
Masse Molaire 290,83 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; ps : poids sec.

L'hexachlorocyclohexane (HCH) est un composé chimique chloré de synthèse qui existe sous huit formes isomériques. Ces différents isomères sont nommés en fonction de la position des atomes d'hydrogène sur le noyau de benzène. Une de ses formes est appelée gamma-HCH ou plus communément lindane. Il est utilisé comme insecticide à large spectre d'activité, mais plus précisément pour le traitement des cultures et la lutte contre les moustiques et les termites. Très toxique et rémanent, il est facilement bioaccumulable dans la matière vivante. Son utilisation est interdite en France depuis août 1998.

La volatilisation du lindane constitue une des principales sources de dispersion dans l'atmosphère où il est relativement stable. Il peut aussi s'adsorber sur des particules solides et être à nouveau déposé. Son temps de résidence moyen dans l'atmosphère est estimé à 17 semaines.

Dans le milieu aquatique, le lindane est peu soluble, mais peut migrer vers les compartiments sédimentaires par adsorption sur la matière particulaire. Des processus de biodégradation (anaérobie) ou absorption par la faune peuvent aussi contribuer à diminuer sa concentration dans l'eau. Sa dégradation par photolyse dans l'eau reste faible. Il présente une toxicité aiguë pour beaucoup d'organismes aquatiques.

La *Figure 33* présente les variations des concentrations en lindane à Goury, aux Moulinets et sur les sites ROCCH régionaux depuis 2003. Grâce à l'abaissement des limites de quantification, les mesures sont interprétables depuis 2007 sur les deux sites. En 2015, les concentrations en lindane ont été très faibles et inférieures à la médiane nationale (0,34 µg/kg ps) et la médiane régionale (0,22 µg/kg) du ROCCH.

La comparaison des données individuelles des deux sites avec la répartition des données nationales et régionales du ROCCH confirme cette interprétation (*Figure 34*).

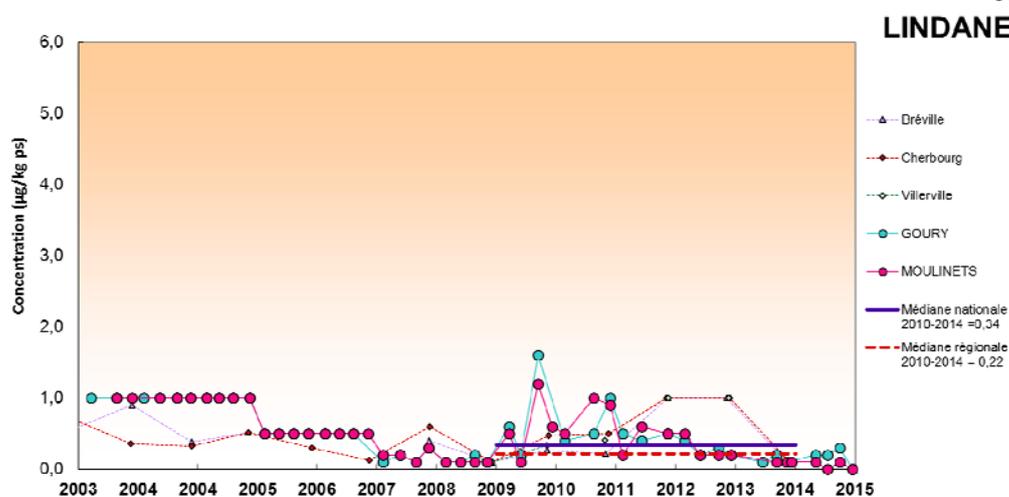


Figure 33 : Concentrations en Lindane à Gourey, aux Moulinets, sur les sites ROCCH régionaux et médianes nationale et régionale 2010-2014 (novembre) du ROCCH.

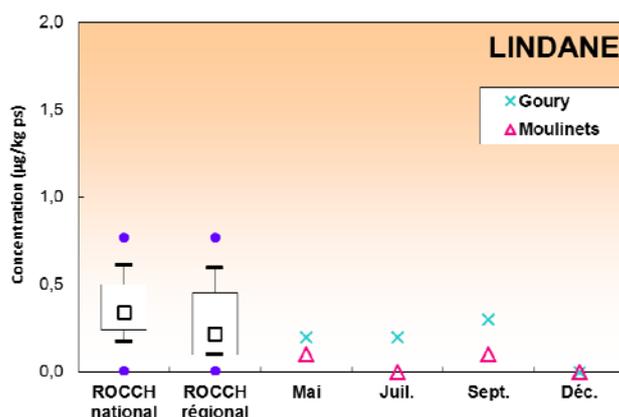


Figure 34 : Boîte à moustaches présentant les concentrations en lindane sur la série nationale et régionale ROCCH (novembre 2010-2014) en  $\mu\text{g}/\text{kg ps}$  et variations à Gourey (x) et aux Moulinets ( $\Delta$ ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches :  $\blacksquare$  = médiane ;  $\square$  = 50 % des valeurs ;  $-$  = 80% des concentrations ;  $\bullet$  = maximum et minimum.

### 3.3.3 POLYCHLOROBIPHENYLES (PCB)

Le Tableau 21 ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques des PCB et en particulier du congénère CB153, utilisé comme élément représentatif de cette famille.

Tableau 21 : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du CB153.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 35065-27-1				
N° SANDRE 1245	7,22	10000-500000 (Bivalves)	Pas de PNEC	NQE provisoire : 0,001 $\mu\text{g}/\text{L}$ PCB totaux
Masse Molaire 360,88 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale.

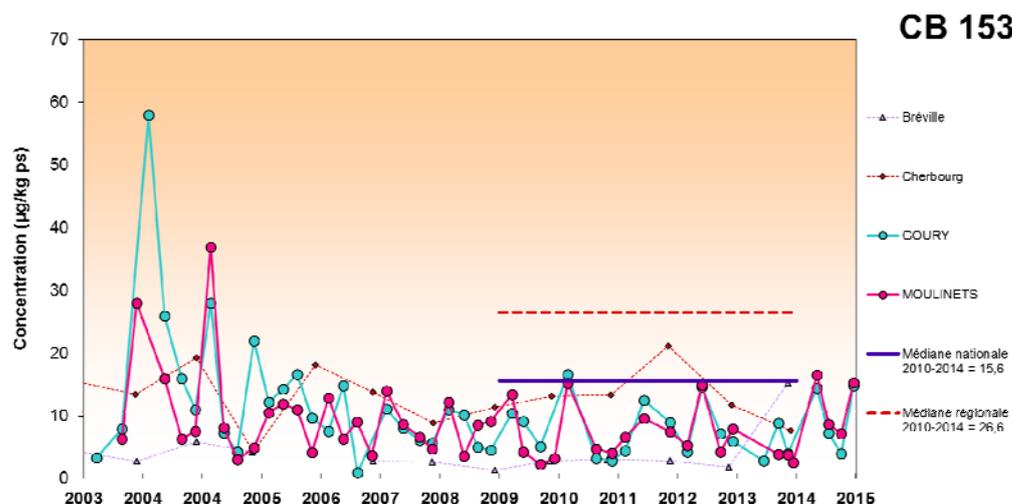
Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés aromatiques chlorés comprenant 209 congénères. Ces derniers se différencient en fonction par le nombre et la position des atomes de chlore sur la molécule de biphényle. Ils sont désignés par le sigle CB suivi d'un numéro correspondant à leur structure selon la nomenclature internationale IUPAC.

Les PCB sont des substances de synthèse, autrefois fabriqués industriellement par chloration du biphényle. Cette réaction conduit à des mélanges techniques de PCB plus ou moins chlorés. Ils étaient utilisés dans les installations électriques : isolants diélectriques, transformateurs et condensateurs. Depuis 1975, l'usage « ouvert » (comme solvant de peinture, vernis, encres, pesticides ...) des PCB est interdit en France, mais leur présence était tolérée dans certains systèmes clos permettant leur récupération. Leur rémanence, leur toxicité, et leur faculté de bioaccumulation ont conduit à interdire leur mise en service ou mise sur le marché à partir de 1987. L'emploi des appareils en service en 1987 reste autorisé jusqu'à leur fin de vie, pour une élimination avant fin 2010. La convention de Stockholm prévoit la disparition totale de ces équipements pour 2025.

La volatilité des PCB est corrélée au nombre d'atomes de chlore du congénère. Moins le congénère est chloré, plus il aura tendance à se volatiliser. Dans l'atmosphère, les principales sources sont liées à la présence de PCB dans les décharges (non contrôlées ou non appropriées), dans les boues d'épuration, dans les déchets industriels incinérés ou encore l'explosion et des surchauffes des transformateurs et des condensateurs électriques. Dans l'eau, les PCB présentent une forte affinité pour les sédiments et les particules en suspension. Les congénères les plus chlorés peuvent être sujet à une réduction par des microorganismes anaérobies et conduisant à une perte d'atome de chlore. Dans les conditions environnementales classiques, les processus de dégradation abiotique sont inefficaces. Les réactions d'hydrolyse, d'oxydation ou de photolyse ne dégradent pas de façon significative les PCB. L'adsorption sur les phases particulières (sédiments) et la matière organique conditionne fortement le devenir des PCB, moins prononcée pour les congénères les moins substitués. La composition des PCB dans l'eau montre généralement un enrichissement en congénères faiblement substitués, et un enrichissement relatif des sédiments en congénères hautement substitués.

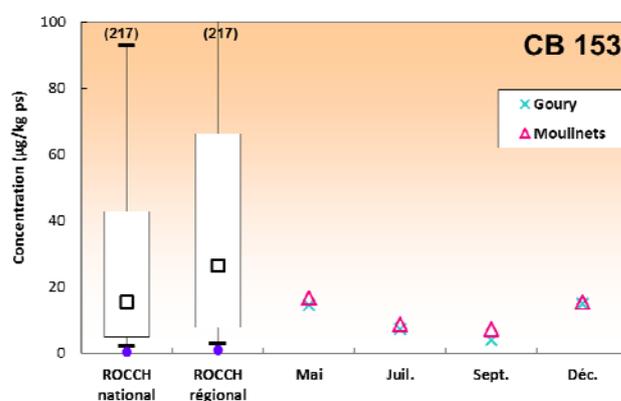
Chez les organismes aquatiques, les PCB ont une capacité de bioconcentration importante et sont très toxiques. Ils perturbent les fonctions reproductrices en fin de chaîne trophique.

Les concentrations en PCB (CB 153) aux différentes stations de surveillance et sur les différents points régionaux du ROCCH sont présentées sur la *Figure 35*. Depuis 2004, où le point Goury présentait des concentrations proches de 60 µg/kg ps, les concentrations semblent décroître. Les concentrations observées en 2015 sont plus importantes qu'en 2014 sur les deux sites. Depuis l'année 2009, les niveaux enregistrés à Goury et aux Moulinets sont souvent compris entre ceux mesurés à Bréville et à Cherbourg. Les concentrations au point ROCCH Villerville ne sont pas indiquées sur le graphique pour des questions d'échelle, car celles-ci varient typiquement entre 50 et plus de 200 µg/kg ps. Comme pour la plupart des autres substances surveillées, un pic printanier est observé, dont la concentration correspond à celle mesurée à Bréville en novembre 2014.



**Figure 35 :** Concentrations en CB153 à Goury et aux Moulinets, sur les sites ROCCH régionaux et médiane nationale et régionale (2010-2014) du ROCCH.

En 2015, la moyenne des valeurs enregistrées aux Moulinets et à Goury, est située dans la gamme des faibles valeurs au niveau régional comme au niveau national (Figure 36). L'ensemble des concentrations se situent largement en dessous de la médiane nationale (15,6 µg/kg ps) et régionale (26,6 µg/kg ps) 2010-2014 du ROCCH.



**Figure 36 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en CB153 sur la série nationale et régionale ROCCH (novembre 2010-2014) en µg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; ● = maximum et minimum.

### 3.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Fluoranthène

Le *Tableau 22* ci-dessous présente les principales caractéristiques chimiques du fluoranthène, substance jugée représentative de la famille des HAP.

**Tableau 22** : Caractéristiques chimiques et toxicologiques du fluoranthène.

Identification	Log K <sub>ow</sub>	BCF	Ecotoxicologie (PNEC)	Valeurs seuils réglementaires
N° CAS 206-44-0			Eau marine : 0,12 µg/L	NQE eau marine : 0,0063 µg/L (CMA : 0,12 µg/L)
N° SANDRE 1191	5,33	5 900 (Moule) 10 000 ( <i>Crassostrea virginica</i> )	Sédiment : 0,129 µg/kg ps (NQE org. benthiques)	NQE biote : 30 µg/kg ps (crustacés/mollusques)
Masse Molaire 202,26 g/mol				

BCF : BioConcentration Factor ; PNEC : Predicted No Effect Concentration ; NQE : Normes de Qualité Environnementale ; CMA : Concentration Maximale Admissible ; ps : poids sec.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés formés exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène, sous forme d'un ou plusieurs systèmes cycliques, avec un nombre d'isomères susceptibles d'exister sans limite.

Les HAP sont des constituants des produits organiques fossiles (15 à 30 % dans la composition des pétroles bruts, et présence dans la houille) ou sont générés par la combustion incomplète de matières organiques.

S'ils existent à l'état naturel dans l'océan, leur principale source est anthropique et provient de la combustion des produits pétroliers, sans oublier les déversements accidentels et les rejets illicites, ou des émissions des cheminées à bois domestiques, des incinérateurs d'ordures ménagères, des unités de production de goudron et d'asphalte, des unités de craquage du pétrole.

Dans l'atmosphère, les HAP sont généralement associés à des particules fines. Cependant, ils peuvent également être présents en phase gazeuse. La présence de HAP dans les sols et les eaux de surface provient généralement du dépôt de particules en suspension dans l'atmosphère, des rejets de lixiviation des aires de stockage de charbon, des effluents des usines de traitement du bois et autres industries, de l'utilisation de composts et de fertilisants. Moins biodégradables que les autres hydrocarbures et bioaccumulables, ils restent plus longtemps dans le milieu et font partie des polluants organiques persistants.

Les principaux HAP sont cancérigènes à des degrés divers, le plus néfaste étant le benzo(a)pyrène. La toxicité est d'autant plus élevée que le poids moléculaire de l'HAP est important.

Typiquement, deux types d'HAP sont recherchés dans l'environnement :

- Des HAP d'origine pétrolière, dits « pétrogéniques », sont trouvés en concentration non négligeable dans les eaux souterraines et les fruits de mer : acénaphthène, anthracène, fluoranthène et naphthalène.
- Des HAP issus en majorité de la combustion incomplète de matière organique et notamment de produits pétroliers, dits « pyrolytiques » : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène, benzo(k)fluoranthène, fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Le fluoranthène est donc considéré comme représentatif de la famille des HAP car il appartient à la fois famille des HAP « pétrogéniques » et à celle des HAP « pyrolytiques ».

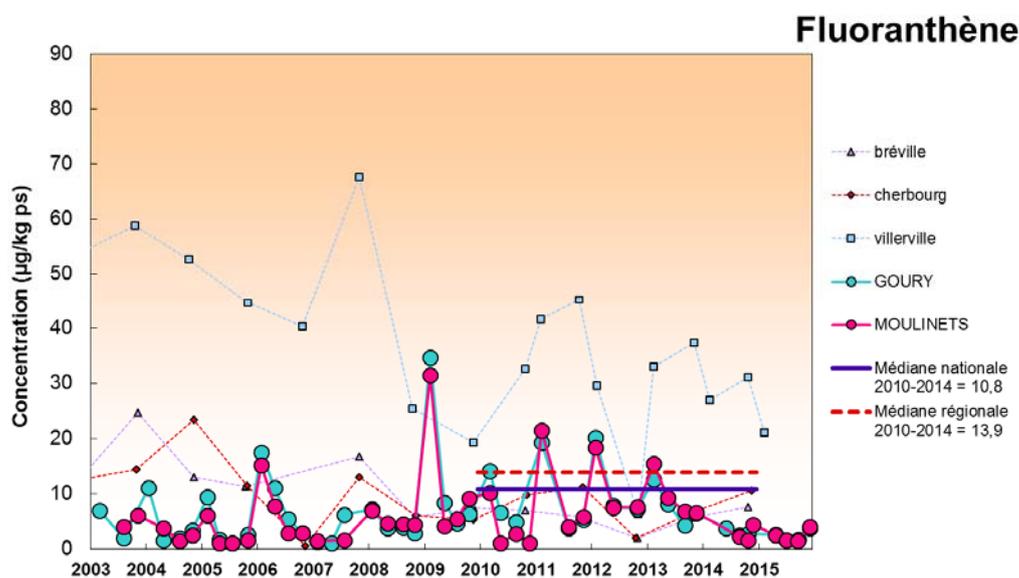
### Synthèse des résultats analytiques

Le *Tableau 23* présente les concentrations en fluoranthène mesurées sur les lots de moules en 2014 à Goury, aux Moulinets.

**Tableau 23** : Concentrations de fluoranthène (en  $\mu\text{g}/\text{kg ps}$ ) pour les points Goury et Moulinets en 2014.

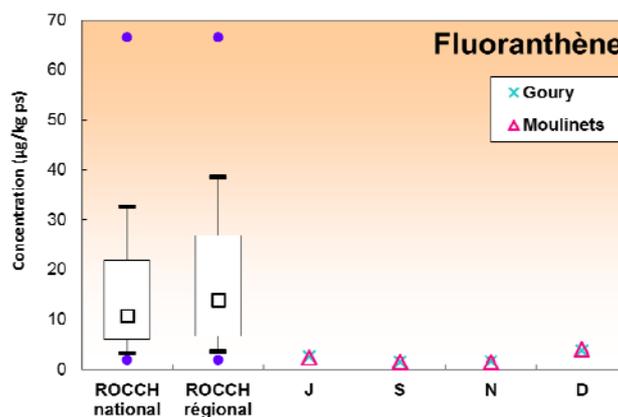
	Fluoranthène		
	GOURY	MOULINETS	BAIE DES VEYS
22/01/2015			9,0
Février 2015	/	/	
04/05/2015	2,6	2,4	
16/07/2015	1,5	1,5	
28/09/2015		1,4	
30/09/2015	1,7		
14/12/2015	3,8	4,0	

Les concentrations en fluoranthène observées sur les points de surveillance ainsi que sur les sites régionaux du ROCCH sont présentées sur la *Figure 37*, ainsi que les concentrations médianes du ROCCH national et régional sur la période 2010-2014. En 2015, les concentrations observées en mai, juillet, septembre et décembre à Goury et aux Moulinets sont très faibles, comme en 2014, et rejoignent les niveaux enregistrés en 2010. Ces teneurs sont même inférieures à celles mesurées à Bréville et à Cherbourg en novembre 2014.



**Figure 37** : Concentrations en fluoranthène à Goury et aux Moulinets, sur les sites ROCCH régionaux et médiane nationale et régionale (2010-2014) du ROCCH.

Les concentrations en fluoranthène mesurées au cours de l'année 2015 sur les sites de Goury et des Moulinets, sont situées dans la gamme des plus basses concentrations observées tant au niveau régional que national du réseau ROCCH (Figure 38).



**Figure 38 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en fluoranthène sur la série nationale et régionale ROCCH (novembre 2010-2014) en µg/kg ps et variations à Goury (x) et aux Moulinets (Δ) en 2015. Dans les boîtes à moustaches : ■ = médiane ; □ = 50 % des valeurs ; — = 80% des concentrations ; • = maximum et minimum.

### 3.5 Tendances et comparaison inter-sites

Les séries de données de surveillance commencées depuis 2003 sont composées d'un faible nombre de valeurs. Ceci rend les tendances sensibles aux variations saisonnières et aux valeurs exceptionnelles. Il faut donc considérer ces tendances avec précaution et toujours se référer aux figures d'évolution temporelle des paramètres pour avoir une meilleure compréhension des phénomènes.

Le *Tableau 24* présente les résultats statistiques de tendance pour les différents métaux, composés organochlorés et hydrocarbure aromatique polycyclique. Les tendances sont indiquées avec des flèches indiquant soit une augmentation, une diminution ou une stabilité de la concentration du paramètre. La valeur de probabilité ( $p$ ) associée à ces tendances est aussi présentée dans le tableau. Par ailleurs, aucun test statistique n'a été réalisé sur le lindane en raison des nombreuses valeurs en dessous du seuil analytique de détection.

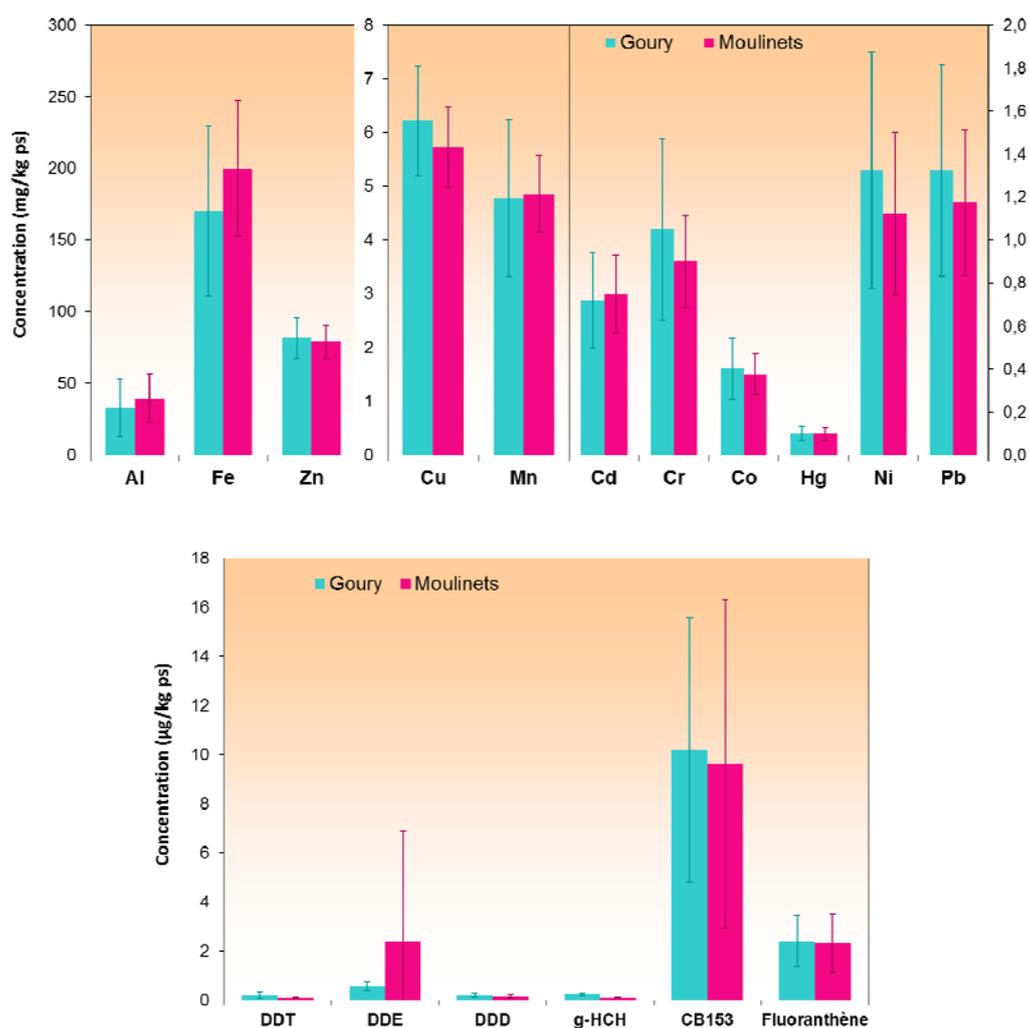
**Tableau 24 :** Valeurs de la probabilité associée  $p$ , pour les tests de signification de la pente de la droite de régression pour chaque paramètre et par point d'échantillonnage.

Métaux	GOURY		MOULINETS	
	$p$	Tendance	$p$	Tendance
Aluminium	0,164	→	0,241	→
Cadmium	0,628	→	0,333	→
Chrome	0,954	→	0,792	→
Cobalt	0,672	→	0,881	→
Cuivre	0,660	→	0,188	→
Fer	0,780	→	0,898	→
Manganèse	0,486	→	0,308	→
Mercure	0,099	→	0,053	→
Nickel	0,399	→	0,740	→
<b>Plomb</b>	<b>0,013</b>	<b>↘</b>	<b>0,013</b>	<b>↘</b>
Zinc	0,431	→	0,433	→
Organochlorés	$p$	Tendance	$p$	Tendance
DDT+DDE+DDD	<b>0,001</b>	<b>↘</b>	0,274	→
PCB - CB153	<b>0,013</b>	<b>↘</b>	0,103	→
HAP	$p$	Tendance	$p$	Tendance
Fluoranthène	0,972	→	0,624	→

A Goury et aux Moulinets, l'intégration des résultats 2015 dans la série temporelle montre que seul le plomb (Pb) montre une tendance significative à la diminution de sa concentration (*Tableau 24*). En outre, une tendance décroissante significative est aussi observée pour le congénère CB153 de la famille des PCB et le complexe « DDT+DDE+DDD » sur le site de Goury. Aucune autre tendance n'est observée pour les autres substances recherchées. En appliquant un test statistique apparié

(*t*-Test) sur les données des deux sites, seule la moyenne interannuelle en fer est significativement supérieure aux Moulینets par rapport à Goury.

Une comparaison entre les moyennes plus ou moins les écart-types des concentrations des métaux, organochlorés et hydrocarbures aromatiques polycycliques en 2015 des sites de Goury et des Moulینets est présentée dans la *Figure 39*. En appliquant un test statistique apparié (*t*-Test) sur les données 2015, aucune moyenne n'est significativement différente entre les deux sites pour aucune des substances présentées.



**Figure 39 :** Concentrations moyennes (et écart-types) en métaux (en mg/kg poids sec), en DDT, DDE, DDD, CB153 et fluoranthène (µg/kg poids sec) à Goury et aux Moulینets en 2015.

## 4 Conclusions

Dans le cadre de la surveillance des rejets non actifs de l'usine AREVA NC, les concentrations de différents éléments et substances chimiques sont suivies sur les points Goury et Anse des Moulinets.

Aux deux stations de surveillance les teneurs 2015 en métaux observées en mai, juillet, septembre et décembre sont relativement faibles et inférieures ou proches de la médiane nationale, sauf pour le cadmium, et le plomb sur les deux sites. En outre, toutes les concentrations en DDT+DDE+DDD, lindane, CB153 et en fluoranthène étaient très inférieures à la médiane régionale, et même nationale en 2015, excepté en DDE aux Moulinets en mai où un pic important a été mesuré. Cet événement ne peut pas être interprété par manque d'autres informations, mais pourrait être dû aux pratiques agricoles locales.

Les concentrations moyennes enregistrées en 2015 aux deux sites n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Après plusieurs années de surveillance, une caractéristique saisonnière est observable, comme cela a été le cas dans le cadre du ROCCH. En effet, la concentration d'un grand nombre de métaux (plomb, cadmium, cuivre, zinc, mercure, chrome et nickel) est généralement caractérisée par de plus fortes concentrations en début d'année (mois de février) depuis, 2006/2007. Les moules ont tendance à accumuler les contaminants pendant l'hiver, c'est d'ailleurs pourquoi l'aspect sanitaire du ROCCH est mis en œuvre en février depuis plusieurs années, afin de surveiller les plus forts niveaux en contaminants annuellement.

Finalement, l'étude statistique sur l'ensemble des paramètres suivis depuis 2003 met en évidence à Goury une tendance à la baisse pour les concentrations de plomb, PCB-CB153 et le DDT et ses métabolites, et seulement de plomb aux Moulinets. Le reste des paramètres ne présente pas de tendance significative.

En conclusion, au regard des concentrations des éléments et composés chimiques mesurées en 2015, ainsi que de l'évolution de ces paramètres depuis 2003, nous ne pouvons conclure à un impact de l'activité de l'usine AREVA NC de La Hague à travers ses rejets sur le niveau de contamination dans les moules.

## Bibliographie

AESN, 2008

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

ANDRAL, B., STANISIÈRE, J.Y. 1999

Réseau intégrateurs biologiques RINBIO : évaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée. Rapport de contrat dans le cadre des conventions n°991452 et n°992461 pour l'agence de l'Eau RMC, *IFREMER Toulon*. 67 pp.

ANDRAL, B., STANISIERE, J.Y., MERCIER S. 2001

Réseau intégrateurs biologiques RINBIO : évaluation de la contamination chimique des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2000. Convention avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse n° 010706. *Ifremer Toulon*. 87 pp.

BISSON et al., 2003

Plomb et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 90 p.

BISSON et al., 2005

Cadmium et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 60 p.

BISSON et al., 2005

Chrome et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 80 p.

BISSON et al., 2005

Cuivre et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 66 p.

BISSON et al., 2005

Fluoranthène, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 39 p.

BISSON et al., 2005

Manganèse et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 53 p.

BISSON et al., 2005

Polychlorobiphényles, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 70 p.

BISSON et al., 2005

Zinc et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 69 p.

BISSON et al., 2006

Cobalt et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 55 p.

BISSON et al., 2006

Mercure et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 85 p.

BISSON et al., 2006

Nickel et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 71 p.

BISSON et al., 2007

Manganèse et ses dérivés, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 66 p.

CHIFFOLEAU J.C. (coord), 2001, *La contamination métallique*, IFREMER, Région Haute Normandie, (Programme scientifique Seine- Aval), 8, 39p.

CHIFFOLEAU, J-F., AUGER, D., CHARTIER E., GROUHEL A., 2003

Dosage de certains métaux traces dans les organismes marins par absorption atomique. Ed. *IFREMER*, Brest, France ; 45 pp. ISBN 2-84433-114-9.

GOUZY 2007

Hexachlorocyclohexane, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, *INERIS* 22 p.

MIRAMAND P., RYBARCZYK H., MOUNY P., GUYOT T., BESSINETON C., ELKAIM B. ET DAUVIN J.C., 1999

Approche écosystémique de la contamination du compartiment biologique de l'estuaire de Seine par les métaux lourds (Cd, Cu, Pb, Zn) : bilan (1995 – 1998). Rapport Seine-Aval 1998, thème 4, pp. 145-174.

RNO 2000.

Surveillance du milieu marin. Travaux du RNO. Edition 2000. Ifremer et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. 32 pp.

RNO 2006

Surveillance du milieu marin. Travaux du RNO. Edition 2006. Ifremer et Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 52 pp. ISSN 1620-1124.

STANISIERE, J.Y. 2001

Réseau intégrateurs biologiques RINBIO (campagne 1999): caractérisation des apports du Rhône en contaminants biodisponibles. Qualification d'une stratégie de sécurisation des stations contre le chalutage. *Rapport IFREMER Toulon*. 28 pp.

STANISIERE, J.Y. 2001

Effet de l'indice de condition sur la bioaccumulation des contaminants chez *Mytilus galloprovincialis* : validation d'une méthode d'ajustement applicable au biomonitoring actif en milieux hétérotrophes. *Rapport IFREMER Toulon*. 26 pp.