

Direction de l'environnement et de l'aménagement littoral  
Direction des ressources vivantes

Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN)

Luis LAMPERT

mars 2008

RST. / 08 03 LERN /Port en Bessin

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 2007**



*Luis Lampert- aquarelle –Port-enBessin*

Contrat AREVA NC N° 40005318







---

**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 2007**

*Rapport* Luis Lampert (LER/N).

*Prélèvements et Analyses* Albert Auvray (Areva NC),  
Luis Lampert (LERN),  
Claude Etourneau (LER/N).

## 1. Introduction

La présente étude, contractualisée avec AREVA NC, a pour objectif de suivre les contaminations organiques et métalliques de deux lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés au port de Goury et à l'Anse des Moulinets, dans le nord ouest du Cotentin. Elle constitue le volet *contaminants* de la surveillance du site de La Hague, définie par l'arrêté interministériel du 10 janvier 2003. C'est la cinquième année de suivi des contaminants avec la stratégie actuelle. Un premier rapport préliminaire de résultats obtenus en 2002 a été édité en 2003, depuis, chaque année un nouveau rapport est édité au mois de mars, en synthétisant les résultats de l'année précédente.

Les contaminants suivis sont : les métaux lourds, les organochlorés (pesticides et polychlorobiphényles) et les hydrocarbures (plus particulièrement le Fluoranthène). Il s'agit du suivi de moules de pêche implantées le 6 novembre 2006 en provenance des gisements du secteur conchylicole de la baie des Veys dans la Manche.

## 2. Matériel et Méthodes

Les moules qui ont été utilisées pour les analyses de 2007 ont été mises en poche et implantées au port de Goury et à l'Anse des Moulinets le 6 novembre 2006. Après une période de stabulation permettant aux moules d'atteindre l'état d'équilibre de contaminations avec leur milieu environnant, le premier prélèvement a eu lieu le 15 février 2007. Le 15 mai a été effectué le deuxième prélèvement. Au mois d'août le prélèvement du point Moulinets a eu lieu le 9, puis, le prélèvement correspondant au point Goury a été effectué le lendemain. Le 7 novembre, lors du prélèvement des derniers échantillons de l'année au point Goury, nous n'avons pu que constater la disparition du cadenas de la grille du vivier et de la poche de moules.

Les prélèvements de l'année 2007 sont indiqués dans le tableau 1.

Date	GOURY	MOULINETS
15/02/2007	X	X
15/05/2007	X	X
09/08/2006	---	X
10/08/2007	X	---
07/11/2007	Pas de moules	X

**Tableau 1 : Prélèvements de moules effectués aux points d'échantillonnage de Goury et des Moulinets en 2007**

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).

Nous comparerons les concentrations obtenues dans le cadre du présent suivi à celles obtenues ces dernières années sur les points du réseau national de surveillance RNO les plus proches, ainsi qu'aux dernières moyennes nationales disponibles (série 2004 à 2006). Les valeurs analytiques inférieures au seuil de détection sont assimilées à cette valeur seuil, sauf dans le cas des hydrocarbures. Le fluoranthène est utilisé comme marqueur de l'évolution des HAP, démarche qui a déjà été adoptée par le RNO dans l'édition 2006 de son bulletin annuel (<http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rnopublis.htm>) ainsi que lors de la confection des bulletins régionaux de la surveillance (<http://www.ifremer.fr/lern/Pages/actualites.htm>). Les informations générales sur les métaux et les contaminants organiques sont tirées de Andral et *al.*, 2001, Andral et Stanisière, 1999, et de divers bulletins annuels du RNO.

Enfin, pour certains des contaminants, dont le suivi est rendu obligatoire par l'arrêté du 10 janvier 2003, mais qui ne sont pas suivis dans le cadre du RNO (cas du fer, du manganèse et de l'aluminium), nous avons effectué des comparaisons avec les niveaux de contamination de l'état *zéro* des lots implantés. Ceux-ci reflètent les concentrations des contaminants dans les moules des gisements de la région de la baie de Veys.

## 2.1. Réseau RNO

Les données de contamination dans les lots de moules implantés sont donc comparées aux données du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO).

Le RNO a pour objectif l'évaluation des niveaux et 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 RNO est coordonné par l'Ifremer. Les trois grands volets structurant le réseau ont été mis en place successivement :

- 1974 : Paramètres généraux de qualité : mesures dans l'eau,
- 1979 : Contaminants : mesures dans les organismes et dans les sédiments,
- 1991 : Effets biologiques : suivis expérimentaux, 2003, suivi pérenne de l'Imposex.

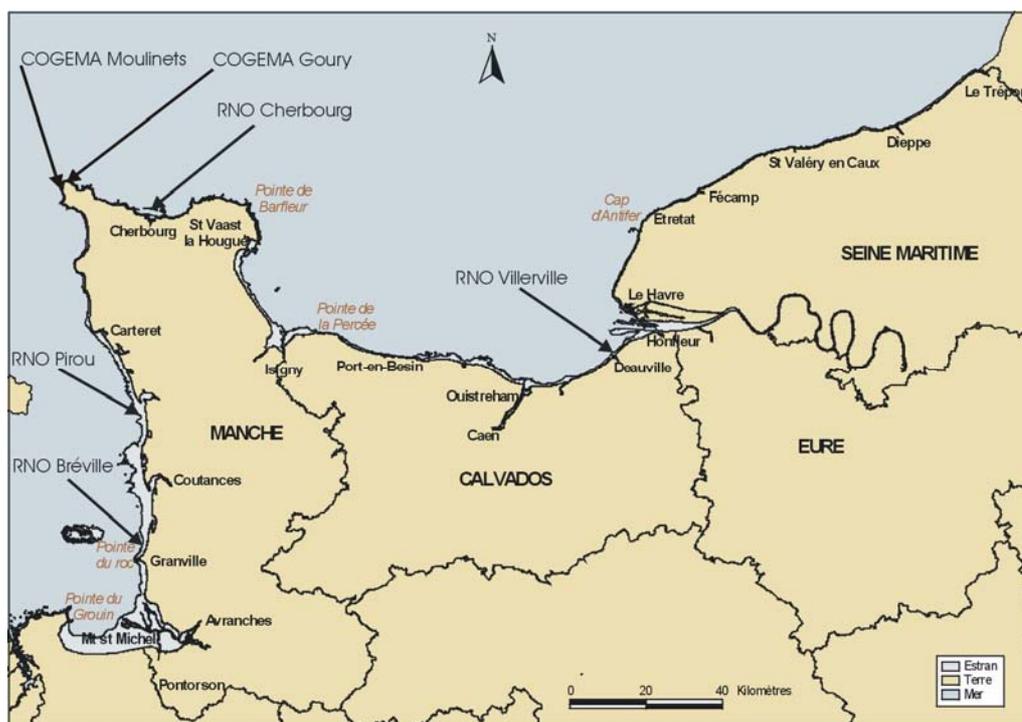
Les données du RNO permettent à la France de remplir ses obligations dans le cadre de certaines conventions internationales (OSPAR, MEDPOL).

Plusieurs documents Ifremer reprennent les résultats marquants de l'année et les modifications méthodologiques (bulletins annuels du RNO, Stanisière, 2001 ; Stanisière et Andral, 2001 ; Andral *et al.*, 2001 ; Andral et Stanisière, 1999).

Les paramètres étudiés par le RNO sont :

<b>Contaminants mesurés dans la matière vivante</b>
<b>Métaux :</b>
mercure (Hg), cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn), cuivre (Cu). Depuis 2002-2003 sont ajoutés le chrome (Cr), l'argent (Ag), le nickel (Ni) et le vanadium (V).
<b>Organochlorés :</b>
DDT, DDD, DDE, lindane ( $\gamma$ -HCH), $\alpha$ -HCH, polychlorobiphényles (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, benzo(e)pyrène, benzo(a)pyrène, pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène. Hétérocycles soufrés : dibenzothiophène, mono, di et tri méthyles dibenzothiophène, benzonaphtothiophènes, monométhyle benzonaphtothiophènes.

Les points RNO de Basse Normandie utilisés pour réaliser les comparaisons avec les résultats obtenus à Goury et aux Moulinets sont positionnés sur la figure 1.



**Figure 1 : Situation des points RNO et AREVA sur le plan régional utilisés pour les comparaisons**

A la mise en place du réseau, la fréquence d'échantillonnage du RNO était de quatre prélèvements par an, centrés sur les mois de février, mai, août et novembre. Depuis 2002, cette fréquence est passée à deux échantillons par an pour les métaux (février, novembre) et un par an pour les contaminants organiques (novembre).

Depuis 1992 les teneurs en PCB sont 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). Comme pratiqué par le RNO, seul le CB<sub>153</sub> sera utilisé ici pour représenter la contamination par les PCB. De même, le fluoranthène, considéré comme représentatif de la contamination globale par les HAP, sera utilisé seul dans ce rapport.

## 2.2. Implantation du lot de moules

### Point Goury :

Le point de suivi où le lot de moules est implanté se situe au nord-ouest du port de Goury, dans un ancien puit construit sur la falaise rocheuse (sonde marine de + 4,3 m environ). Un grillage en acier galvanisé, fermé par un cadenas, protège l'accès aux poches contenant les moules (figures 2 et 3).

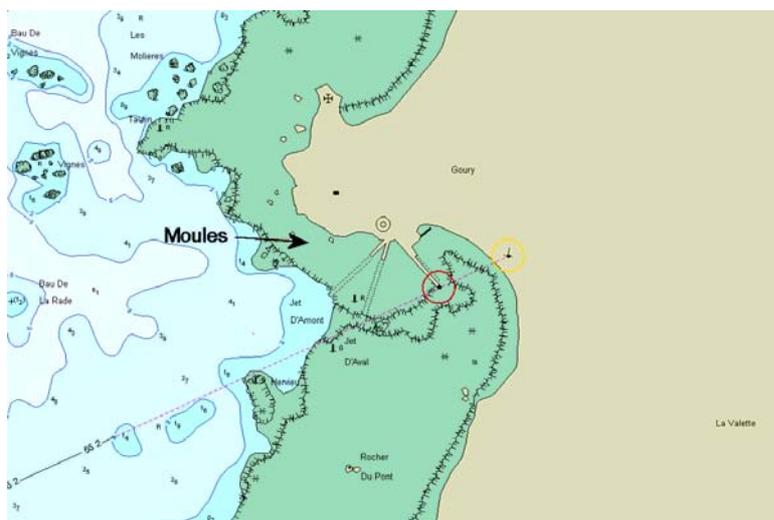


Figure 2 : Position des poches à moules au port de Goury



Figure 3 : Port de Goury. Détail du puits grillagé où les moules sont entreposées



prélèvement afin d'assurer l'équilibre entre leurs concentrations en contaminants et celles du milieu.

Suite à la prise des échantillons (tableau 1) les moules ont été transportées au laboratoire de l'Ifremer de Port-en-Bessin, décortiquées et conditionnées pour leur envoi pour analyses au laboratoire de Rouen.

### 2.3. Protocoles analytiques

#### Biométrie

Un minimum de 50 individus sont prélevés au hasard dans chaque poche. Après 18h à 24h d'épuration dans un bac rempli d'eau filtrée à 30 µm, 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 selon les procédures RNO.

La longueur maximale des coquilles est mesurée au moyen d'un pied à coulisse au 1/10<sup>ème</sup> de mm. Les coquilles vides sont nettoyées et séchées à l'étuve à 110 °C pendant 2 heures, puis pesées afin d'obtenir l'indice de condition (IC) qui est le rapport du poids sec de la chair sur le poids sec des coquilles.

#### Contaminants métalliques :

*Pb – Zn – Cd – Cu* : la préparation est effectuée suivant le document sur une prise d'essai de 0,5 g. Les dosages sont réalisés par spectrométrie d'absorption atomique four ou flamme suivant la concentration de l'élément à analyser. Chiffolleau et *al.*, 2003.

*Hg* : sur la minéralisation effectuée pour les éléments *Pb – Zn – Cd* et *Cu*, une prise d'essai de 10 mL est effectuée. Après bromisation, le dosage est effectué par fluorescence atomique après formation de vapeurs froides en présence de chlorure stanneux.

*Ni – Cr* : la préparation est effectuée d'après le document Le dosage est réalisé par spectrométrie d'adsorption atomique four graphite. Chiffolleau et *al.*, 2003.

*Al – Fe – Mn* : la préparation suit la procédure de mise en solution préconisé par Chiffolleau et *al.* (2003) pour les autres métaux. L'analyse est réalisée par ICP selon la méthode interne mise en place par le laboratoire régional de Rouen.

La précision des méthodes analytiques utilisées pour les métaux se situe entre 5 % et 10 %.

#### Contaminants organiques :

*Pesticides organochlorés et PCB* : les extraits organiques sont purifiés par de l'acide sulfurique concentré et par du mercure et du cuivre selon la norme AFNOR XP X 33-012. Après ajout de l'étalon interne (décachlorobiphényle), l'analyse est réalisée par chromatographie capillaire en phase gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électrons.

- colonne : 60 m DB5 ; 0,25 mm ; 0,25  $\mu$ m
- injecteur : spittless 270 °C
- gaz vecteur : hydrogène
- injection automatique

*Hydrocarbures polycycliques Aromatiques (HAP)* : les extraits organiques sont purifiés sur colonne de gel de silice (Seppak). Après reprise des extraits par de l'acétonitrile, l'analyse est réalisée par chromatographie haute performance (HPLC) couplée à un détecteur à fluorescence de longueurs d'ondes d'excitation et d'émission programmables.

- colonne / Vydack 201 TP, 25 cm, 4,6 mm
- mode à phase inverse
- volume injecté : boucle de 10  $\mu$ m
- four colonne : 30 °C
- injection automatique
- Fluoranthène, Benzo (b) fluoranthène : excitation 260 nm, émission 420 nm
- Benzo(k)fluoranthène, Benzo (a) pyrène, Benzo (ghi) pérylène : excitation 290 nm, émission 430 nm
- Indéno (1,2,3-cd) pyrène : excitation 300 nm, émission 500 nm.

La précision des méthodes analytiques utilisées pour les composés organiques se situe entre 10 % et 20 %.

## 2.4. Données météorologiques

Les données météorologiques ont été synthétisées à partir des fichiers mensuels communiqués par METEO-FRANCE pour le département de La Manche avec des séries temporelles de température de l'air et de pluviométrie acquises depuis 1949.

## 2.5. Traitements statistiques

Tendances temporelles : afin de mettre en évidence les tendances éventuelles (à la hausse ou à la baisse des concentrations), nous avons procédé au test de la pente de la droite de régression de chaque série. Si la probabilité associée  $p$  est inférieure à 0,05, il existe une tendance significative.

Différences entre Goury et Moulinets : afin d'effectuer des tests statistiques appropriés, il est essentiel de vérifier la normalité de distribution des données. Cette vérification a été réalisée grâce aux coefficients d'asymétrie et d'aplatissement standardisés. Lorsque la distribution s'avérait normale, le test de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les données. Dans le cas contraire, la comparaison des données a été réalisée par le test de signes.

Si  $p$  est inférieure à 0,05, il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si  $p$  est supérieure à 0,05, nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Météorologie

##### 3.1.1. Pluviométrie

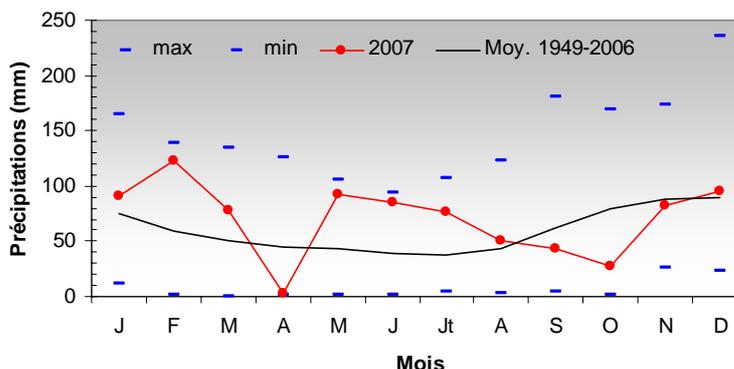


Figure 6 : Précipitations (mm) par mois en 2007 et moyenne pluriannuelle, maximum et minimum sur la période 1949-2006. Données Météo-France sur La Hague

La pluviométrie en 2007 a été excédentaire jusqu'à juillet, à l'exception du mois d'avril ; puis, proche de la moyenne ou déficitaire jusqu'à décembre (figure 1.3). Le bilan global de 2007 (849,4 mm) est supérieur à la moyenne annuelle 1949-2006 (713,2 mm).

##### 3.1.2. Température de l'air

Les températures enregistrées par Météo France lors de l'hiver et printemps 2007 à La Hague ont été au-dessus de la moyenne 1949-2006 (figure 1.2). Les plus forts écarts par rapport à cette moyenne étant observés au mois de janvier. A partir du mois de juillet, les moyennes mensuelles 2007 se situent au niveau de la moyenne pluriannuelle ou légèrement en dessous. L'année 2007 présente donc un changement par rapport aux années précédentes, où les températures hivernales ont été plus froides que la moyenne, et en été et automne, elles se situaient au-dessus de celle-ci.

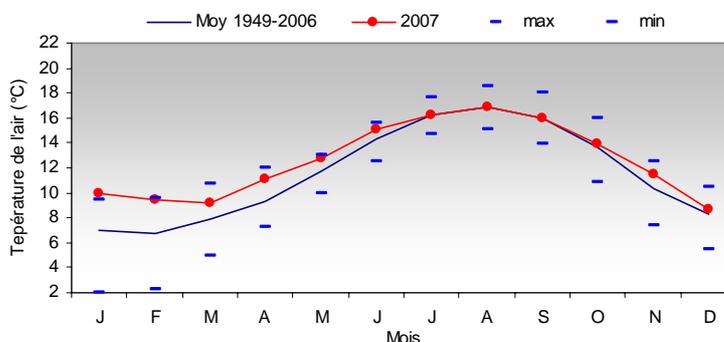


Figure 7 : Température mensuelle moyenne de l'air en 2007 et moyenne, maximum et minimum sur la période 1949-2006. Données Météo-France.

### 3.2. Métaux lourds

#### Synthèse des résultats analytiques

Le tableau 2 présente les résultats de contamination par les métaux.

GOURY											
Date	Al	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Zn
15/02/2007	117	0,6	0,7	0,2	4,2	259	7	0,09	0,7	1	86,3
15/05/2007	80	0,97	0,7	0,3	6,3	266	6,7	0,12	1,4	1,3	111
10/08/2007	64	0,66	0,6	0,2	4,7	263	4,5	0,07	0,9	1	89
07/11/2007											

MOULINETS											
Date	Al	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Zn
15/02/2007	106	0,51	1	0,2	3,9	262	6,8	0,05	0,7	0,7	66,5
15/05/2007	73	0,74	0,8	0,3	5,2	275	6	0,09	0,9	1	102
09/08/2007	23	0,77	0,5	0,2	5,2	302	4	0,07	0,8	1,1	90,3
07/11/2007	28	0,74	0,6	0,3	5,7	385	4	0,08	0,9	1,1	97,7

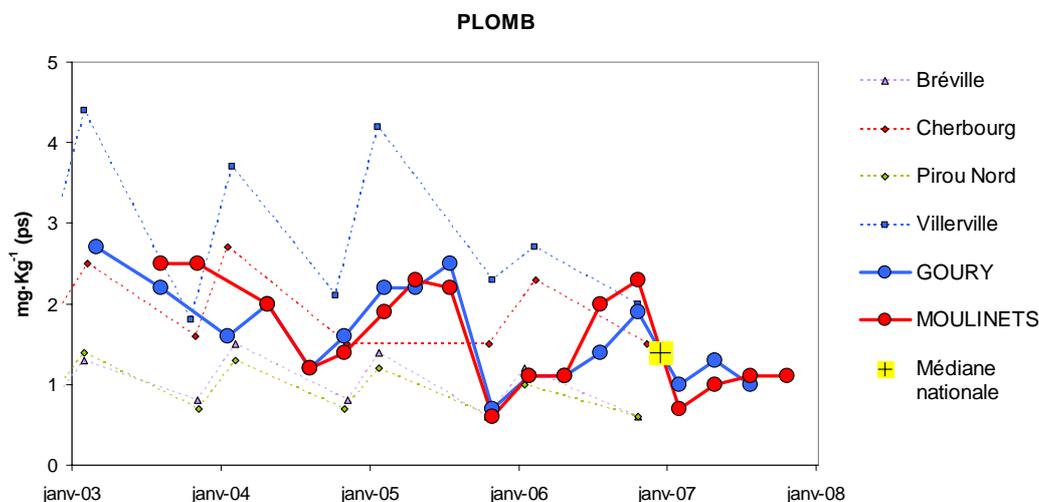
**Tableau 2 : Concentrations en métaux lourds pour les points Goury et Anse des Moulinets en 2007. Concentrations en  $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids sec (ps)**

## PLOMB

Rarement disponible à l'état natif, le plomb est présent dans de nombreux minerais, notamment la galène (PbS). Utilisé pour la fabrication d'accumulateurs et il y a quelques années comme antidétonant dans les carburants, il arrive majoritairement en milieu marin par les apports atmosphériques. Le rejet en mer annuel de plomb autorisé par arrêté à AREVA NC est de 100 Kg.

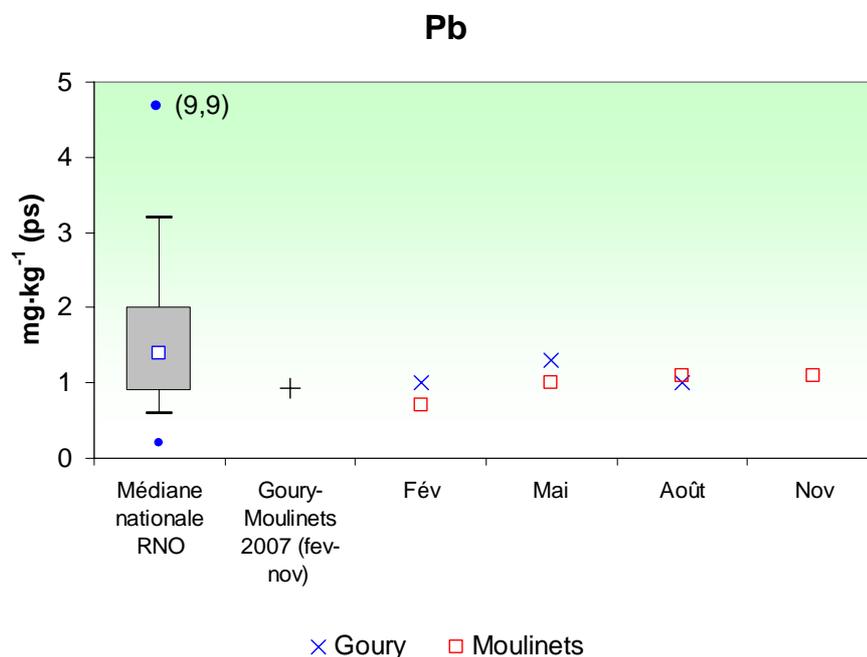
Les formes inorganiques sont moins écotoxiques que les formes organiques (composés alkylés) qui inhibent la croissance du phytoplancton. Le plomb peut également provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.

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  $1,5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids humide. Les résultats du RNO 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  $7,5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids sec.



**Figure 8 : Concentrations en plomb à Goury, au Moulinets et sur les sites RNO régionaux (jusqu'à 2006). Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2004-2006)**

L'évolution des concentrations observées sur les sites régionaux RNO depuis 2003 (figure 8) montre que les plus fortes teneurs sont rencontrées à Cherbourg et Villerville (Baie de Seine). Les concentrations mesurées à Goury et aux Moulinets entre 2003 et 2006 se trouvent dans la plage de celles observées à Cherbourg, voire en dessous. En 2007 nous observons une faible augmentation régulière des concentrations au point Moulinets jusqu'au mois de novembre. Au point Goury, la plus forte concentration annuelle est observée au mois de mai. Les valeurs maximales annuelles en 2007, restent inférieures à celles enregistrées les années précédentes.



**Figure 9 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en plomb sur la série nationale RNO (février et novembre 2004-2006) en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ps). Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (■) ; les moustaches 80% des concentrations (⊥). Les points extrêmes, présentent les teneurs maximales et minimales (•). La croix (+) représente la moyenne 2007 observée sur Gourey et Moulinets (février et novembre). Le carré rouge et la croix bleue représentent les concentrations obtenues en 2007 au Moulinets et à Gourey.

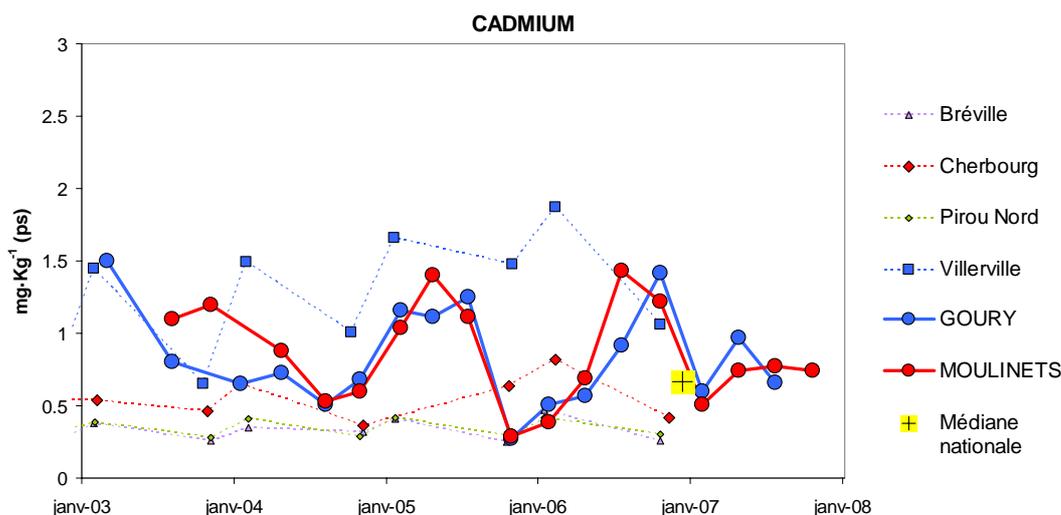
La figure 9 présente, la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec sa dispersion, la moyenne des valeurs des points Gourey et Moulinets de février et novembre 2007, ainsi que les concentrations observées aux points Gourey et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées aux Moulinets entre août et novembre sont en dessous de la valeur de la médiane observée dans les moules par le RNO sur l'ensemble de la France métropolitaine (Corse incluse). Les valeurs enregistrées au mois de mai se situent au niveau de cette médiane. Au mois d'août, les concentrations sont similaires pour les deux points, tandis qu'en février et mai, elles sont supérieures au point Gourey. La moyenne des valeurs 2007 reste inférieure à la médiane nationale.

### CADMIUM

Le cadmium n'existe pas à l'état natif. Son minerai, très rare, est un sulfure, la greenockite (CdS), mais il se trouve dans presque tous les minerais de zinc et il est exploité industriellement comme un sous-produit de la métallurgie du zinc. Il est principalement utilisé pour la fabrication de batteries et le traitement de surfaces des aciers (revêtements anti-corrosion). Il est également employé pour la décoration des porcelaines, en peinture, en caoutchouerie, en émaillerie et pour la fabrication des antiseptiques. En milieu marin, le cadmium provoque des effets sur le développement larvaire de certains organismes, notamment les crustacés. Les processus responsables de la détoxification des molécules organiques sont par ailleurs

inhibés par le cadmium. Le rejet en mer annuel de cadmium autorisé par arrêté à AREVA NC est de 50 Kg.

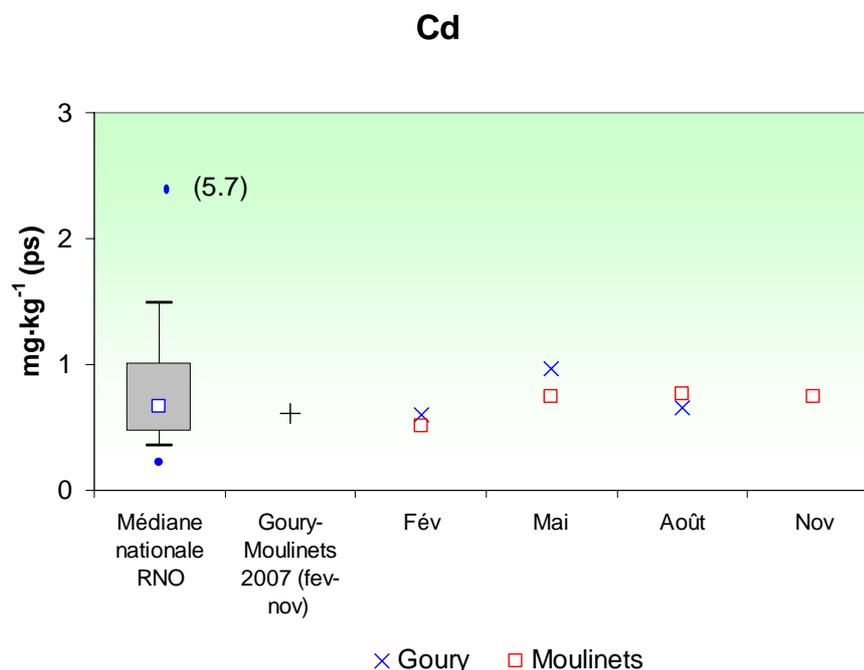
Le règlement européen N° 466/2001 qui a pris application le 5 avril 2002 fixe la teneur maximale en cadmium dans les mollusques bivalves à  $1 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids humide. Les résultats du RNO étant exprimés en poids sec, il convient d'appliquer un facteur de conversion moyen de 0,2 aux concentrations observées pour les comparer au seuil susmentionné. Ce seuil est alors égal à  $5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  en poids sec.



**Figure 10 : Concentrations en cadmium à Goury, au Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2004-2006)**

L'évolution des concentrations observées à Goury et aux Moulinets pour le cadmium en 2007 est similaire à celles déjà décrites pour le plomb. Nous observons en 2007, un plus faible écart entre les valeurs maximales et minimales par rapport aux années précédentes. En février et mai les concentrations en cadmium ont été supérieures au point Goury. La situation inverse est observée au mois d'août. Comme pour le plomb, l'évolution des concentrations observées sur les sites régionaux RNO depuis 2003 (figure 10) montre que les plus fortes teneurs sont rencontrées à Cherbourg et Villerville. Au mois de novembre 2006, les valeurs de Goury et Moulinets ont été cependant supérieures à celle observée à Villerville. Les valeurs restent cependant très inférieures au seuil européen de  $5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  [ps].

La figure 11 présente la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec sa dispersion, la moyenne des valeurs des points Goury et Moulinets de février et novembre 2007, ainsi que les concentrations observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Toutes les valeurs mesurées en 2007 sont proches de la médiane nationale et de la moyenne locale. Seule la valeur observée au point Goury en mai est plus éloignée de la médiane nationale. L'évolution saisonnière est comparable à celle du plomb.



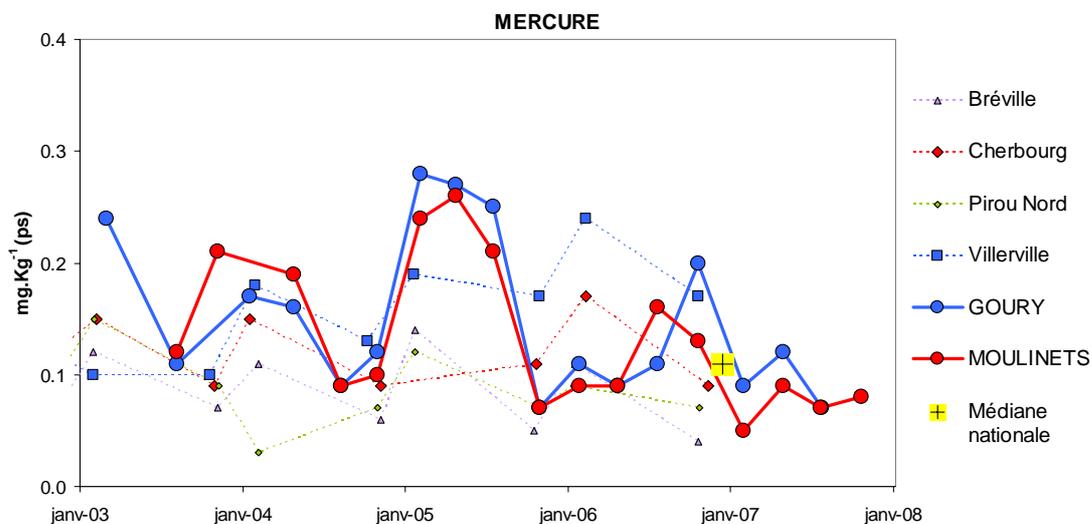
**Figure 11 : Médiane des concentrations en cadmium (février et novembre 2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007**

Des faibles différences sont observées entre les concentrations des points Goury et Moulinets en février et août, différences qui deviennent plus marquées en mai. La moyenne locale 2007 est légèrement inférieure à la médiane nationale.

## MERCURE

Les composés du mercure connaissent de nombreuses utilisations : industrie chimique, agriculture (fongicide), traitement du bois, explosif d'amorçage, piles ou batteries, plastiques et caoutchoucs. Le mercure pur est utilisé sous forme métallique, comme électrode dans la fabrication de la soude et du chlore. Il est utilisé dans la fabrication d'instruments de mesures (thermomètres, baromètres, etc), d'appareillages électriques (contacts au mercure, etc.) et dans les lampes à décharge.

Le mercure est le plus toxique des métaux traces, plus particulièrement sous ses formes organiques. La méthylation du mercure est effective dans les sédiments sous l'action des microorganismes et, dans la colonne d'eau, en présence de phytoplancton. La croissance du plancton et de larves de bivalves est retardée à de très faibles concentrations. La bioamplification du mercure est très importante dans les chaînes trophiques ; des concentrations en méthylmercure toxiques pour l'homme peuvent être atteintes dans la chair de poissons situés en fin de chaîne alimentaire (thonidés, squalés). Le rejet en mer annuel de mercure autorisé par arrêté à AREVA NC est de 35 Kg.



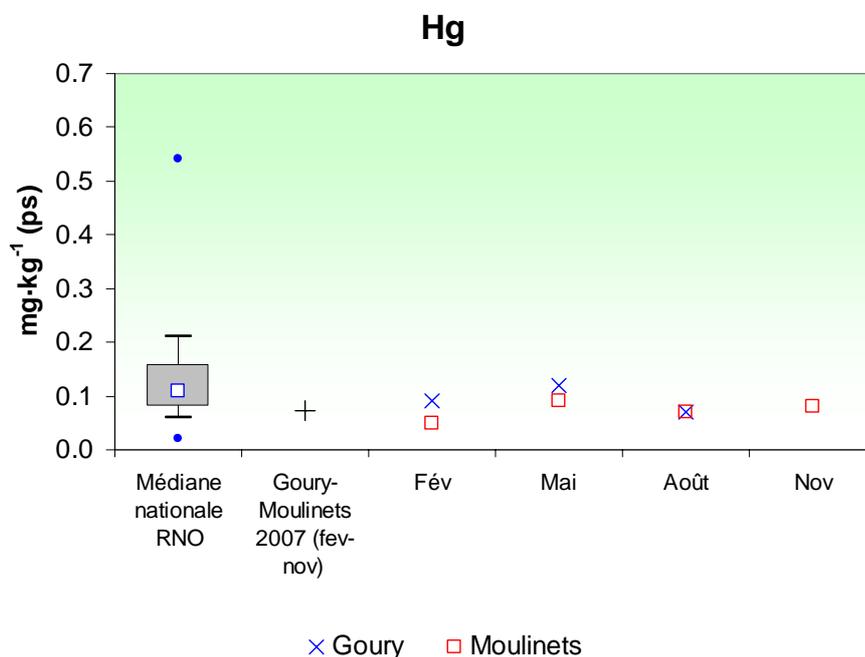
**Figure 12 : Concentrations en mercure à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2004-2006)**

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  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids humide. Les résultats du RNO 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  $2,5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  en poids sec.

L'ensemble des concentrations observées en 2007 est en diminution par rapport à celles des années précédentes (figure 12). Au point Moulinets, nous enregistrons au mois de février la plus faible valeur depuis 2003.

En février 2005, les concentrations en mercure aux points Goury et Moulinets ont été supérieures aux valeurs enregistrées sur l'ensemble de points de suivi RNO locaux, et supérieures à la médiane nationale. Au mois de novembre 2005, cette situation s'inverse. Comme les deux années précédentes, en 2006, les plus fortes valeurs à Goury et Moulinets sont observées en novembre, tandis que pour Cherbourg et Villerville le maximum annuel se situe en début d'année.

A Goury et au Moulinets, les plus fortes valeurs de la série 2006 ont été en dessous de celles de 2005, mais encore supérieures à la médiane nationale. En 2007, seule la valeur enregistrée au point Goury au mois de mai est similaire à la médiane nationale ; toutes les autres valeurs se situent en dessous de celle-ci. Toutes ces concentrations, parfois supérieures à la médiane nationale, se trouvent cependant, très éloignées du seuil réglementaire de  $2,5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  (ps).

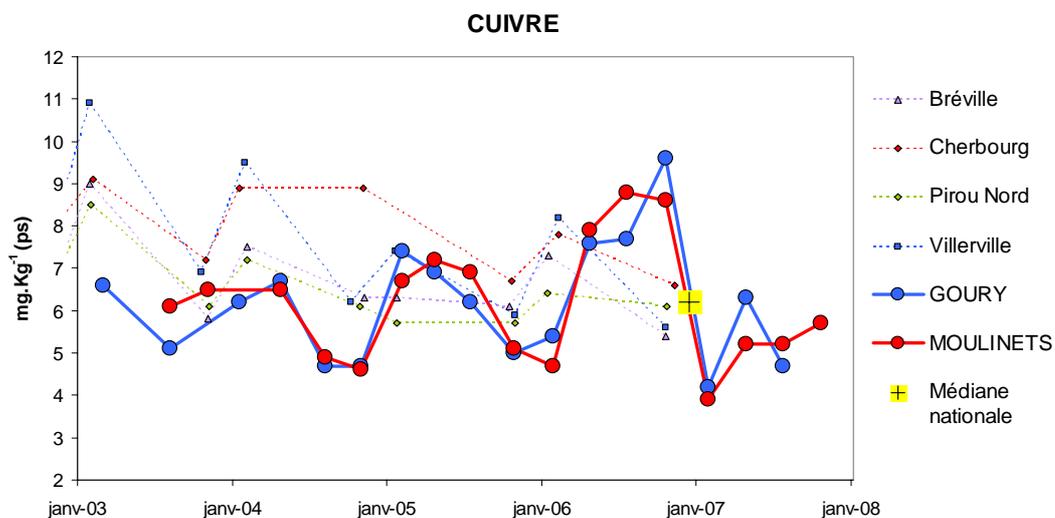


**Figure 13 : Médiane des concentrations en mercure (février et novembre 2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007**

La figure 13 présente la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec sa dispersion, la moyenne des valeurs des points Goury et Moulinets de février et novembre 2007, ainsi que les valeurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets en 2007 sont égales ou en dessous de la médiane nationale. L'évolution saisonnière est comparable à celle du plomb et du cadmium, avec des concentrations en février et en mai supérieures au point Goury. La moyenne 2007 des teneurs de février et de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est inférieure à la médiane nationale 2004-2006 (février et novembre).

## CUIVRE

Son emploi est extrêmement diversifié, sa toxicité étant mise à profit dans les peintures antisalissures (en remplacement du tributylétain), dans le traitement des bois et dans des produits phytosanitaires (désherbants, insecticides, fongicides). Le cuivre est un matériau de base de l'industrie électrique (en concurrence avec l'aluminium) et de la construction (conduites d'eau). Ses qualités mécaniques rendent possibles de nombreux procédés d'usinage (emboutissage, forgeage, laminage, matriçage, tréfilage). Il perturbe le développement embryonnaire des bivalves et la croissance du phytoplancton.



**Figure 14 : Concentrations en cuivre à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux et médiane nationale (2004-2006)**

Les teneurs observées à Goury et aux Moulinets en 2007 (figure 14) sont très inférieures à celles enregistrées en 2006 (les plus élevées de la série 2003-2007). Comme nous avons déjà constaté avec le cadmium et le mercure, les concentrations observées au point Goury en février et mai sont supérieures à celles du point Moulinets.

Pour la période 2005, nous constatons que les concentrations aux points Goury et Moulinets se situent au milieu de la plage de valeurs observées pour les points RNO locaux (février et novembre), tandis qu'en novembre, ils se situent en dessous. En 2006 nous observons le même phénomène déjà décrit pour le plomb, le cadmium et le mercure. Il y a une inversion des maximums et minimums entre les valeurs observées à Goury et au Moulinets par rapport aux points de suivi RNO proches. Toutes les valeurs observées en 2007 à Goury et aux Moulinets se situent en dessous de la médiane nationale 2004-2006, à l'exception de celle observée au point Goury en mai.

La figure 15 présente la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec sa dispersion, la moyenne des valeurs des points Goury et Moulinets de février et novembre 2007, ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations en cuivre augmentent de façon régulière de février à novembre. Au mois de février, les valeurs enregistrées sur les deux points de suivi se situent en dessous de la moyenne locale, et à partir de mai, ces valeurs sont toutes au-dessus de celle-ci. Encore une fois, nous constatons de plus fortes valeurs au point Goury par rapport au Moulinets aux mois de février et mai. La moyenne 2007 des teneurs de février et novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est inférieure à la médiane nationale 2004-2006 (février et novembre).

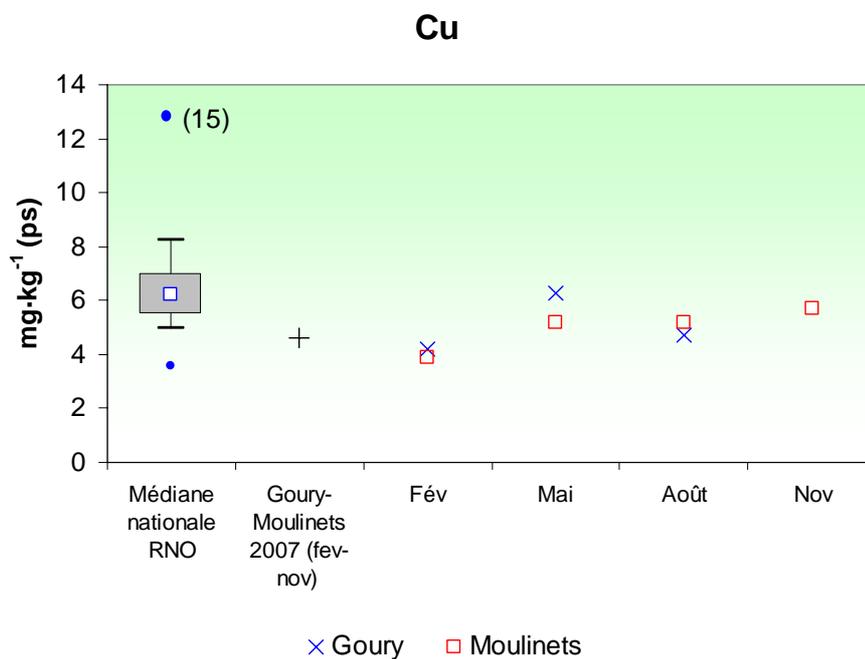


Figure 15 : Médiane des concentrations en cuivre (2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007

## ZINC

Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie. Les usages du zinc sont multiples : peintures antisalissures, produits pharmaceutiques et phytosanitaires, conduits d'évacuation des eaux pluviales (gouttières, tuyaux de descente, etc.) et piles. Une grande partie des apports en zinc dans l'environnement est imputable à la métallurgie, à la combustion des bois et des charbons. A des fortes concentrations il perturbe la reproduction des huîtres et la croissance des larves. Le rejet en mer annuel de zinc autorisé par arrêté à AREVA NC est de 250 Kg.

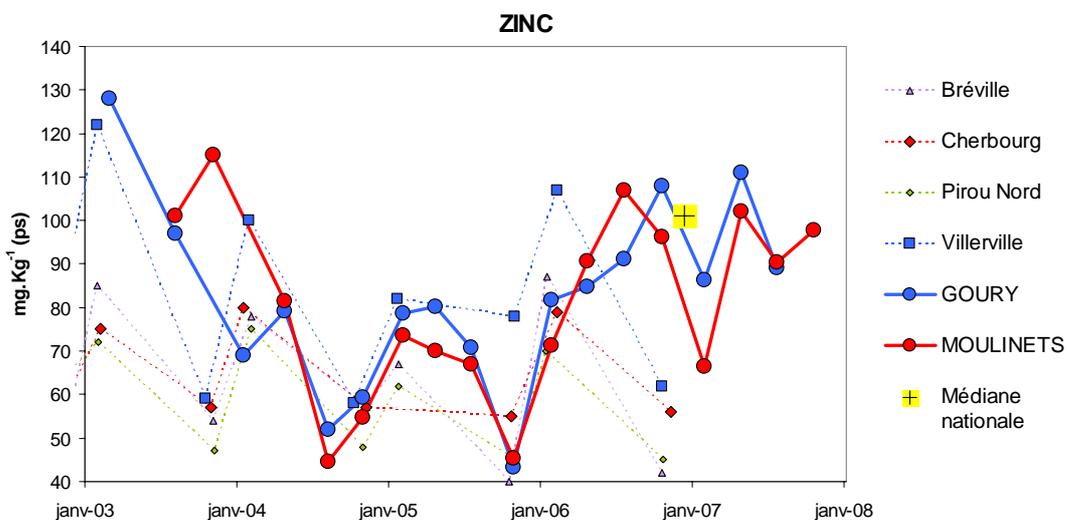
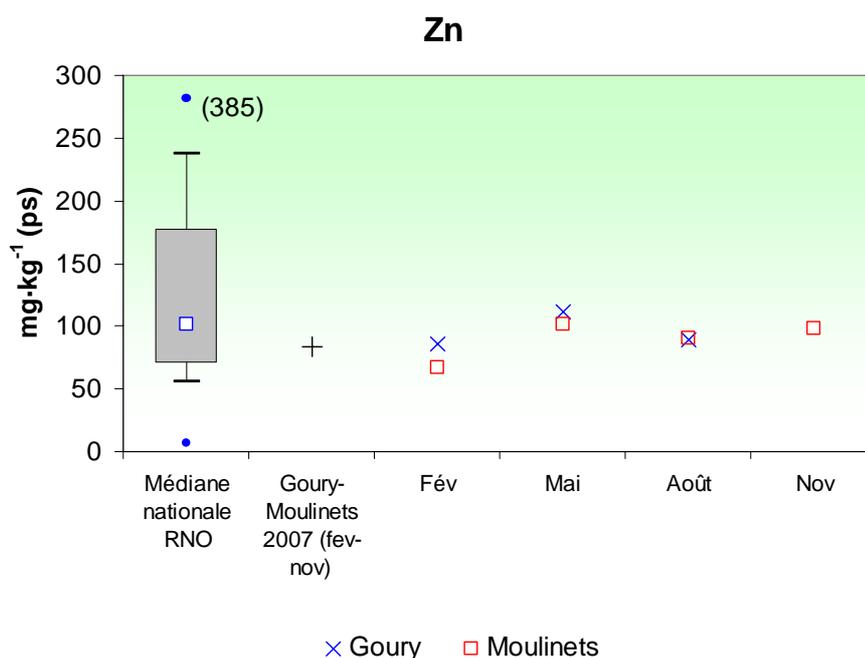


Figure 16 : Concentrations en zinc à Goury et aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux depuis 2003. Rappel de la médiane nationale (2004-2006)

Après la décroissance des concentrations en zinc des années 2003 et 2004, 2005 et 2006 ont connu une période de croissance (figure 16). En 2007, les teneurs en zinc semblent garder le même niveau que celles observées en 2006. Nous constatons cependant, que la plus forte teneur de 2007, observée au point Goury en mai, se situe au même niveau que la médiane nationale, toutes les autres valeurs étant en dessous de celle-ci. En novembre 2006, les concentrations aux points Goury et Moulinets atteignent leur maximum, tandis que les valeurs des points RNO proches sont à leur valeur minimale.

La figure 17 présente la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec sa dispersion, la moyenne 2007 des valeurs des points Goury et Moulinets de février et novembre 2007, ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et au Moulinets en 2007 oscillent autour de la moyenne locale, sauf celles observées au mois de mai, qui se situent au-dessus de celle-ci.



**Figure 17 : Médiane des concentrations en zinc (2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007**

L'évolution temporelle des concentrations en zinc est similaire à celles des métaux déjà étudiés plus haut, avec des teneurs plus élevées au point Goury aux mois de février et mai. La moyenne 2007 des concentrations mesurées en février et novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est inférieure à la médiane nationale 2004-2006 (février et novembre).

## COBALT

Le cobalt se trouve sous forme organique et inorganique dans tous les milieux terrestres et aquatiques du globe. A l'état pur est un métal dur et brillant. Leur concentration moyenne dans la croûte terrestre est de 8 ppm et il est considéré nuisible pour les végétaux au-delà de 40 ppm. Il est utilisé pour les alliages résistant aux hautes températures, pour les peintures, les traitements de surface et comme aditif dans la bière. L'isotope  $^{60}\text{Co}$  est utilisé en médecine thérapeutique et pour la recherche. Indispensable à la vie humaine, il est présent dans la vitamine B<sub>12</sub> et sa présence favorise la production de globules rouges. Le rejet en mer annuel de cobalt autorisé par arrêté à AREVA NC est de 200 Kg.

Dans l'eau de mer les concentrations couramment observées varient de 1 à 5 mg·kg<sup>-1</sup>. Dans la chair des bivalves ont été observées des concentrations de 3,5 mg·kg<sup>-1</sup> en hiver dans le Devon (Angleterre) et de 1,9 mg·kg<sup>-1</sup> au Mexique.

Le cobalt n'est pas un élément suivi en routine par le RNO, mais nous disposons de résultats obtenus en février 1999 sur des points proches de l'usine de La Hague (figure 18) et des concentrations obtenues lors de la réalisation des états *zéro* des moules avant leur implantation (gisement de la baie des Veys).

Avec une plus faible variabilité, les concentrations observées aux points Goury et Moulinets en 2007, sont stables par rapport à celles déjà enregistrées depuis 2003 (figure 18). A l'exception de la situation du mois de novembre, où seule la valeur du point Moulinets a été acquise, les valeurs obtenues en février, mai et août ont été similaires pour les deux points d'échantillonnage. La concentration en cobalt en baie de Veys, en diminution depuis février 2004, atteint une valeur stable depuis novembre 2006. L'ensemble de concentrations en cobalt de 2007 est en dessous de la plage de valeurs observée sur les sites régionaux en 1999.

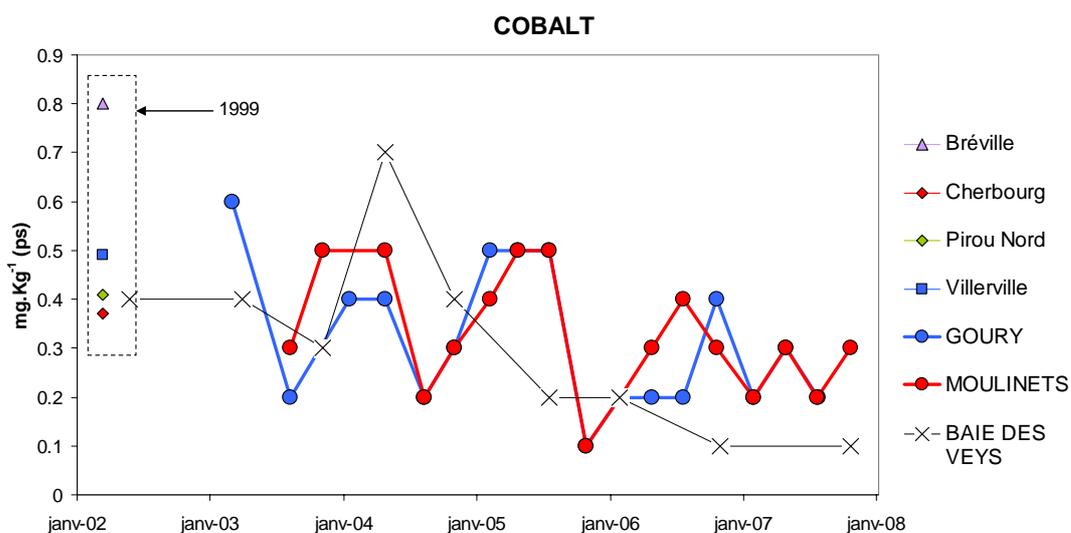
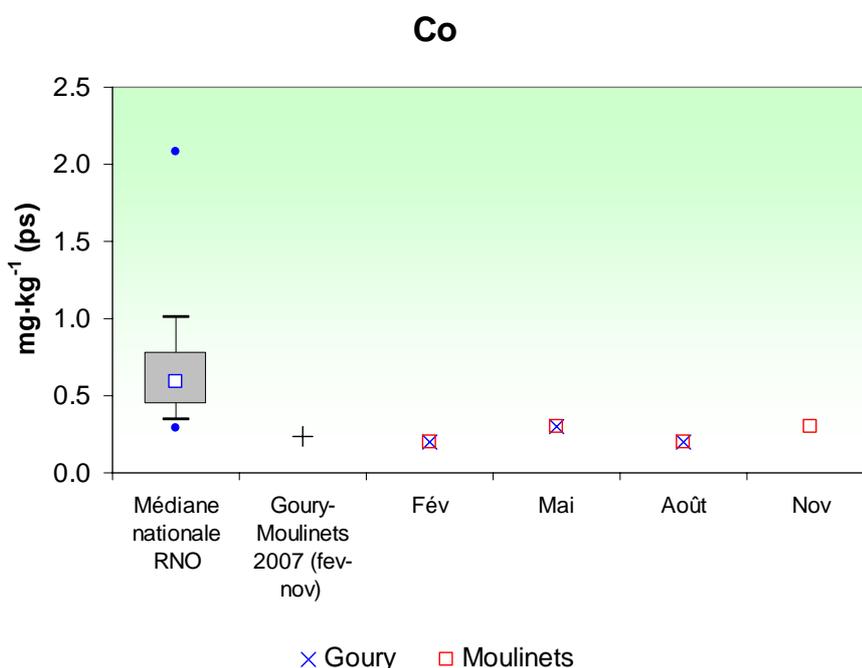


Figure 18 : Concentrations en cobalt à Goury, aux Moulinets et sur le gisement de la baie des Veys

La figure 19 présente la médiane obtenue lors de la campagne de mesures de février 1999 avec sa dispersion ainsi que les concentrations observées aux points Goury et Moulinets en 2007. L'ensemble de teneurs observées à Goury et aux Moulinets en 2007 se situe en dessous de la médiane observée par l'IFREMER en 1999 sur l'ensemble de la France métropolitaine. La moyenne 2007 des teneurs de février et de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est très inférieure à la médiane nationale 1999 (février et novembre). Sur les trois échantillons où les deux points ont été prélevés au même temps, aucune différence de concentration en cobalt n'est enregistrée.



**Figure 19 : Médiane des concentrations en cobalt en 1999, moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007**

## NICKEL

L'introduction de nickel d'origine anthropique vers l'atmosphère provient de l'utilisation des combustibles fossiles et de la production de métaux non ferreux. L'activité volcanique et l'érosion éolienne constituent l'essentiel des flux naturels vers l'atmosphère. Le nickel est beaucoup moins toxique pour les organismes marins que le cadmium ou le mercure. Faiblement bioaccumulable, des effets sur le développement embryonnaire d'invertébrés marins ont cependant été observés. Le rejet en mer annuel de nickel autorisé par arrêté à AREVA NC est de 250 Kg.

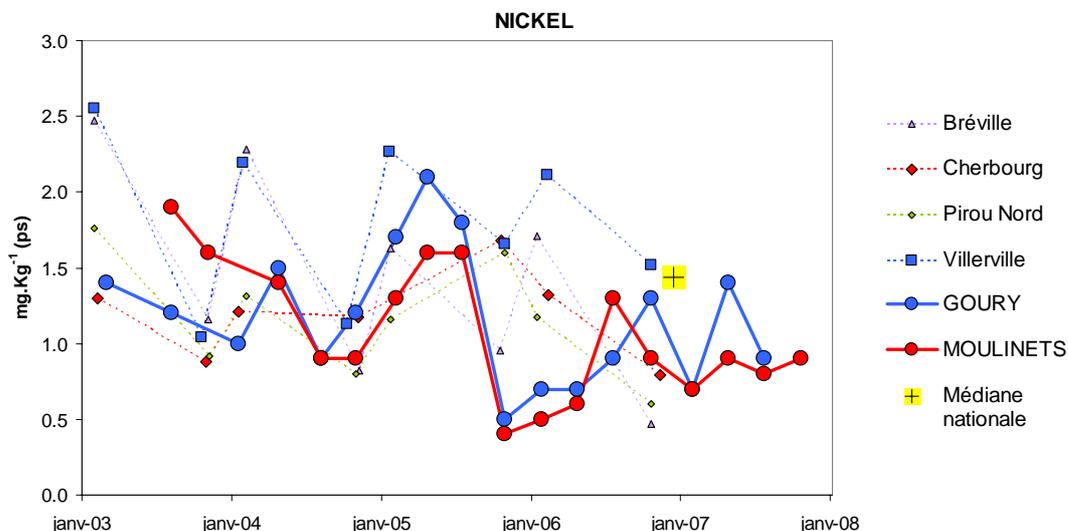


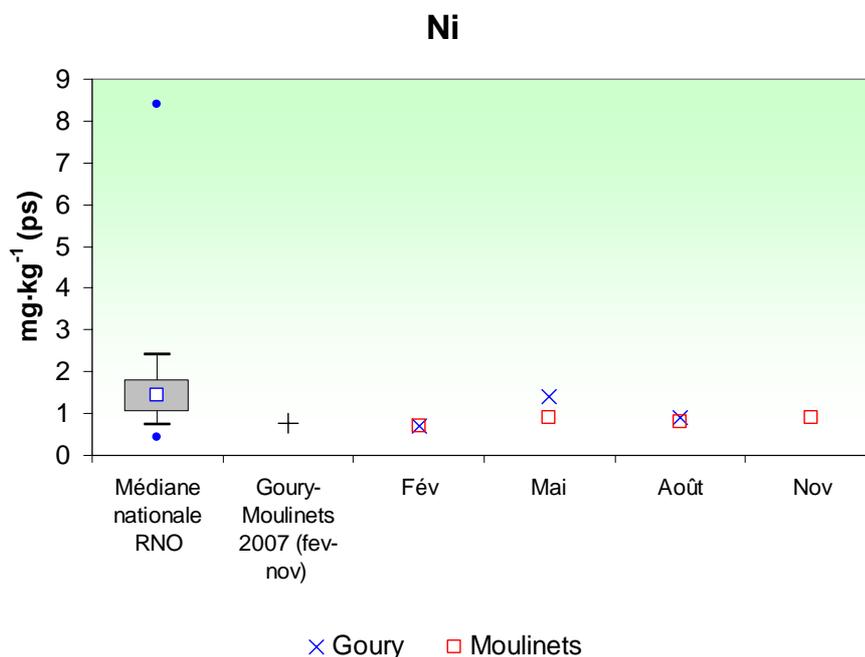
Figure 20 : Concentrations en nickel à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux depuis 2003. Rappel de la médiane nationale (2004-2006)

En 2007, les concentrations en nickel sont proches de celles observées en 2006 (figure 20). Seules les valeurs du mois de février 2006 sont sensiblement inférieures à celles du mois de février 2007. Le même niveau de concentrations observées en février sur les deux points, contraste avec la plus forte teneur du point Goury en mai. Comme pour le reste de métaux étudiés, le point Goury semble présenter des concentrations supérieures à celles de Moulinets. Malgré ceci, nous observons une tendance globale décroissante des teneurs depuis 2003. En 2006, le même phénomène d'inversion des maximums annuels par rapport aux points RNO proches, est observé pour le nickel. En 2007, toutes les concentrations en nickel se situent en dessous de cette médiane nationale.

La figure 21 présente la médiane nationale obtenue lors de la campagne de mesures RNO de 2004 à 2006 avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement en 2007. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets sont proches de la moyenne 2007 (février et novembre), sauf au mois de mai, où la concentration en nickel au point Goury se situe au-dessus de celle-ci.

Les teneurs enregistrées au mois de février sont proches de la concentration minimale observée sur le plan national, tout comme la moyenne 2007 des teneurs de février et de novembre, qui sont très inférieure à la médiane nationale.

Aucune différence n'est observée entre les concentrations des deux points d'échantillonnage suivis, sauf au mois de mai, où la concentration du point Goury est supérieure à celle de Moulinets.



**Figure 21 : Médiane des concentrations en nickel (2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007**

## CHROME

Le chrome fait partie des métaux les plus utilisés (10 millions de tonnes par an) dans le monde (industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires). La majeure partie du chrome parvenant à la mer depuis le continent provient des fleuves, l'atmosphère constituant une source beaucoup moins importante. Sa forme réduite (Cr III) fait partie des éléments essentiels dans la vie animale, la forme oxydée (Cr VI) est par contre extrêmement toxique, cancérigène à forte dose pour l'homme, et elle provoque des anomalies dans le développement larvaire des bivalves. Le rejet en mer annuel de chrome autorisé par arrêté à AREVA NC est de 250 Kg.

Les concentrations en chrome total présentent en 2007 des valeurs moyenne similaires à celles observées en 2006, avec une plus faible variabilité (figure 22). En effet, au mois de février 2006 nous avons enregistré le maximum annuel, puis au mois de mai le minimum. En 2007, ces deux extrêmes ont une étendue plus réduite, puis, les concentrations ont une tendance à diminuer de février vers novembre. C'est au mois de février que les teneurs maximales de l'année sont observées au Moulinets, tandis qu'à Goury nous observons une très faible variabilité sur les trois échantillons de l'année. En février et novembre 2006, les concentrations en chrome aux points Goury et Moulinets restent proches de celles des points régionaux RNO.

La figure 23 présente la médiane nationale obtenue lors de la campagne de mesures RNO de 2004 à 2006 avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées en 2007 sont proches ou inférieures à la médiane nationale. Contrairement aux autres métaux, les teneurs aux Moulinets sont supérieures à celles observées au point

Goury. Le plus fort écart entre ces deux points est observé au mois de février, et le plus faible en août.

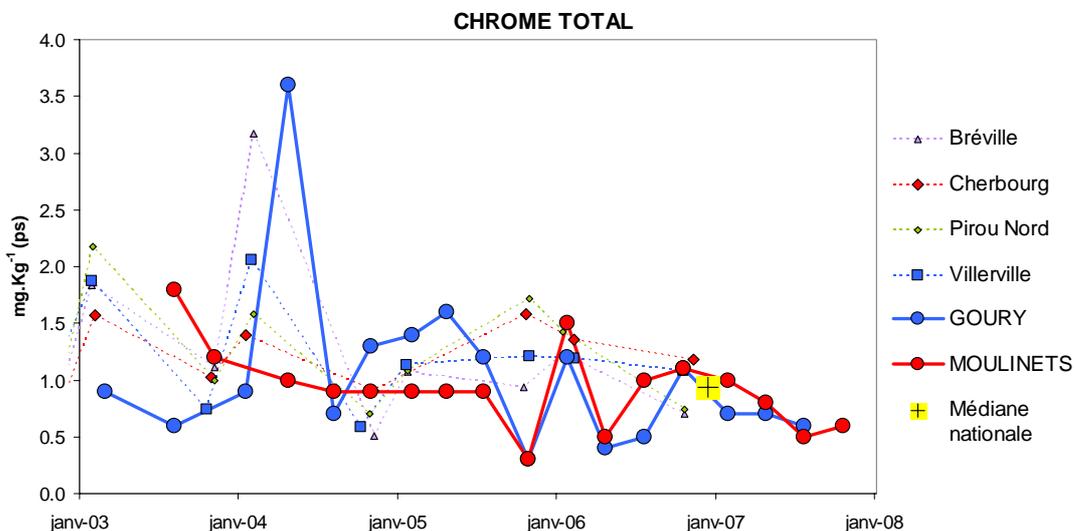


Figure 22 : Concentrations en chrome à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux depuis 2003. Rappel de la médiane nationale (2004-2006)

La moyenne des teneurs de février et novembre 2007 pour les deux points d'échantillonnage est inférieure à la médiane nationale 2004-2006 (février et novembre).

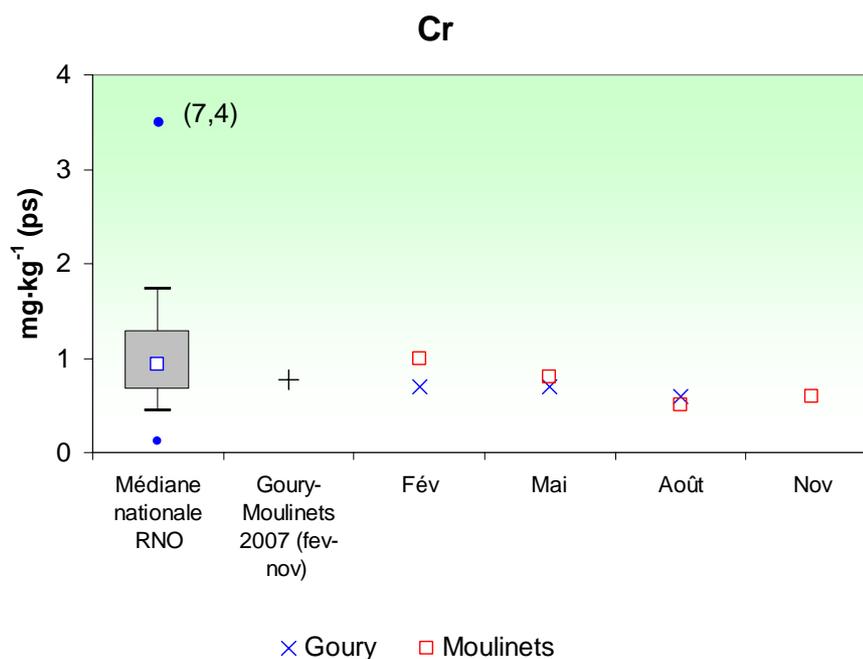


Figure 23 : Médiane des concentrations en chrome (2004-2006), moyenne 2007 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2007

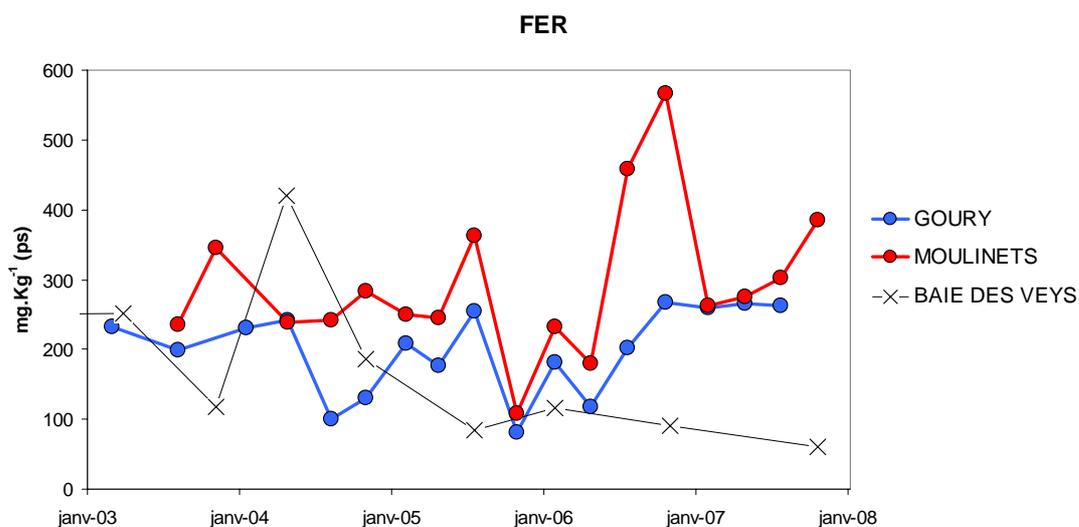
## FER

Après l'oxygène, le silicium et l'aluminium, le fer est l'élément le plus abondant de la croûte terrestre, environ 45 g de fer par kilogramme de croûte terrestre. Il ne se trouve à l'état natif que dans les nombreux météorites arrivées sur terre. Ses composés dans la nature se trouvent sous la forme de magnétite et d'hématite. Il est très peu soluble dans les eaux bien oxygénées et il est très présent dans les bassins anoxiques sous forme de Fe (II).

Utilisé depuis plus de vingt siècles par l'Homme, le fer rentre dans la composition de nombreux alliages, notamment avec le carbone, le nickel, le chrome et le vanadium. Le fer rejeté en mer est principalement dû aux activités industrielles et à la fabrication des engrais. Ces rejets sont en nette diminution depuis 1991. Le fer est un élément nécessaire à la vie ; il rentre dans la composition de l'hémoglobine des mammifères et il est nécessaire pour le développement de l'activité phytoplanctonique en mer. Le rejet en mer annuel de fer autorisé par arrêté à AREVA NC est de 500 Kg.

Le fer n'est pas un élément suivi en routine par le RNO. Nous pouvons cependant suivre son évolution et comparer les résultats obtenus sur les points Goury et Moulinets avec les teneurs des états *zéro* des lots de moules utilisés pour le suivi, en provenance des gisements de la baie des Veys.

Depuis le début du suivi en 2003, les concentrations en fer au point Moulinets sont supérieures ou du même ordre de grandeur que celles observées à Goury (figure 24). En 2007, les concentrations restent stables de février à août à Goury, tandis qu'au Moulinets celles-ci augmentent régulièrement. Pour le fer nous observons également une plus faible variabilité annuelle en 2007 par rapport à l'année précédente.



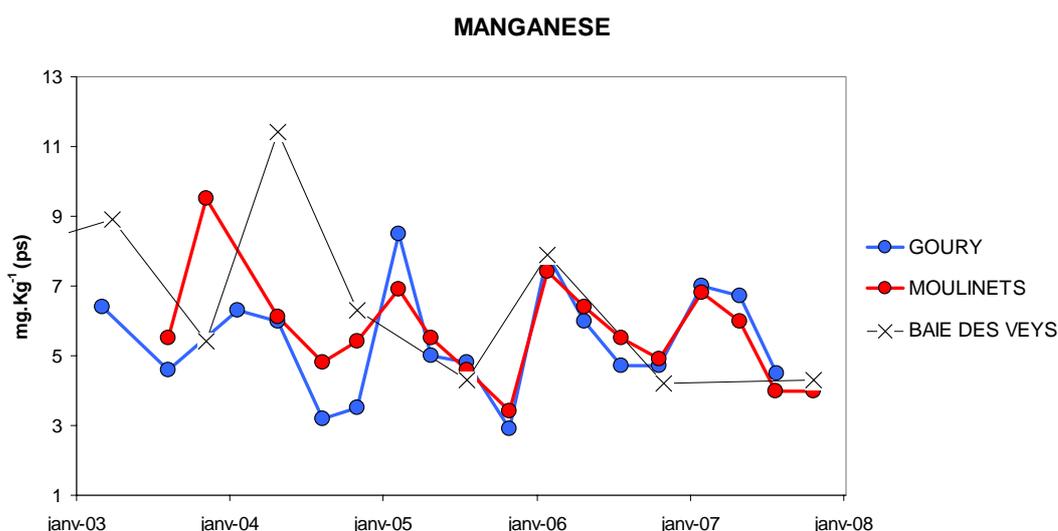
**Figure 24 : Évolution des concentrations en fer des lots de moules sur le gisement de la baie des Veys, à Goury et aux Moulinets**

Les concentrations observées dans le lot de moules témoin montrent une tendance décroissante de concentrations depuis 2004. La plus forte concentration de fer au point Moulinets pourrait avoir par origine les anciennes installations de pompage, toujours présentes dans l'ancienne bâtisse en béton où le lot de moules est installé (cf. § 1.1), ainsi que les eaux de ruissellement sur les rails de la rampe située en amont.

## MANGANESE

Le manganèse se trouve dans la croûte terrestre sous forme d'oxydes, de silicates et des carbonates (moins d'un gramme par kilogramme de croûte terrestre). Le manganèse rentre dans la composition de nombreux alliages avec le fer, l'aluminium et le cuivre. Il rentre 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 et les engrais. Il est nécessaire pour le développement des os chez les êtres vivants et certaines maladies ont leur origine à la suite de l'inhalation de poussières ou des fumées riches en manganèse. Il joue un premier rôle dans l'utilisation de la vitamine B1 et sa toxicité dans le milieu aquatique est réduite. Le rejet en mer annuel de manganèse autorisé par arrêté à AREVA NC est de 100 Kg.

Le manganèse n'est pas un élément suivi en routine par le RNO. Nous pouvons cependant suivre son évolution et comparer les résultats obtenus sur les points Goury et Moulinets avec les teneurs mesurées lors des états *zéro* des lots de moules utilisés pour le suivi de la matière vivante et en provenance des gisements de la baie des Veys.



**Figure 25 : Évolution des concentrations en manganèse des lots de moules sur le gisement de la baie des Veys, à Goury et aux Moulinets**

En 2007, les niveaux de concentrations du manganèse, ainsi que son évolution annuelle est tout à fait comparable à celle déjà décrite en 2006 (figure 25). Elles connaissent une décroissance régulière sur les deux points de suivi sur toute la période 2007. Depuis 2005, la valeur du lot de moules témoin de la baie de Veys

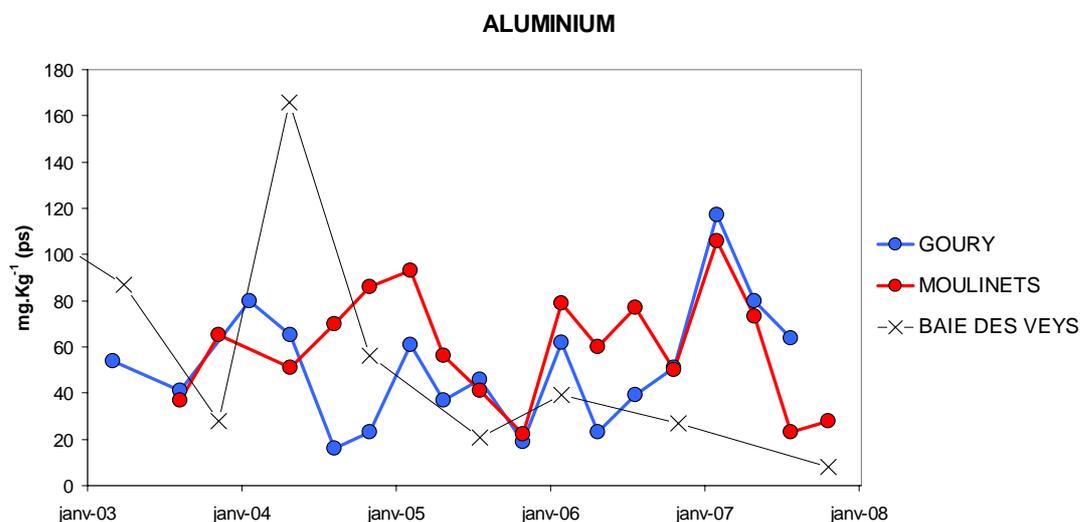
reste stable. Seule la valeur de février 2006 est supérieure du fait qu'elle n'a pas été prélevé au mois de novembre.

### ALUMINIUM

L'aluminium, troisième élément le plus répandu sur la terre, représente 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. La production d'aluminium, très consommatrice d'énergie, a notablement augmenté dans les dernières 50 années, atteignant une production de  $14 \cdot 10^6$  tonnes dans le monde. L'aluminium 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. Très controversé actuellement à cause des effets neurologiques, il est responsable des pathologies affectant les os, les reins, l'estomac et le cerveau. Le rejet en mer annuel d'aluminium autorisé par arrêté à AREVA NC est de 500 Kg.

L'aluminium n'est pas un élément suivi en routine par le RNO. Nous pouvons cependant suivre son évolution et comparer les résultats obtenus sur les points Goury et Moulinets avec les teneurs mesurées lors des états *zéro* des lots de moules utilisés pour le suivi de la matière vivante et en provenance des gisements de la baie des Veys.

Les concentrations en aluminium observées au début d'année ont été les plus fortes depuis 2003 (figure 26), juste dépassées par une valeur en baie de Veys en 2004. Il s'en suit une forte diminution des teneurs, avec un minimum enregistré au mois d'août au point Moulinets. Les valeurs observées au point Goury restent supérieures par rapport à celles du point Moulinets. Les concentrations observées dans le lot de moules témoin montrent une tendance décroissante de concentrations depuis 2004 en baie de Veys, concentrations qui restent inférieures à celles enregistrées sur les deux points de suivi.



**Figure 26 : Évolution des concentrations en aluminium des lots de moules sur le gisement de la baie des Veys, à Goury et aux Moulinets**

### 3.3. Organochlorés

Pour permettre une comparaison des résultats entre les sites AREVA NC et ceux du RNO, nous présenterons les résultats du DDT et de ses métabolites, DDD et DDE sommés.

Afin de rester cohérents avec les suivis du RNO, 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.

Comme dans les publications du RNO, le congénère CB<sub>153</sub> a été choisi comme marqueur de la contamination par les PCB.

#### Synthèse des résultats analytiques

Le tableau 3 présente les teneurs en pesticides (Lindane, DDT et ses métabolites) et PCB (CB<sub>153</sub>) mesurées sur les lots de moules étudiés.

<b>GOURY</b>	<b>PESTICIDES</b>				<b>PCB</b>
<b>DATE</b>	<b>DDT</b>	<b>DDE</b>	<b>DDD</b>	<b>GHCH</b>	<b>CB153</b>
15/02/2007	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	7.6
15/05/2007	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	14.9
10/08/2007	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<1
07/11/2007	PAS DE DONNEES				

<b>MOULINETS</b>	<b>PESTICIDES</b>				<b>PCB</b>
<b>DATE</b>	<b>DDT</b>	<b>DDE</b>	<b>DDD</b>	<b>GHCH</b>	<b>CB153</b>
15/02/2007	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	12.9
15/05/2007	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	6.3
09/08/2007	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	9.1
07/11/2007	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	3.7

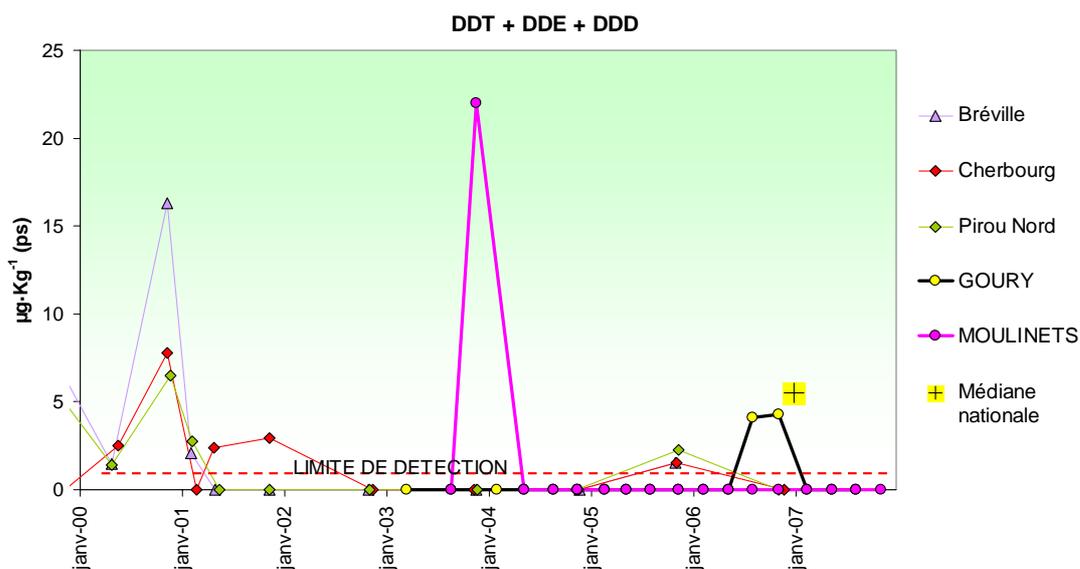
**Tableau 3 : Concentrations en pesticides et PCB des lots de moules pour les points AREVA de Goury et Moulinets ( $\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  [ps]) en 2007**

#### DDT + DDE + DDD

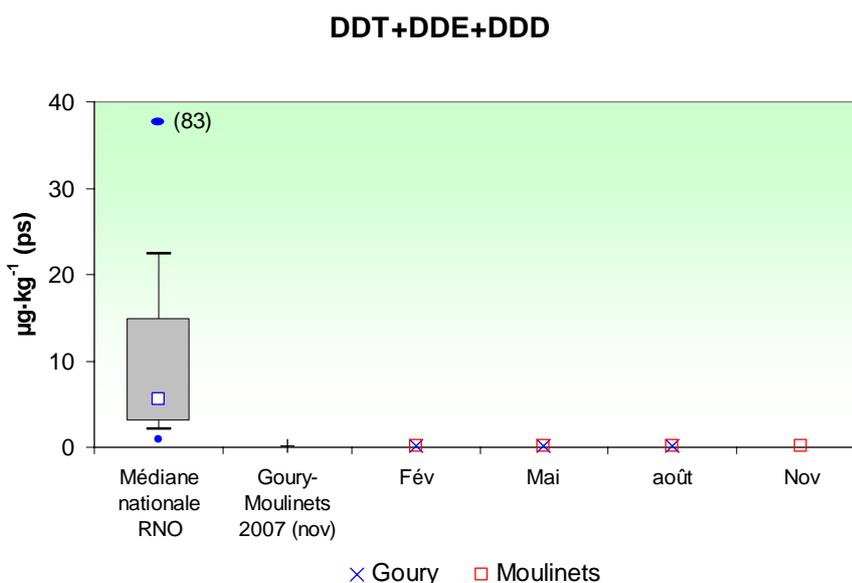
Le DDT, insecticide organochloré utilisé en grandes quantités à partir de 1940 pour la lutte contre les larves et les stades adultes d'insectes (notamment la démoustication), a fait l'objet dès 1972 d'importantes limitations d'emploi et il est interdit en France depuis plus de vingt ans. Le DDD provient de la transformation du DDT en milieu réducteur, c'est à dire principalement dans les sédiments. Le DDE est métabolisé par les organismes. Extrêmement rémanent et bioaccumulable, le DDT est doté d'une forte toxicité. Il provoque des perturbations du métabolisme chez de

nombreux organismes terrestres et marins. Il est potentiellement cancérigène et mutagène.

En 2007, les concentrations en DDT et ses métabolites (figure 27) restent en dessous des limites de détection ( $0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). A l'exception d'une valeur observée au point Goury en février 2004, toutes les autres ont été inférieures à  $5 \mu\text{g}/\text{kg}$  (ps). En 2006, les concentrations au point Goury sont restées supérieures à celles de Moulinets ; toutes les deux, cependant, se situant en dessous de la médiane nationale.



**Figure 27 : Concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (2004-2006)**

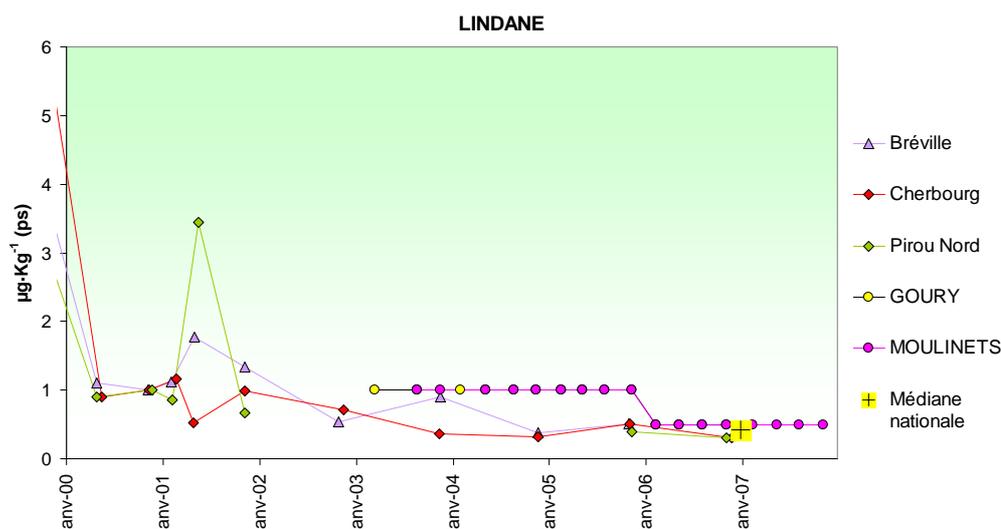


**Figure 28 : Concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury et aux Moulinets en 2007, moyenne 2007 de novembre à Goury et aux Moulinets (+), et médiane nationale 2004-2006 (novembre)**

La figure 28 présente la médiane nationale RNO 2004-2006 (novembre) avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets tout le long de l'année 2007 se situent en dessous du seuil de détection.

### $\gamma$ HCH (LINDANE)

Le gamma hexachlorocyclohexane (Lindane) est un insecticide chloré toxique et rémanent, qui a été largement utilisé pour le traitement des cultures et la lutte contre les moustiques et les termites. L'isomère alpha est un sous produit de fabrication. Les produits commerciaux doivent contenir plus de 99 % de  $\gamma$  HCH pour avoir droit à l'appellation Lindane. Facilement bioaccumulable dans la matière vivante, le Lindane présente une forte toxicité aiguë pour les crustacés. Il a été interdit à l'emploi depuis le 01/08/1998.



**Figure 29 : Concentrations en Lindane à Goury, aux Moulinets, sur les sites RNO régionaux et médiane nationale 2004-2006 (novembre)**

La diminution des concentrations en lindane observée depuis 2005 sur les points régionaux du réseau RNO, conséquence logique de l'interdiction de son usage depuis 1998, se confirme (figure 29). Les concentrations actuellement observées par le réseau RNO sont toutes inférieures à la limite de détection de l'étude AREVA, égale à  $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ps) depuis 2006. Nous sommes, au niveau national, bien loin des valeurs supérieures à  $5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ps) observées avant 2000.

La figure 30 présente la médiane nationale 2004-2006 (novembre) avec sa dispersion ainsi que les concentrations observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement (en fait, il s'agit du seuil de détection, car les valeurs réelles sont inférieures à ce seuil). Cette limite de détection se situant au niveau de la médiane nationale, les concentrations réelles présentes aux points Goury et Moulinets sont vraisemblablement au dessous. Les concentrations supérieures à  $2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ps)

correspondent en grand majorité aux points de prélèvement en Bretagne, concentrations qui s'expliquent par la forte activité agricole de cette région.

### LINDANE

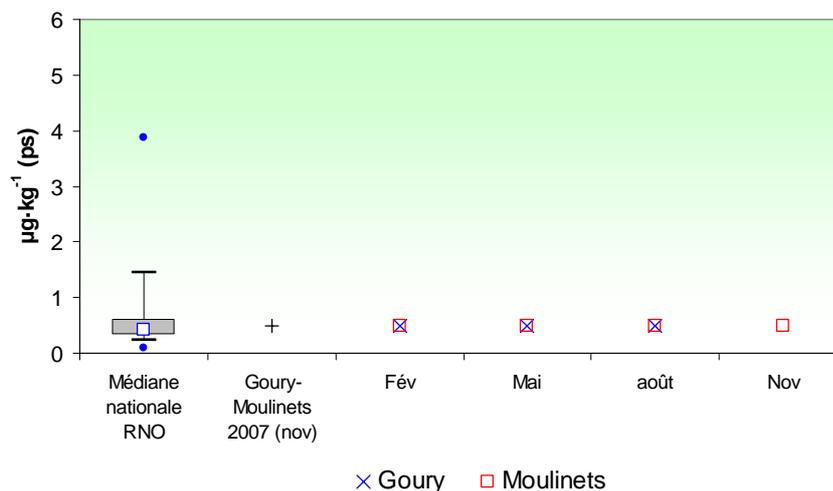


Figure 30 : Concentrations en Lindane à Gourey et aux Moulins en 2007, moyenne 2007 de novembre à Gourey et aux Moulins (+), et médiane nationale 2004-2006 (novembre)

### POLYCHLOROBIPHENYLES (PCB)

La présence de résidus de PCB dans l'environnement résulte de leur importante utilisation comme fluides diélectriques, utilisations strictement réglementées depuis plusieurs années (1973). En plus des pertes lors des remplissages et retraitement des systèmes clos, les rejets urbains, les décharges de matériel usagé et les activités liées à la récupération des matériaux ferreux sont potentiellement des sources d'apport dans l'environnement. En raison de leur persistance, de leur caractère bioaccumulable et de leur toxicité, les PCB font partie des contaminants prioritaires. Ils ne présentent pas de caractère de toxicité aiguë. Par contre, l'exposition chronique à de faibles doses peut être à l'origine de divers dysfonctionnements observés chez les animaux de laboratoire : hypertrophie hépatique, effets cancérigènes, altération des fonctions reproductrices, etc. L'usage de PCB est interdit en France depuis février 1987. L'estuaire de la Seine est le site le plus touché par les contaminations aux PCB de l'ensemble du littoral français.

Depuis 2004, où le point Gourey présentait des concentrations proches de 80 µg·kg<sup>-1</sup>, les concentrations sont en décroissance (figure 31). En 2007 les concentrations en PCB des deux points suivis se situent en dessous de la médiane nationale 2004-2006. Elles atteignent en début d'année leur maximum saisonnier et présentent une diminution vers le mois de novembre.

Au niveau régional, la rade de Cherbourg présente de concentrations supérieures à celles observées sur les autres points du RNO local (figure 31). Ces teneurs deviennent cependant proches ou inférieures à la médiane nationale 2004-2006 à partir de 2001. En novembre 2006, les concentrations observées sur les points Gourey et Moulins se situent en dessous de celles de celle de Cherbourg.

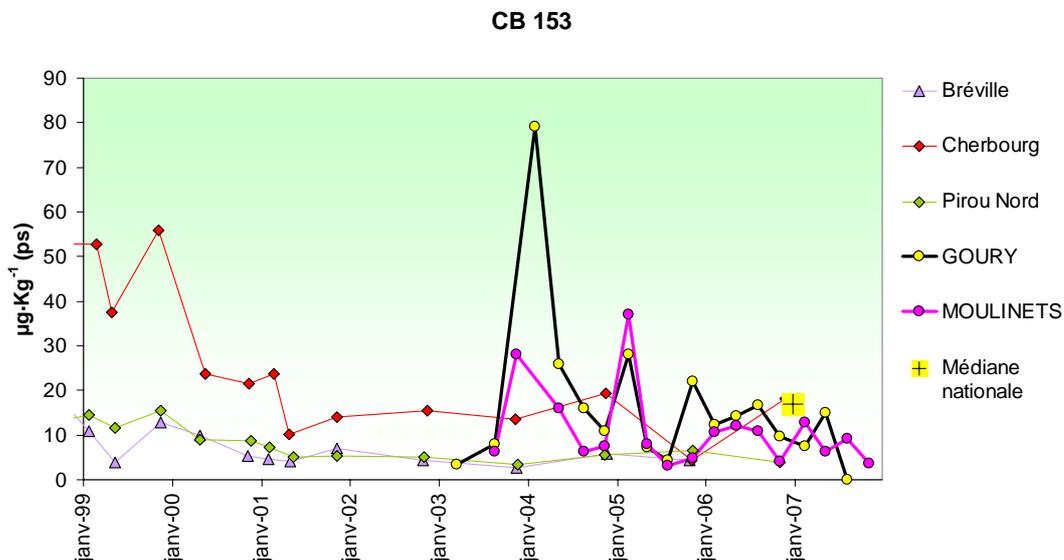


Figure 31 : Concentrations en  $\text{CB}_{153}$  à Goury et aux Moulinets, sur les sites RNO régionaux et médiane nationale 2004-2006

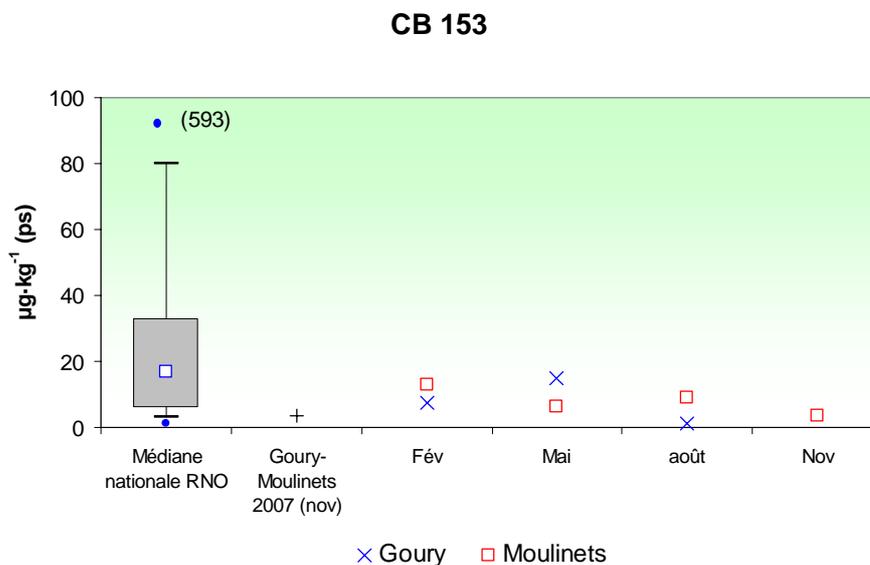


Figure 32 : Concentrations en Lindane à Goury et aux Moulinets en 2007, moyenne 2007 de novembre à Goury et aux Moulinets (+), et médiane nationale 2004-2006 (novembre)

La figure 32 présente la médiane nationale 2004-2006 (novembre) avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées en 2007 aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets tout le long de l'année se situent sur la partie inférieure de la boîte contenant 50 % des valeurs observées par le RNO sur l'ensemble de la France métropolitaine (Corse incluse). Seules les concentrations enregistrées en novembre au Moulinets, et en août à Goury, se situent en dessous de cette boîte.

La moyenne 2007 des teneurs observées en novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est très inférieure à la médiane nationale 2004-2006 (novembre).

Les teneurs observées au point Moulinets en 2007 sont supérieures à celle mesurées à Goury en février et en août.

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

Les HAP présents dans l'environnement résultent de différents processus : la biosynthèse par les organismes vivants, les pertes à partir du transport, la pyrolyse des matières organiques à haute température, les feux de forêts ou l'utilisation des carburants fossiles, charbons, pétroles. La combustion des charbons et pétroles constitue la principale voie d'introduction des HAP dans l'environnement et résulte majoritairement des activités anthropiques. Les activités industrielles telles que les usines de production d'aluminium, les raffineries de pétrole ou les rejets urbains contribuent également de manière importante aux apports atmosphériques et aquatiques. Certains HAP sont cancérigènes pour l'homme et toxiques pour la flore et la faune marine. Certains sont également très rémanents dans l'environnement. En cohérence avec les publications du RNO et les bulletins de surveillance régionaux, nous utiliserons ici le fluoranthène comme traceur de la contamination par les HAP.

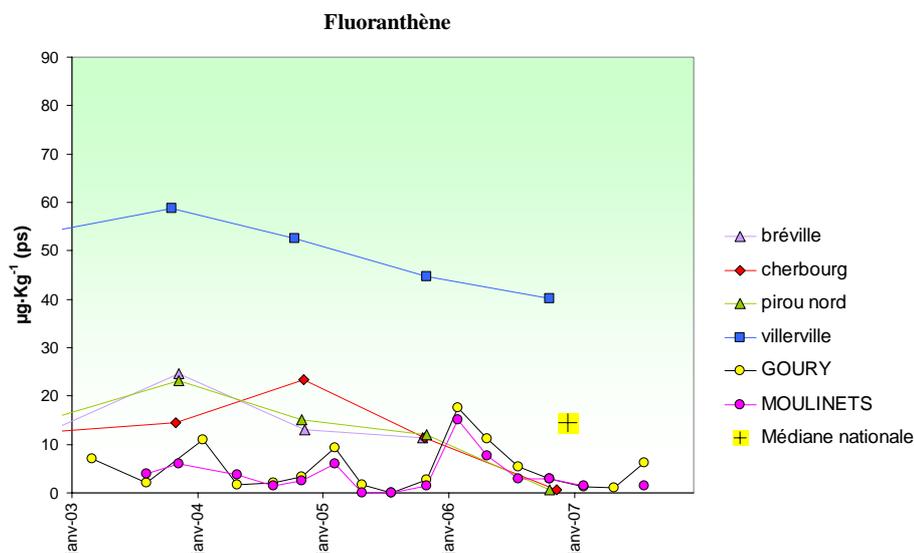
#### Synthèse des résultats analytiques

Les tableaux 4 présente les concentrations en fluoranthène mesurées sur les lots de moules en 2007.

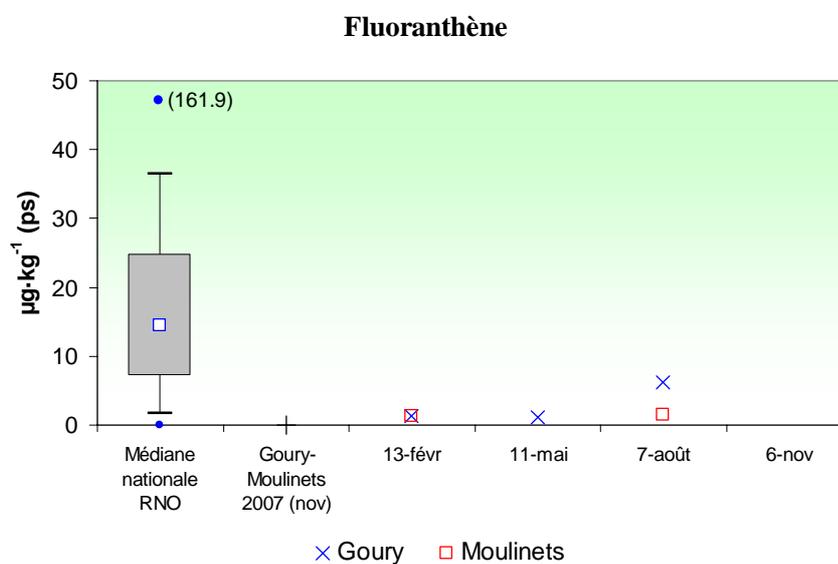
Date	Goury	Moulinets
15/02/2007	1,3	1,4
15/05/2007	1,1	<1
10 et 9/08/2007	6,2	1,5
07/11/2007	Pas de Données	<1

**Tableau 4 : Concentrations de fluoranthène pour les points Goury et Moulinets en 2007 en  $\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  (ps)**

Les concentrations en Fluoranthène observées sur le site de Villerville sont les plus élevées de l'ensemble des sites régionaux (figure 33), mais encore bien loin des valeurs extrêmes observées dans la période 2004-2006 au niveau national, où le maximum a atteint  $161,9 \mu\text{g}/\text{kg}$  [ps] (figure 34). Ceci s'explique par la forte activité pétrochimique sur la Seine. En 2005 les valeurs des points Goury et Moulinets sont en dessous des concentrations observées sur l'ensemble de points régionaux. En 2006, elles diminuent régulièrement d'un maximum, proche de la médiane nationale en février, jusqu'au minimum en novembre. En 2007, les valeurs sont restées proches du seuil de détection, ou en dessous, à l'exception de la valeur enregistrée à Goury en août.



**Figure 33 : Concentrations en fluoranthène à Goury et aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale 2004-2006 (novembre)**



**Figure 34 : Concentrations en fluoranthène à Goury et aux Moulinets en 2007, moyenne 2007 de novembre à Goury et aux Moulinets (+), et médiane nationale 2004-2006 (novembre)**

La figure 34 présente la médiane nationale obtenue lors des campagnes de mesures RNO de 2004 à 2006 avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. La moyenne des concentrations observées sur les deux points de suivi pour le mois de novembre est très inférieure à la médiane nationale.

### 3.5. Approche statistique

Le faible nombre de valeurs qui compose la série de données, rend les tendances sensibles aux valeurs exceptionnelles et aux variations saisonnières. Il faut donc considérer ces tendances avec précaution et se référer aux figures d'évolution temporelle des paramètres pour avoir une meilleure compréhension des phénomènes.

Dans la partie 'A' du tableau 5, nous n'observons pour Goury, une tendance à la diminution du plomb et du complexe DDT, le reste de contaminants restant stables. Au point Moulinets, la diminution des concentrations est observée pour le plomb, mercure, nickel, chrome et le DDT.

Nous avons ensuite comparé, pour chaque paramètre, les différences entre les séries de Goury et celles de Moulinets par un test apparié. Seul le fer a présenté de différences significatives entre les points Goury et Moulinets au seuil de 95 %, le fluoranthène se trouvant juste au dessus de la limite de signification avec  $p=0,057$ .

	Tableau A				Tableau B	
	GOURY		MOULINETS		GOURY/MOULINETS	
Métaux	$p$	Tendance	$p$	Tendance	$p$	résultat
PB	<b>0,012</b>	↓	<b>0,021</b>	↓	1,00	=
HG	0,145	↔	<b>0,040</b>	↓	0,15	=
CD	0,661	↔	0,466	↔	0,52	=
NI	0,253	↔	<b>0,014</b>	↓	0,17	=
CR	0,185	↔	<b>0,046</b>	↓	0,99	=
CU	0,726	↔	0,905	↔	0,97	=
CO	0,092	↔	0,116	↔	0,33	=
ZN	0,600	↔	0,442	↔	0,16	=
Al	0,285	↔	0,702	↔	0,12	=
Fe	0,340	↔	0,221	↔	<b>0,00</b>	≠
Mn	0,826	↔	0,157	↔	0,37	=
Organochlorés	$p$	Tendance	$p$	Tendance	$p$	résultat
DDT+DDE+DDD	<b>0,030</b>	↓	<b>0,033</b>	↓	0,182	=
Lindane	1,000	↔	1,000	↔	1,000	=
PCB - CB153	0,189	↔	0,166	↔	0,132	=
HAP	$p$	Tendance	$p$	Tendance	$p$	résultat
Fluoranthène	0,911	↔	0,501	↔	0,057	=

**Tableau 5 : Valeurs de la probabilité associée  $p$ , pour les test de signification de la pente de la droite de régression pour chaque paramètre et par point d'échantillonnage (tableau A). Comparaison par paramètre des différences entre les points Goury et Moulinets (tableau B)**

Bien qu'un certain nombre de tendances soit déjà visible, les oscillations inter et intra annuelles sont encore plus fortes que la tendance elle-même à cause du faible nombre d'années de suivi.

La seule différence significative entre les deux points d'échantillonnage est observée pour le fer.

Cette approche prendra toute sa force au fur et à mesure que la série de valeurs deviendra plus longue, ainsi des approches statistiques plus sophistiquées et robustes pourront être utilisées.

## 4. Conclusions

En comparant la médiane nationale RNO 2004-2006 (février et novembre) avec la moyenne des analyses 2007 pour chaque paramètre dans la même période, nous observons que les moyennes 2007 se situent en dessous de la moyenne nationale. Seul le Lindane fait une exception à cette règle, où la médiane nationale est sensiblement similaire à la moyenne 2007. De plus, toutes les valeurs 2007 sont très en dessous du seuil administratif européen pour les métaux qui sont réglementés. Pour les paramètres cobalt, nickel, PCB (CB<sub>153</sub>), DDT et HAP (fluoranthène), les moyennes 2007 se situent très en dessous de la médiane nationale.

Au point Moulinets, nous constatons une augmentation régulière des concentrations de février à novembre pour le plomb, cadmium, cuivre, nickel, mercure et fer ; une diminution pour le chrome, manganèse et aluminium et des valeurs qui oscillent pour le cobalt. Au point Goury, l'augmentation de février à août (pas d'échantillon en novembre) est observée pour le plomb, cuivre, nickel, cadmium, zinc, mercure et cobalt. Une diminution est constatée pour le manganèse et l'aluminium, tandis que les concentrations en fer restent stables sur les trois échantillons de 2007. Les teneurs en métaux au point Goury sont en générale plus élevées que celles de Moulinets, à l'exception du chrome, cobalt et fer. En 2007, toutes les concentrations en métaux ont été similaires ou inférieures à celles enregistrées en 2006. Seules les valeurs observées en février pour l'aluminium échappent à cette règle.

Le fer, l'aluminium et le cobalt présentent des concentrations supérieures à celles observées dans le lot témoin de moules pêchés dans la baie des Veys.

Pour les PCB, la concentration en CB<sub>153</sub> au point Moulinets est supérieure à celle du point Goury en février et août. Le fluoranthène ne présente de différences entre les points que au mois d'août, où nous enregistrons une valeur supérieure à Goury. Les valeurs des pesticides en 2007 ont été toutes en dessous des seuils analytiques.

L'étude statistique sur l'ensemble de données enregistrées depuis 2003 met en évidence des oscillations saisonnières avec une stabilité pluriannuelle dans la plupart des cas. Le plomb et le DDT présentent une tendance à la diminution sur les deux points d'échantillonnage, puis, le mercure, nickel et le chrome pour le point Moulinets.

En conclusion, en 2007, nous n'observons pas d'effet chronique de l'activité industrielle de l'usine AREVA NC de La Hague sur le suivi des paramètres étudiés.

## 5. Bibliographie

ANDRAL, B., STANISIERE, 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.

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.

Lampert, L. 2003

Suivi de la contamination métallique et organique de deux lots de moules (*Mytilus edulis*) implantés au port de Goury (Manche) – Année 2002-2003. *IFREMER/DEL RST 03 08* du 10 décembre 2003, 28 pp.

Lampert, L. 2004

Surveillance hydrologique et phytoplanctonique du site de la Cogéma (la Hague) – Année 2003. *IFREMER / LERN RST 04* du 02 de février 2004. 25 pp.

Lampert, L. 2004

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 2003. *IFREMER / LERN RST 04* du 10 de mai 2004. 37 pp.

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.