

Découvrez un ensemble de documents, scientifiques ou techniques,  
dans la base Archimer : <http://www.ifremer.fr/docelec/>

**ifremer**

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

**Laboratoire Environnement Ressources de Normandie  
(LERN)**

Lampert Luis

RST./07 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 2006**



Luis Lampert- aquarelle -Port de Goury

Contrat AREVA NC N° 40005318

**Mars 2007**



**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 2006**

*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 quatrième 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 4 août 2005 et le 13 février 2006 en provenance des gisements du secteur conchylicole de la baie des Veys dans la Manche.

## 2. Matériel et Méthodes

Suite aux mortalités de moules constaté à Goury (par un homard retrouvé à l'intérieur de la cage), de nouvelles poches ont été implantées le 4 août 2005 au port de Goury et à l'Anse des Moulinets. 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 13 février 2006. Lors de ce prélèvement, des nouvelles poches ont été apportées afin de couvrir les prélèvements jusqu'au mois de novembre 2006.

Les prélèvements de l'année 2006 sont indiqués dans le tableau 1.

Date	GOURY	MOULINETS
13/02/2006	X	X
11/05/2006	X	X
07/08/2006	X	X
06/11/2006	X	X

**Tableau 1 : Prélèvements de moules effectués aux points d'échantillonnage de Goury et des Moulinets en 2006**

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 2003 à 2005). 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.

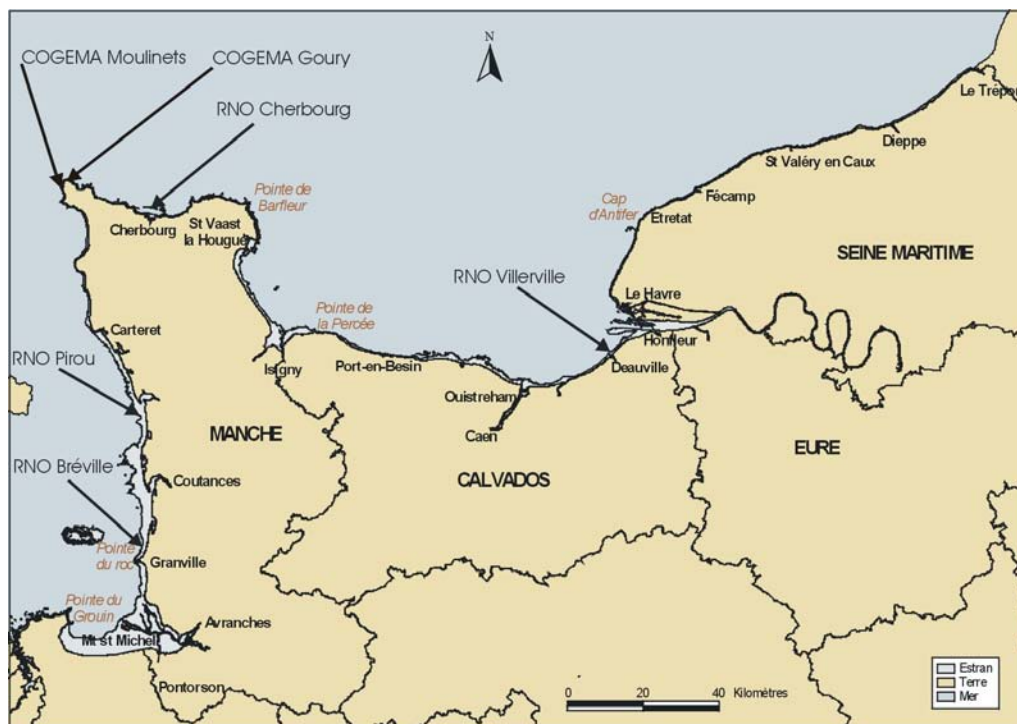
Les données du RNO permettent à la France de remplir ses obligations dans le cadre de certaines conventions internationales (OSPAR, MEDPOL).

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, le CB<sub>153</sub> seul 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 qui suit.

## 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).

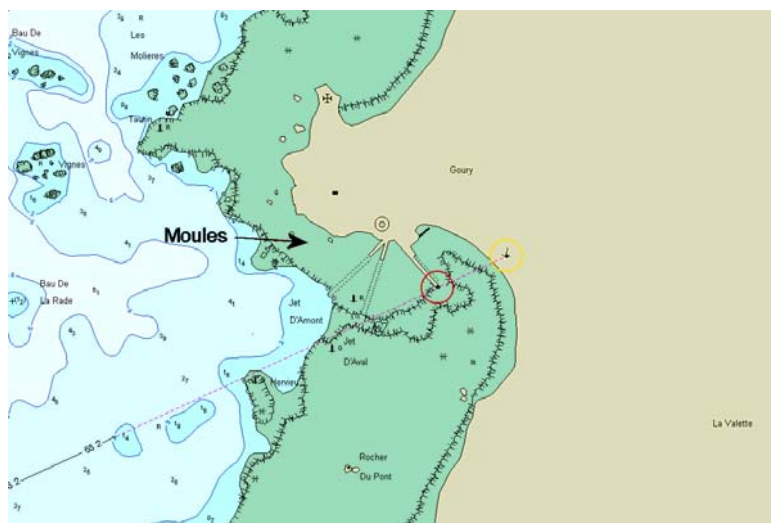


Figure 2 : Position des poches à moules au port de Goury

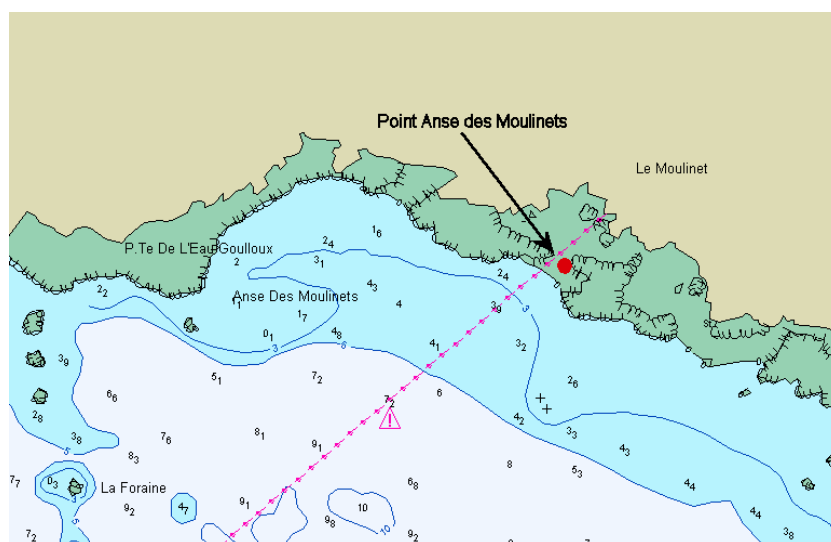


Figure 3 : Port de Goury. Détail du puits grillagé où les moules sont entreposées



### Point Anse des Moulins :

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 Moulins (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 (figures 4 et 5).



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



**Figure 5 : Anse des Moulins. Détail de l'abri grillagé où les moules sont entreposées**

Les moules, en provenance des gisements du secteur de la baie de Veys, sont laissées sur les points de suivi de Goury et des Moulins pendant trois mois minimum avant

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

50 individus minimum 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 250 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

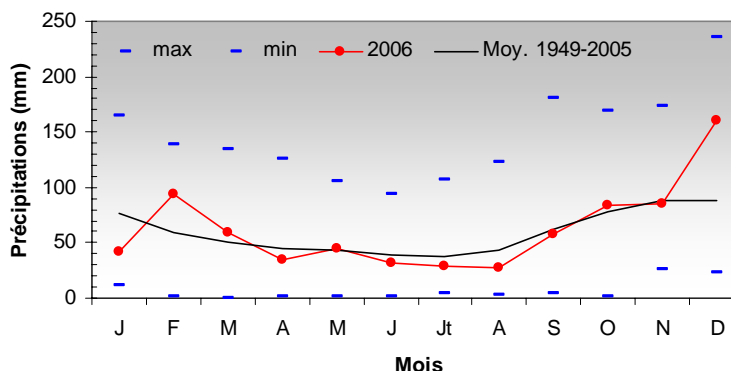


Figure 6 : Précipitations (mm) par mois en 2006 et moyenne pluriannuelle, maximum et minimum sur la période 1949-2005. Données Météo-France sur La Hague

La pluviométrie en 2006 a évolué près de la moyenne entre mars et novembre, elle a été excédentaire en février et décembre et déficitaire en janvier. Le bilan global de 2006 (749,1 mm) est donc supérieur (712,6 mm) à la moyenne annuelle 1949-2005 (figure 6).

##### 3.1.2. Température de l'air

Les températures enregistrées en 2006 à Flamanville par Météo France ont été au-dessus de la moyenne pluriannuelle 1949-2005 (figure 7) à partir du mois de mai. Cet écart devient plus fort dès le mois de juillet, et entre septembre et décembre, les températures moyennes mensuelles sont au niveau des maximums de la période 1949-2005. Les mois de janvier, février et mars présentent des températures inférieures à la moyenne, créant ainsi un fort contraste avec les températures du reste de l'année. L'année 2006 s'inscrit donc, dans le même schéma que les années précédentes.

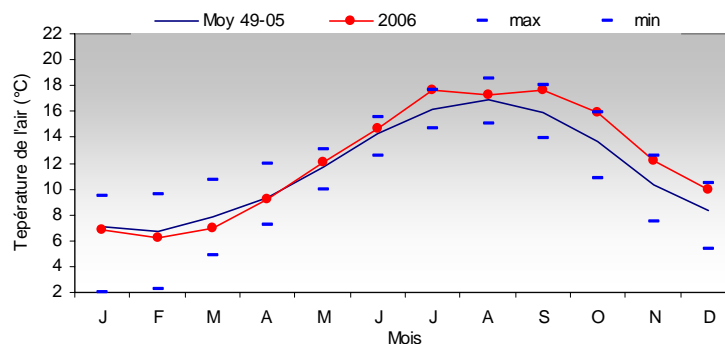


Figure 7 : Température mensuelle moyenne de l'air en 2006 et moyenne, maximum et minimum sur la période 1949-2005. Données Météo-France.

En conclusion, la météorologie de la période au cours de laquelle s'est déroulé ce suivi a été similaire à celles observées depuis 2003, avec des fortes températures estivales et automnales, des périodes froides en hiver et une pluviométrie proche des moyennes, mais avec des périodes sèches en début d'année.

### 3.2. Métaux lourds

#### Synthèse des résultats analytiques

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

GOURY											
Date	Pb	Cd	Hg	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	Al	Fe
13/02/2006	1,1	0,51	0,11	5,4	81,8	0,2	0,7	1,2	7,9	62	182
11/05/2006	1,1	0,57	0,09	7,6	84,7	0,2	0,7	0,4	6,0	23	117
07/08/2006	1,4	0,92	0,11	7,7	91,2	0,2	0,9	0,5	4,7	39	202
06/11/2006	1,9	1,42	0,20	9,6	108	0,4	1,3	1,1	4,7	51	267

MOULINETS											
Date	Pb	Cd	Hg	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	Al	Fe
13/02/2006	1,1	0,39	0,09	4,7	71,4	0,2	0,5	1,5	7,4	79	232
11/05/2006	1,1	0,69	0,09	7,9	90,6	0,3	0,6	0,5	6,4	60	180
07/08/2006	2,0	1,43	0,16	8,8	107	0,4	1,3	1,0	5,5	77	458
06/11/2006	2,3	1,22	0,13	8,6	96,3	0,3	0,9	1,1	4,9	50	566

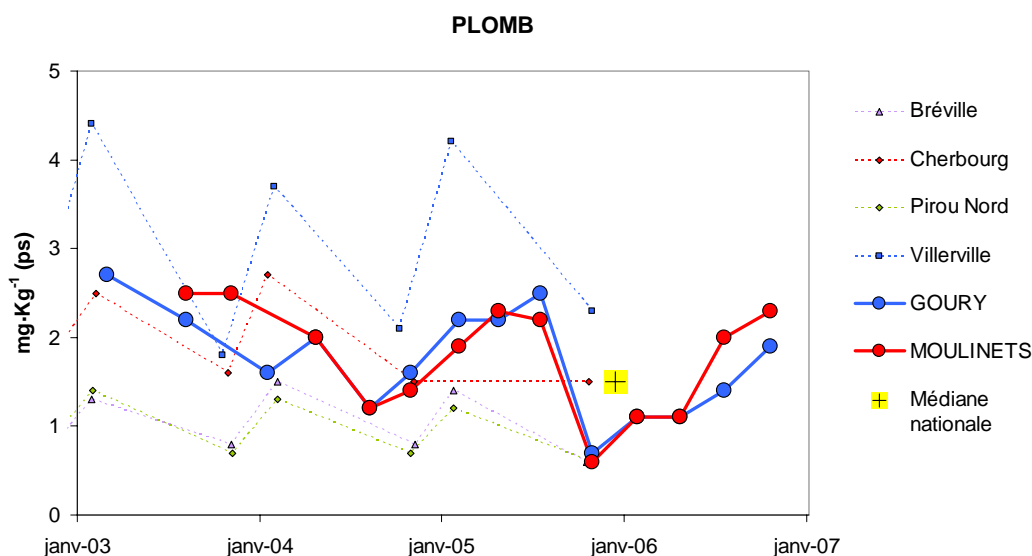
**Tableau 2 : Concentrations en métaux lourds pour les points Goury et Anse des Moulinets en 2006. Concentrations en  $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de poids sec (ps)**

## 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.

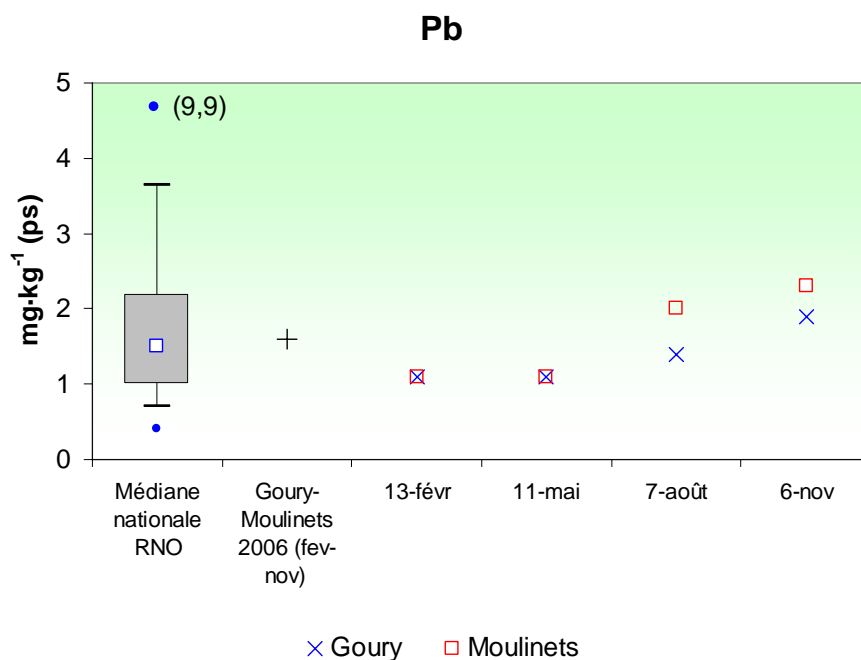
Les formes inorganiques sont moins écotoxiques que les formes organiques (composés alkylés) qui inhibent la croissance du phytoplancton. Le plomb peut également provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.

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 2005). Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2003-2005)**

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 en 2003 et 2005 se trouvent dans la plage de celles observées à Cherbourg, voire en dessous. En 2006 nous observons l'augmentation régulière des concentrations jusqu'au mois de novembre, sans chute automnale comme les années précédentes.



**Figure 9 :** Boîte à moustaches présentant les concentrations en plomb sur la série nationale RNO (février et novembre 2003-2005) en mg.kg<sup>-1</sup> (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 2006 observée sur Goury et Moulinets (février et novembre). Le carré rouge et la croix bleue représentent les concentrations obtenues en 2006 au Moulinets et à Goury.

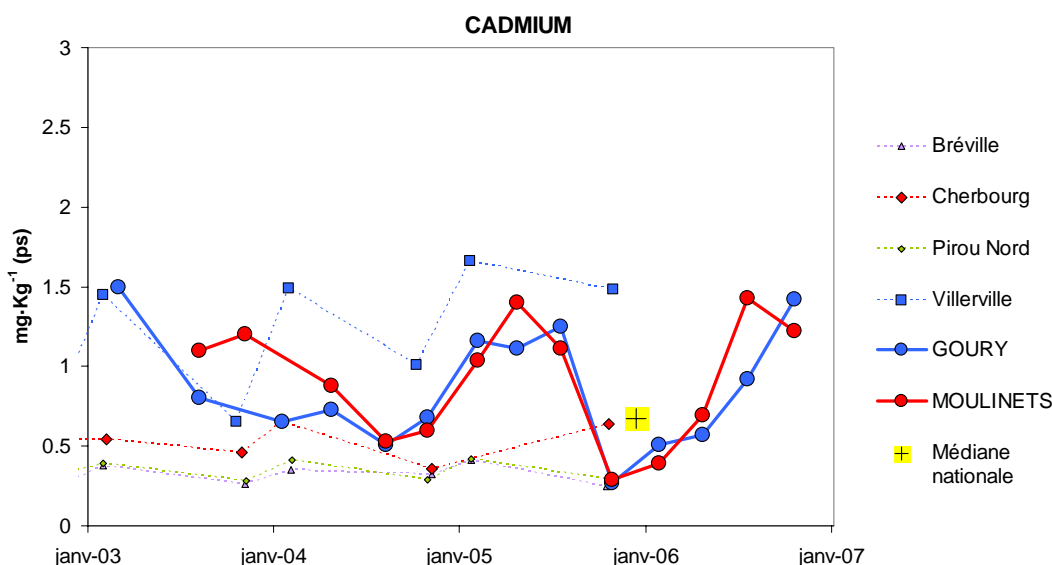
La figure 9 présente, la médiane nationale RNO 2003-2005 (février et novembre) avec sa dispersion ainsi que les valeurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées aux Moulinets entre août et novembre sont proches de la limite haute de 50 % des valeurs observées dans les moules par le RNO sur l'ensemble de la France métropolitaine (Corse incluse). Les valeurs enregistrées au mois de novembre sont supérieures à la médiane annuelle de la série. En février et mai, les concentrations sont similaires pour les deux points, tandis qu'en août et novembre, elles sont supérieures au point Moulinets. La comparaison de la médiane nationale avec la moyenne des valeurs 2006, pour les mêmes périodes, met en évidence des concentrations du même niveau.

### 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.

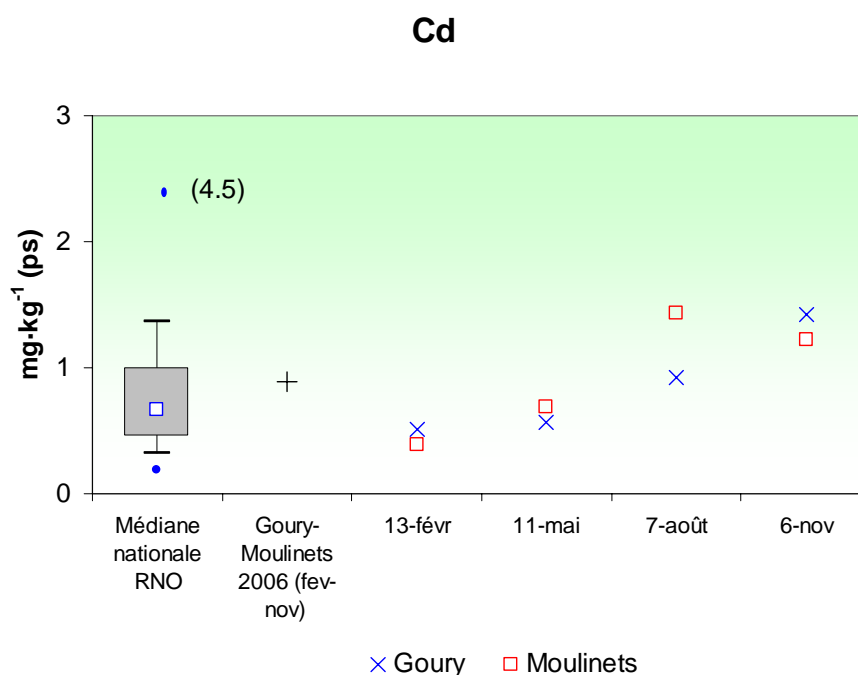


**Figure 10 : Concentrations en cadmium à Goury, au Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2003-2005)**

Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets en 2006 sont du même ordre que celles enregistrées en 2005, avec cependant, un plus fort écart entre les valeurs minimales de février et maximales de novembre. Seulement au point Moulinets en novembre nous observons une diminution des concentrations. Jusqu'au début 2006, les valeurs aux points Goury et Moulinets sont supérieures à celles de Cherbourg, mais inférieures à celles de Villerville. Comme pour le plomb, nous n'observons pas en 2006, la chute de concentration du mois de novembre comme lors de l'année précédente. Les valeurs restant inférieures au seuil européen de  $5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  [ps].

La figure 11 présente la médiane nationale RNO 2003-2005 (février et novembre) avec sa dispersion ainsi que les concentrations observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets en février et mai sont en dessous de la médiane nationale, tandis que celles enregistrées aux mois d'août et novembre se situent au dessus de celle-ci. L'évolution saisonnière est comparable à celle du plomb.





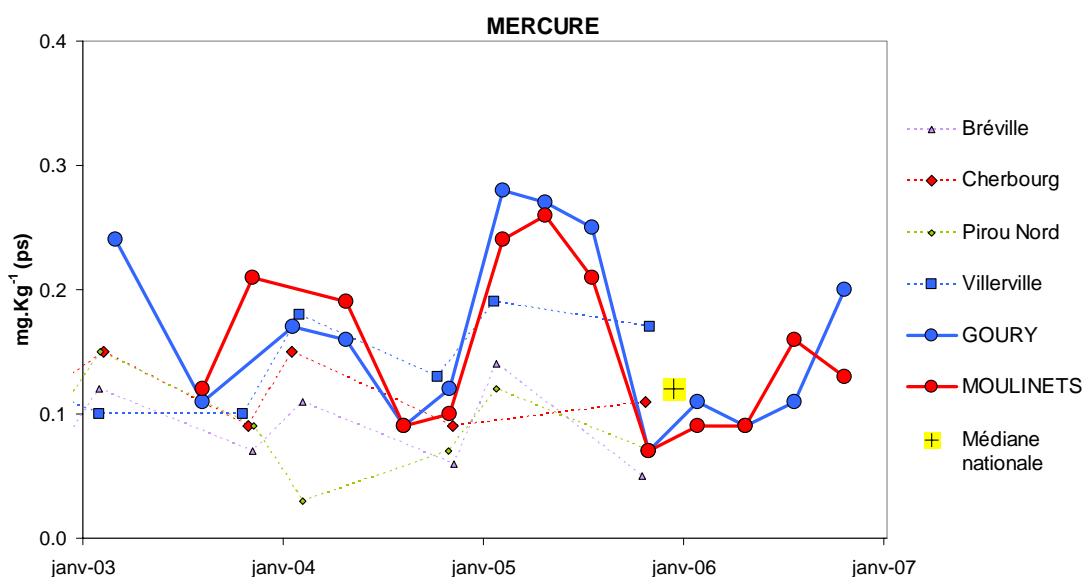
**Figure 11 : Médiane des concentrations en cadmium (février et novembre 2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

Des faibles différences sont observées entre les concentrations des points Goury et Moulinets en février et mai, différences qui deviennent plus marquées en novembre et surtout au mois d'août. La moyenne locale 2006 est légèrement plus forte que la médiane nationale. Ces valeurs sont cependant éloignées de la valeur seuil sanitaire de 5 mg.Kg<sup>-1</sup> (ps) cité plus haut.

## 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, squales). Le rejet en mer annuel de mercure autorisé par arrêté à AREVA NC est de 35 Kg.

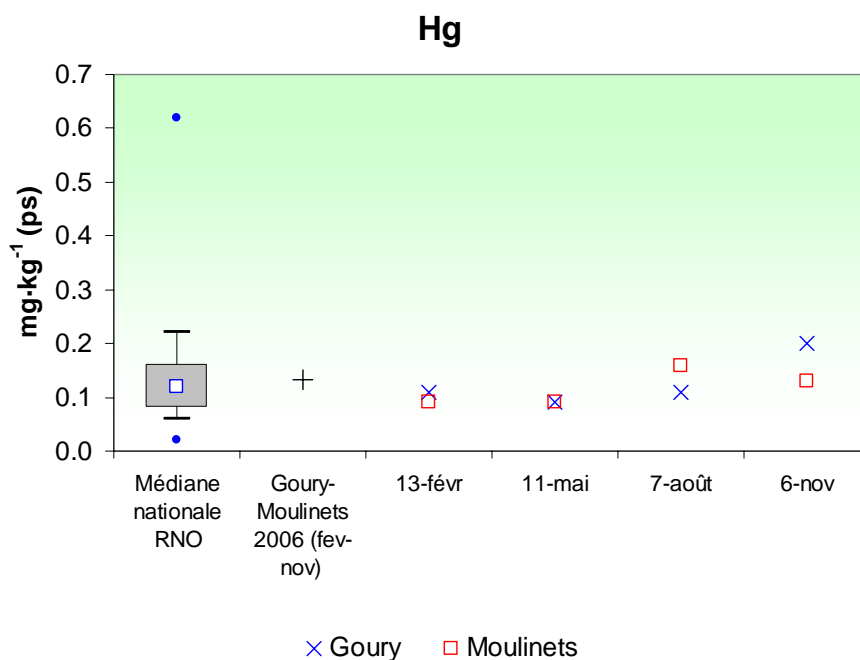


**Figure 12 : Concentrations en mercure à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (février et novembre 2003-2005)**

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 2006 est en diminution par rapport à celles de 2005 (figure 12). Seul au point Moulinets nous enregistrons une diminution de la valeur au mois de novembre.

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. Au mois de novembre, cette situation s'inverse, avec les concentrations de Cherbourg et Villerville au-dessus de celles de Goury et Moulinets. La teneur observée à Pirou est proche de ces valeurs et à Bréville, elles se situent juste en dessous. 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).

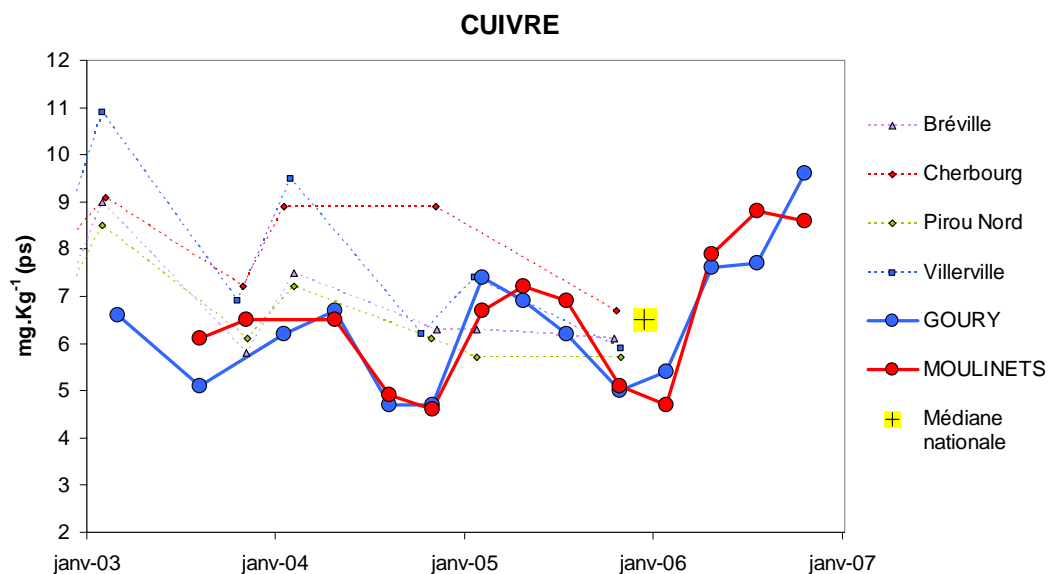


**Figure 13 : Médiane des concentrations en mercure (février et novembre 2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

La figure 13 présente la médiane nationale RNO 2003-2005 (février et novembre) avec sa dispersion ainsi que les valeurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets en février et mai sont en dessous de la médiane nationale, tandis qu'aux mois d'août et novembre elles sont proches ou au-dessus de cette médiane. L'évolution saisonnière est comparable à celle du plomb et du cadmium. La moyenne 2006 des teneurs de février et de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est légèrement supérieure à la médiane nationale 2003-2005 (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 (2003-2005)**

Les teneurs observées à Goury et aux Moulinets en 2006 sont supérieures à celles enregistrées depuis 2003 (figure 14). Comme nous avons déjà constaté avec le cadmium et le mercure, la concentration observée au point Moulinets en novembre est inférieure à celle du mois d'août.

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. Si la période 2003-2005 présente une stabilité des concentrations pour la série des points Goury et Moulinets, les concentrations observées sur les points de suivi RNO semblent suivre une décroissance. Sauf au mois de février, toutes les valeurs observées en 2006 sur Goury et aux Moulinets se situent au-dessus de la médiane nationale 2003-2005.

La figure 15 présente la médiane nationale RNO 2003-2005 (février et novembre) avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. A l'exception de la situation du mois de février, toutes les autres concentrations ont été supérieures à la moyenne annuelle 2006. Encore une fois, nous constatons de plus fortes valeurs au point Goury par rapport au Moulinets au mois de novembre, tandis qu'en août la situation est inversée. La moyenne 2006 des teneurs en février et novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est légèrement supérieure à la médiane nationale 2003-2005 (février et novembre).

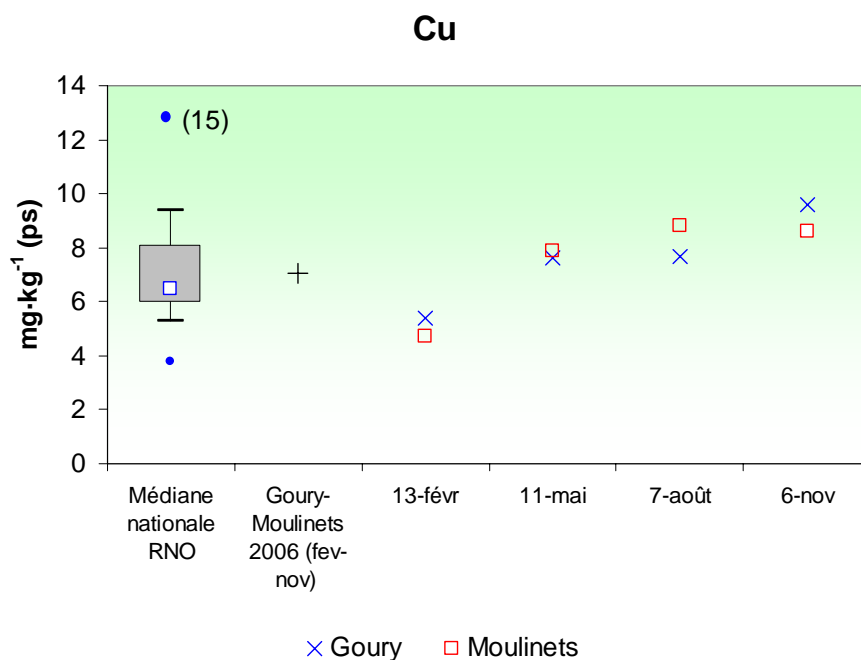


Figure 15 : Médiane des concentrations en cuivre (2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006

## 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.

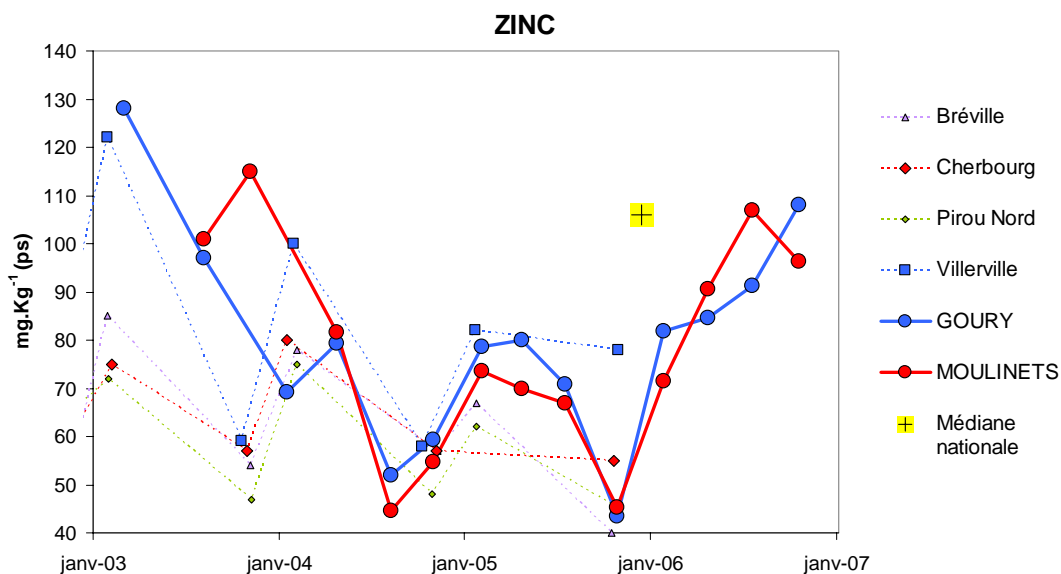
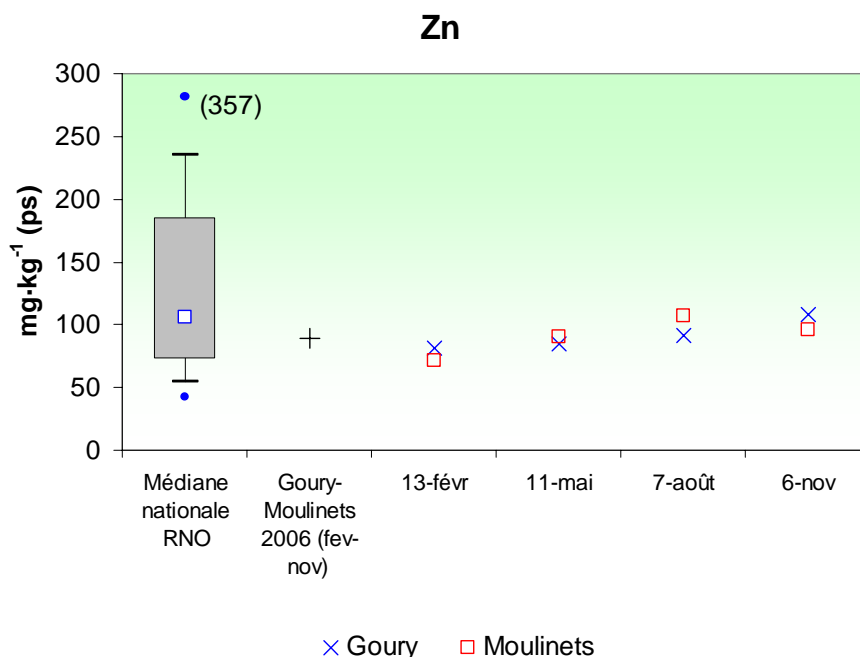


Figure 16 : Concentrations en zinc à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux jusqu'en 2005. Rappel de la médiane nationale (2003-2005)

Les concentrations en zinc en 2006 ont connu une forte croissance, avec des teneurs minimales, enregistrées en février, similaires aux plus fortes concentrations de 2005 (figure 16). Après deux années de décroissance des concentrations en zinc, 2006 semble marquer le retour à des valeurs proches de celles déjà mises en évidence en 2003. Nous constatons cependant, que les plus fortes teneurs de 2006 se situent au même niveau que la médiane nationale.

La figure 17 présente la médiane nationale RNO 2003-2005 (février et novembre) avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. L'ensemble des concentrations observées à Goury et aux Moulinets en 2006 oscille à l'intérieur dans la limite basse de la boîte contenant 50 % de valeurs observées par le RNO entre 2003 à 2005 sur l'ensemble de la France métropolitaine (Corse incluse).



**Figure 17 : Médiane des concentrations en zinc (2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

La moyenne 2006 des teneurs mesurées en février et novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est inférieure à la médiane nationale 2003-2005 (février et novembre). Une faible différence est observée entre les deux points d'échantillonnage suivis.

## COBALT

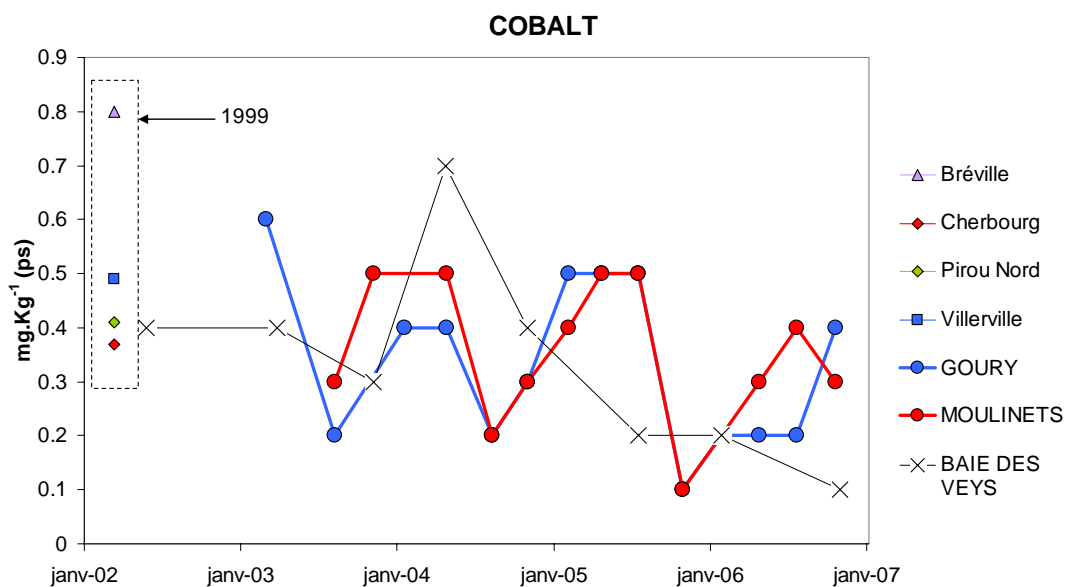
Le cobalt se trouve sous forme organique et inorganique dans tous les milieux terrestres et aquatiques du globe. A l'état pur est un métal dur et brillant. Leur concentration moyenne dans la croûte terrestre est de 8 ppm et il est considéré

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  $\text{B}_{12}$  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  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Dans la chair des bivalves ont été observées des concentrations de 3,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en hiver dans le Devon (Angleterre) et de 1,9  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  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).

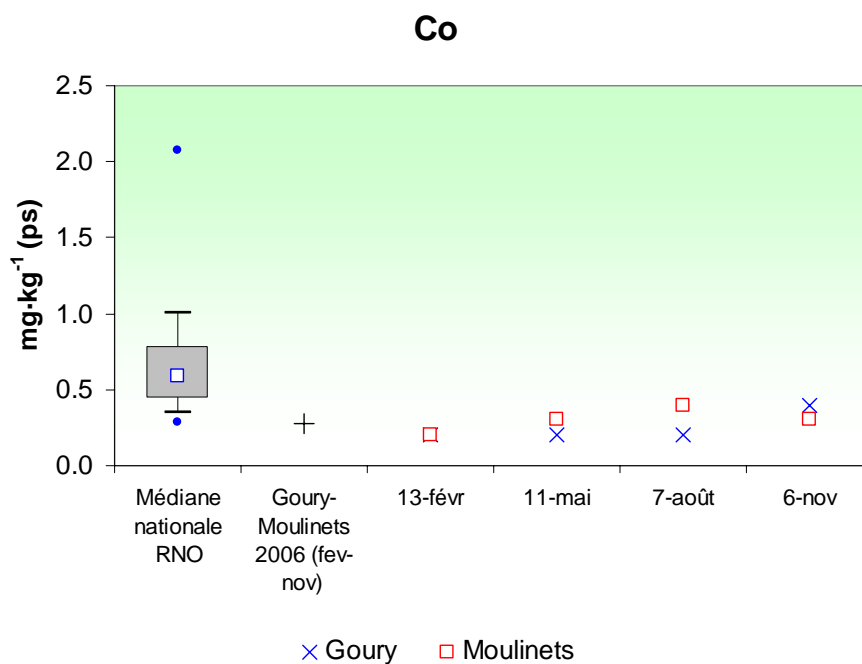
Les concentrations observées aux points Goury et Moulinets en 2006 sont relativement stables par rapport à celles déjà enregistrées entre 2003 et 2005 (figure 18). Le point Moulinets semble cependant présenter une diminution de ces teneurs. Comme pour l'ensemble de concentrations de métaux lourds en 2006, nous observons les plus fortes au point Moulinets en août et à Goury en novembre. Les concentrations en cobalt en baie de Veys sont en diminution depuis février 2004 et restent dans la plage de celles observées sur les sites régionaux en 1999, hors Bréville.



**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 2006. L'ensemble de teneurs observées à Goury et aux Moulinets en 2006 se situe en dessous de la médiane observée par l'IFREMER en 1999 sur

l'ensemble de la France métropolitaine. La moyenne 2006 des teneurs de février et de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est très inférieure à la médiane nationale 1999 (février et novembre). Une faible différence est observée entre les concentrations des deux points d'échantillonnage suivis, sauf au mois d'août, où la teneur du point Moulinets est sensiblement supérieure à celle de Goury.

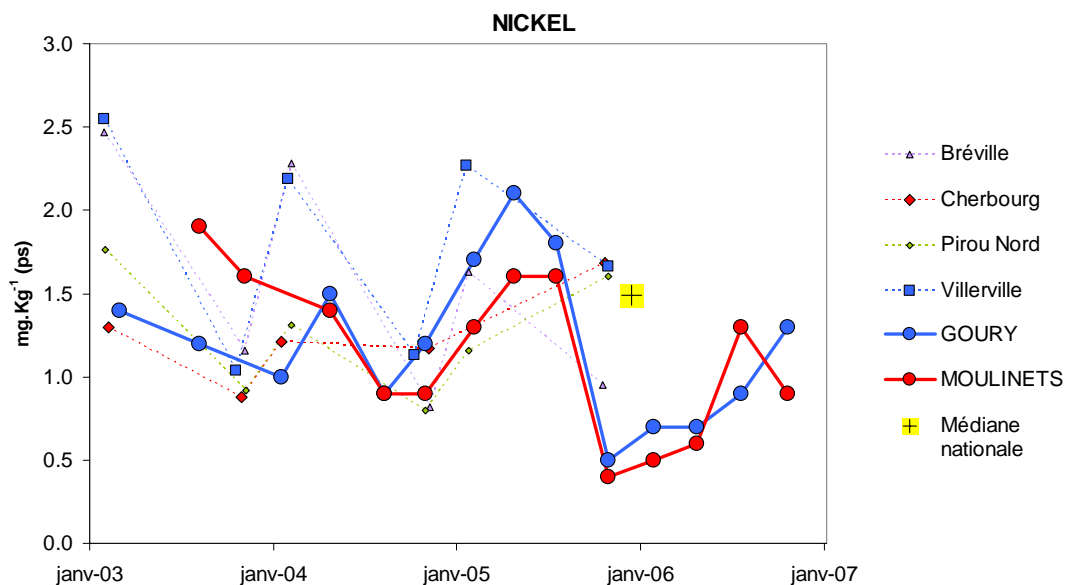


**Figure 19 : Médiane des concentrations en cobalt en 1999, moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

## 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.





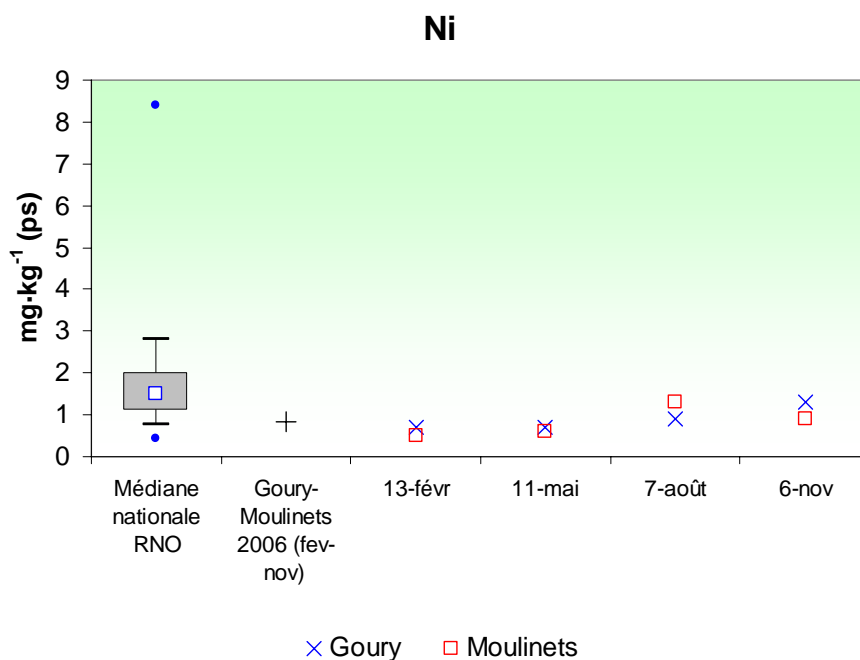
**Figure 20 : Concentrations en nickel à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux jusqu'en 2005. Rappel de la médiane nationale (2003-2005)**

Le nickel présente en 2006 une baisse de concentration en fin d'année sur le point Moulinets uniquement. Malgré ceci, nous observons une tendance décroissante globale des teneurs depuis 2003. Les concentrations obtenues aux points Goury et Moulinets en 2005, sont du même ordre de grandeur que celles observées par le RNO au niveau national. En 2006, 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 2003 à 2005 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 en février et mai sont en dessous de la moyenne 2006 (février et novembre), tandis qu'en août et novembre elles se situent au-dessus.

Les teneurs enregistrées au mois de février sont proches de la concentration minimale observée sur le plan national. La moyenne 2006 des teneurs de février et de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est très inférieure à la médiane nationale.

Une faible différence est observée entre les concentrations des deux points d'échantillonnage suivis. Encore une fois, au mois de novembre la valeur au point Goury est supérieure à celle observée au Moulinets.



**Figure 21 : Médiane des concentrations en nickel (2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

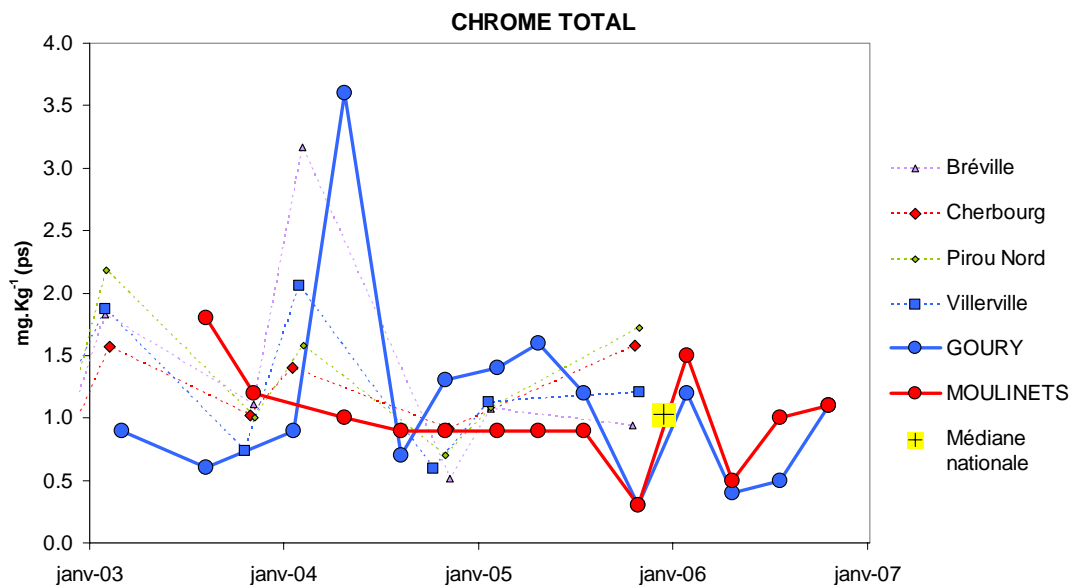
## CHROME

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 une baisse significative entre février et mai, avant de remonter régulièrement jusqu'au mois de novembre (figure 22). C'est au mois de février que les teneurs maximales de l'année sont observées, teneurs qui sont tout à fait comparables à celles déjà mises en évidence en 2005. En février 2005, les concentrations en chrome aux points Goury et Moulinets encadrent celles des points régionaux RNO, le point Goury présentant les plus fortes valeurs. Au mois de novembre 2005 toutes les teneurs mesurées sur les points RNO sont supérieures à celles observées à Goury et Moulinets.

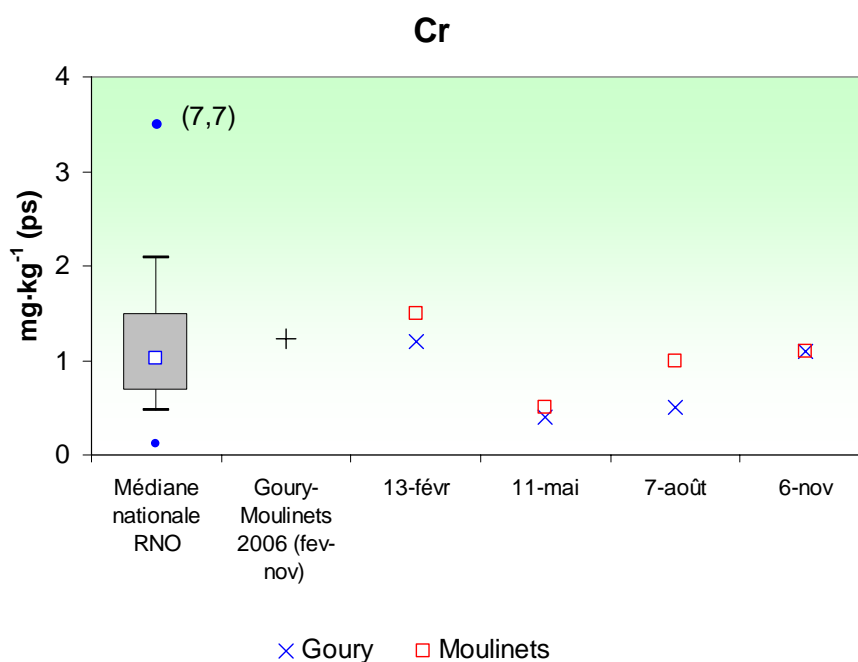
La figure 23 présente la médiane nationale obtenue lors de la campagne de mesures RNO de 2003 à 2005 avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées en mai, août et novembre sont proches ou inférieures à la médiane nationale, tandis qu'en février elles sont supérieures. Contrairement aux deux années précédentes, en 2006 les teneurs aux Moulinets sont supérieures à celles observées au point Goury.

Le plus fort écart entre ces deux points (0,5 mg/kg) est enregistré au mois d'août, et le plus faible en novembre.



**Figure 22 : Concentrations en chrome à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux jusqu'en 2005. Rappel de la médiane nationale (2003-2005)**

La moyenne des teneurs de février et novembre 2006 pour les deux points d'échantillonnage est supérieure à la médiane nationale 2003-2005 (février et novembre) de 0,2 mg/kg.



**Figure 23 : Médiane des concentrations en chrome (2003-2005), moyenne 2006 des teneurs de février et novembre (+), et valeurs à Goury et aux Moulinets en 2006**

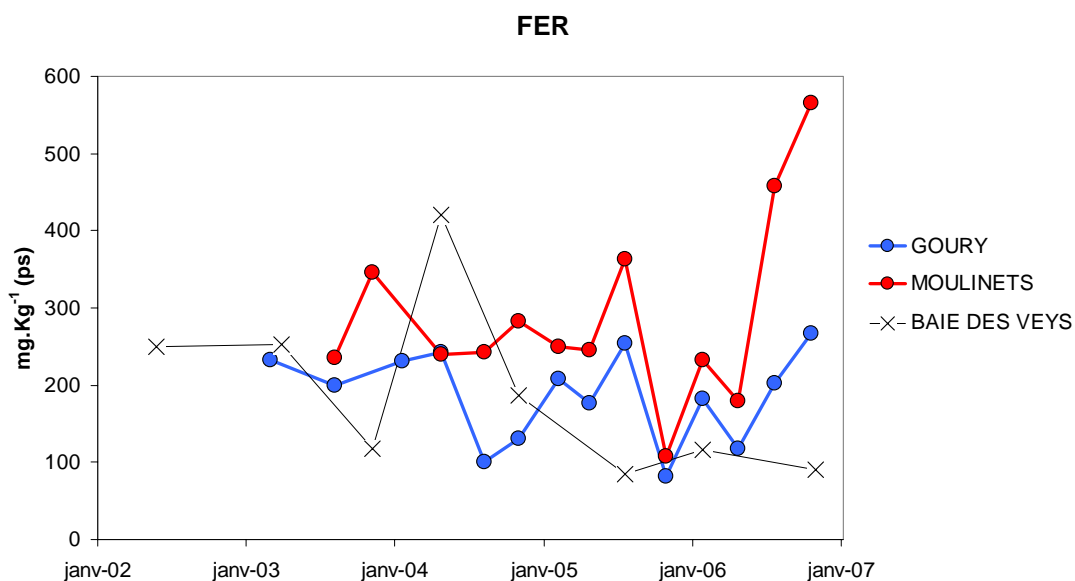
## FER

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 2006, après une chute de concentrations en mai, les concentrations au point Moulinets atteignent la valeur maximale de la série, avec 566 mg/kg.



**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.

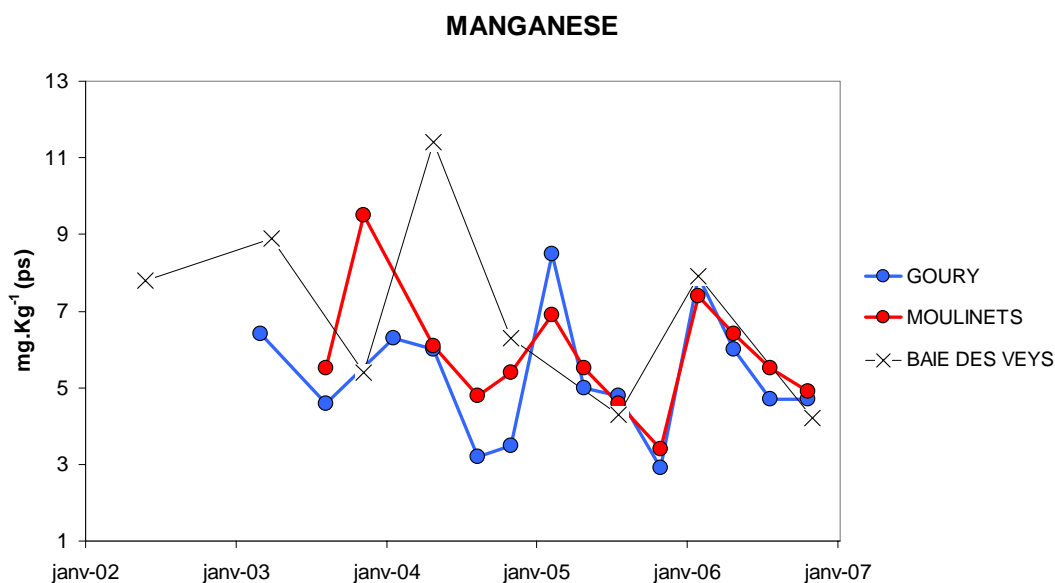


Figure 25 : Évolution des concentrations en manganèse des lots de moules sur le gisement de la baie des Veys, à Goury et aux Moulinets

Contrairement aux autres métaux, les concentrations en manganèse connaissent une décroissance régulière sur les deux points de suivi sur toute la période 2006

(figure 25). Cette décroissance suit également de très près les valeurs constatées sur le lot de moules témoin de la baie de Veys.

### 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 plus fortes concentrations en aluminium, observées au début d'année, sont suivies d'une diminution en mai et des faibles variations en août et novembre (figure 26). 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.

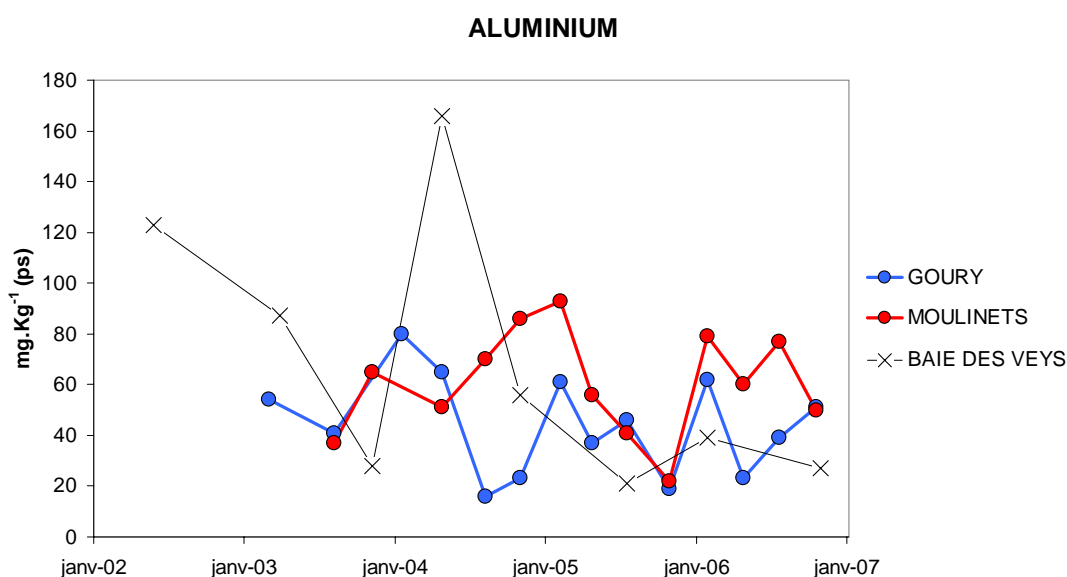


Figure 26 : Évolution des concentrations en aluminium des lots de moules sur le gisement de la baie des Veys, à Goury et aux Moulinets

### 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

Les tableaux 3 et 4 présentent les teneurs en pesticides (Lindane, DDT et ses métabolites) et PCB (CB<sub>153</sub>) mesurées sur les lots de moules étudiés.

GOURY		Pesticides			PCB
Date	DDT	DDE	DDD	$\gamma$ HCH	CB153
13/02/2006	0,7	1	1,4	<0,5	12,3
11/05/2006	1,1	1	1,3	<0,5	14,3
07/08/2006	1,1	1,3	1,7	<0,5	16,7
06/11/2006	2,1	0,6	1,6	<0,5	9,7

MOULINETS		Pesticides			PCB
Date	DDT	CB153	DDD	$\gamma$ HCH	CB153
13/02/2006	<0,5	0,9	0,8	<0,5	10,6
11/05/2006	0,5	1,1	0,8	<0,5	12
07/08/2006	<0,5	0,9	1,4	<0,5	11
06/11/2006	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,2

Tableau 3 : Concentrations en pesticides et PCB des lots de moules pour les points AREVA de Gourey et Moulinets ( $\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  [ps]) en 2006

#### 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.

Les concentrations en DDT et ses métabolites restent relativement stables depuis le début de la surveillance (figure 27). 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.

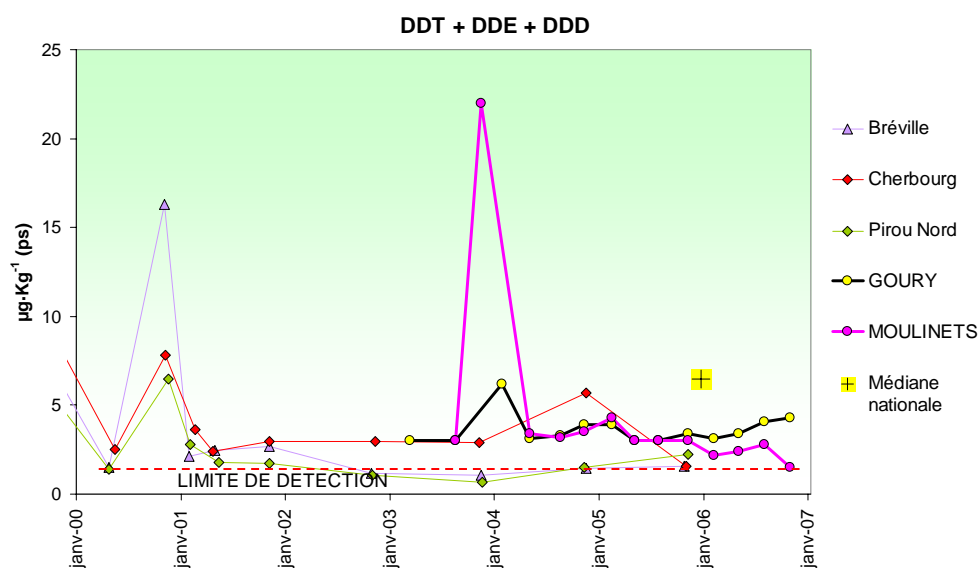


Figure 27 : Concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury, aux Moulinets et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale (2003-2005)

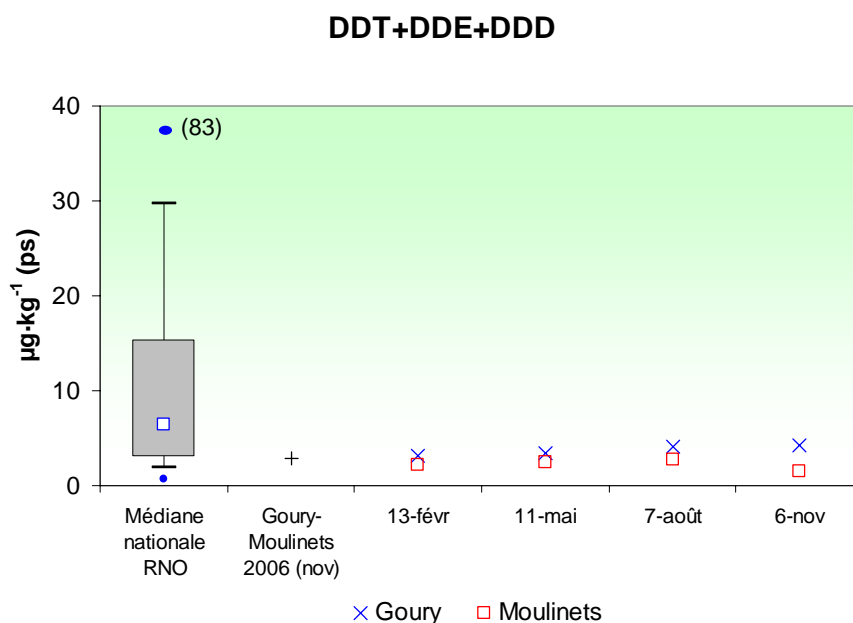


Figure 28 : Concentrations en DDT+DDD+DDE à Goury et aux Moulinets en 2006, moyenne 2006 de novembre (+), et médiane nationale 2003-2005 (novembre)

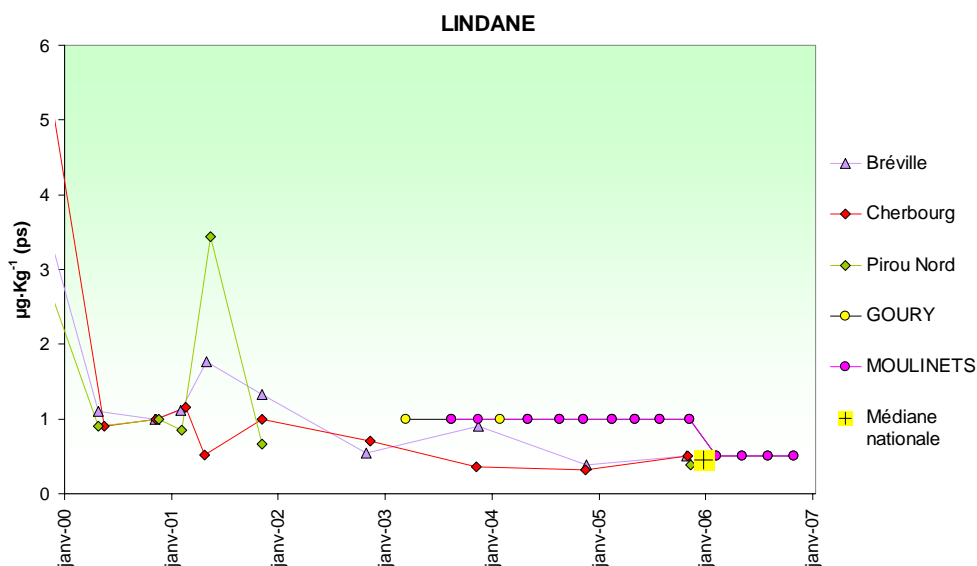


La figure 28 présente la médiane nationale RNO 2003-2005 (novembre) avec sa dispersion ainsi que les teneurs observées aux points Goury et Moulinets pour chaque date de prélèvement. Les concentrations observées à Goury et aux Moulinets tout le long de l'année se situent dans la partie inférieure de la boîte contenant 50 % des valeurs observées par le réseau RNO sur l'ensemble de la France métropolitaine (Corse incluse).

La moyenne 2006 des teneurs de novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est inférieure à la médiane nationale 2003-2005.

### $\gamma$ 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 en 2006, sur les sites RNO régionaux et médiane nationale 2003-2005 (novembre)**

Nous observons une diminution des concentrations en lindane sur les points régionaux du réseau RNO, conséquence logique de l'interdiction de son usage depuis 1998 (figure 29). Par contre, pour les échantillons de AREVA, les seuils de détection analytique sont encore trop élevés pour rendre la série exploitable malgré la diminution du seuil de détection de 1 à 0,5  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ps) en 2006. Les concentrations actuellement observées par le RNO sont toutes inférieures à la limite de détection de l'étude AREVA.

La figure 30 présente la médiane nationale 2003-2005 (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

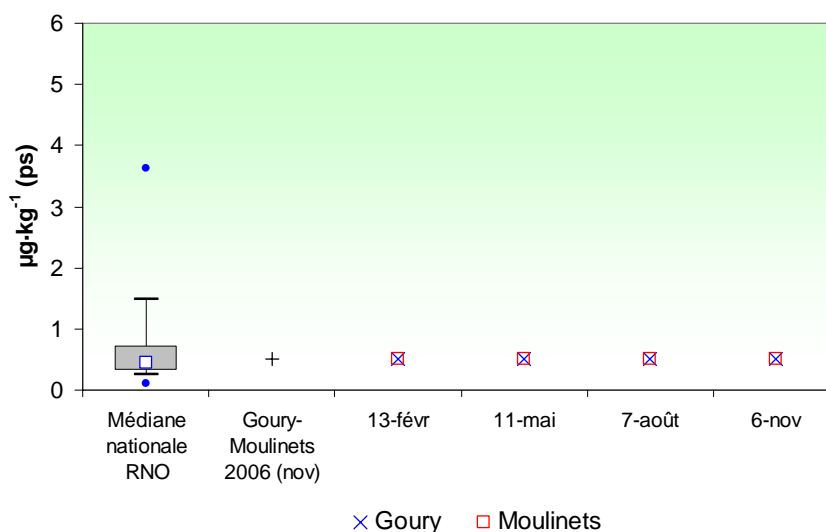


Figure 30 : Concentrations en Lindane à Goury et aux Moulinets en 2006, moyenne 2006 de novembre (+), et médiane nationale 2003-2005 (novembre)

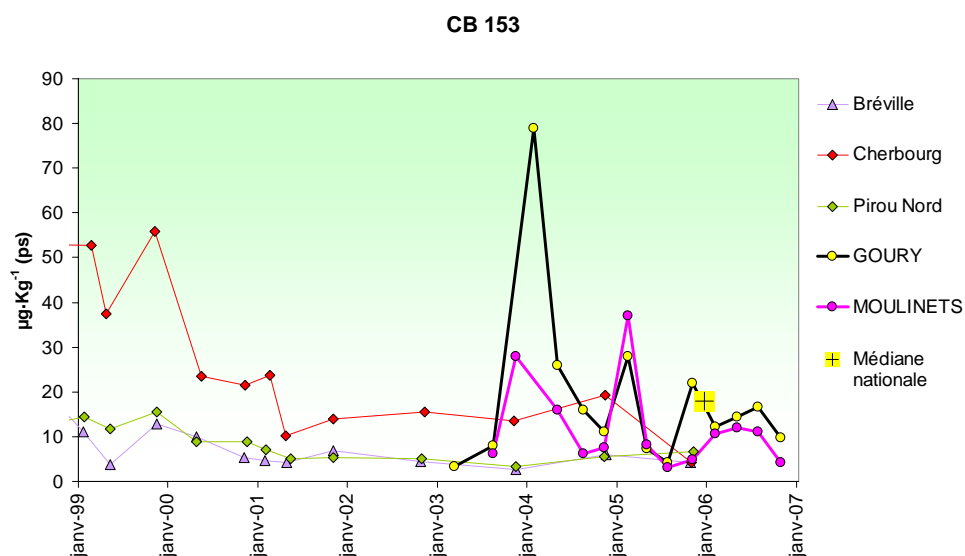
### POLYCHLOROBIPHENYLES (PCB)

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.

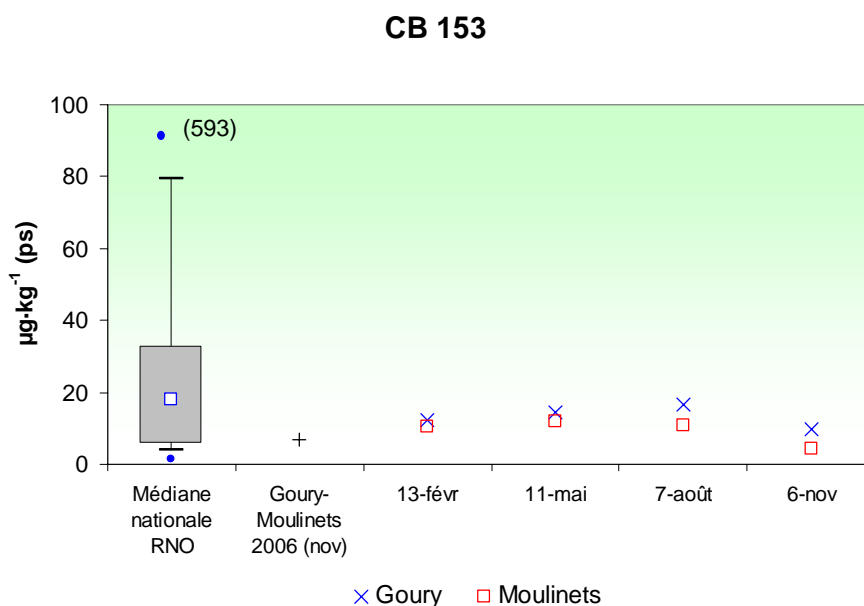
Depuis 2004, où le point Goury présentait des concentrations proches de  $80 \mu\text{g}/\text{kg}$ , les concentrations sont en décroissance (figure 31). En 2006 les concentrations en PCB des deux points suivis se situent en dessous de la médiane nationale. Elles atteignent en été leur maximum saisonnier et présentent une diminution au mois de

novembre. Les concentrations en PCB (CB<sub>153</sub>) des échantillons de Goury sont légèrement supérieures à celles de Moulinets.

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 inférieures à la médiane nationale 2003-2005 à partir de 2001. En novembre 2005, toutes les concentrations observées sur les points régionaux sont en dessous de 10 µg/kg



**Figure 31 : Concentrations en CB<sub>153</sub> à Goury et aux Moulinets en 2006 sur les sites RNO régionaux et médiane nationale 2003-2005**



**Figure 32 : Concentrations en Lindane à Goury et aux Moulinets en 2006, moyenne 2006 de novembre (+), et médiane nationale 2003-2005 (novembre)**

La figure 32 présente la médiane nationale 2003-2005 (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 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), à l'exception de la concentration enregistrée en novembre au Moulinets, qui se situe en dessous de cette boîte.

La moyenne 2006 des teneurs observées en novembre, pour les deux points d'échantillonnage, est très inférieure à la médiane nationale 2003-2005 (novembre). Les teneurs observées au point Moulinets en 2006 sont supérieures à celle mesurées à Goury sur les quatre dates de prélèvements.

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

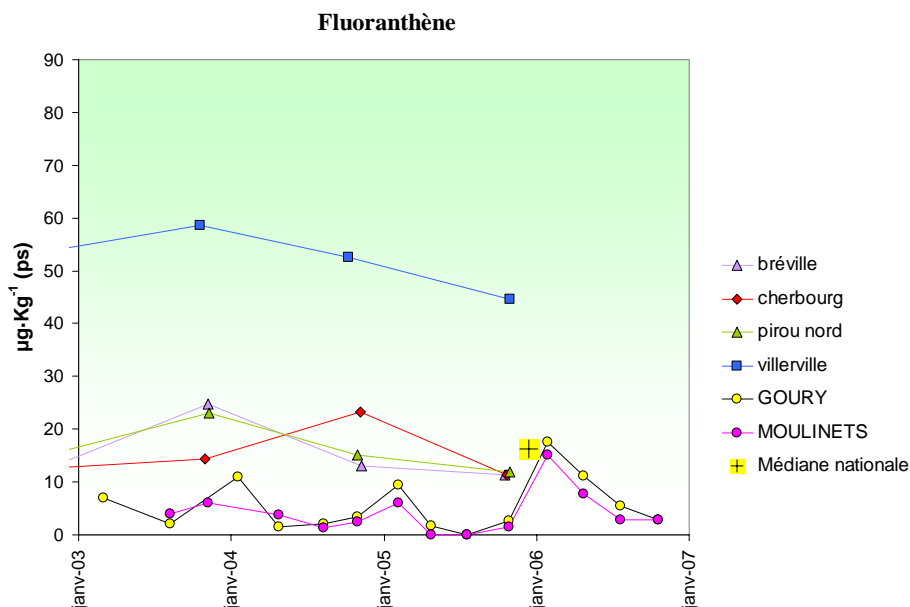
Les HAP présents dans l'environnement résultent de différents processus : la biosynthèse par les organismes vivants, les pertes à partir du transport, la pyrolyse des matières organiques à haute température, les feux de forêts ou l'utilisation des carburants fossiles, charbons, pétroles. La combustion 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 2006.

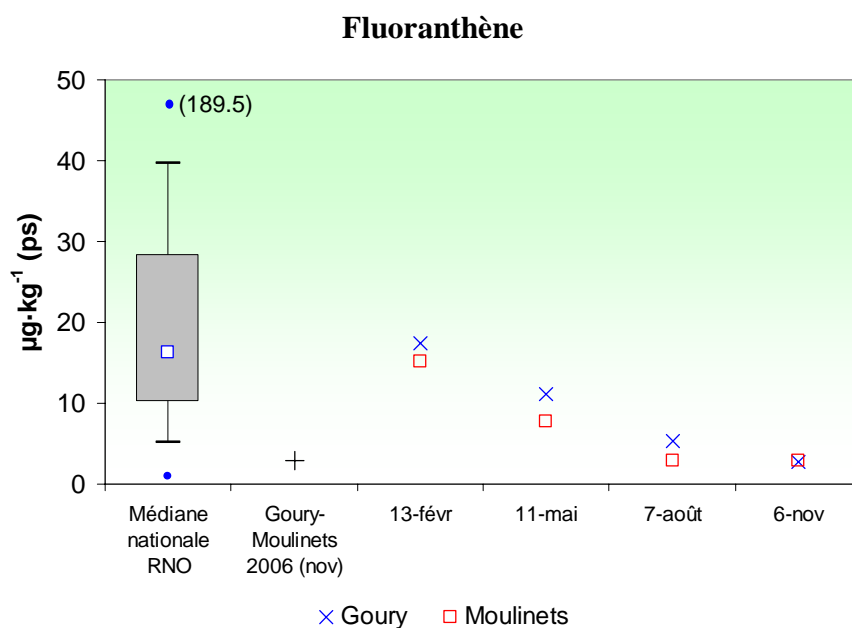
Date	Goury	Moulinets
13/02/2006	17,5	15,2
11/05/2006	11,1	7,7
07/08/2006	5,4	2,9
06/11/2006	2,8	2,9

Tableau 4 : Concentrations de fluoranthène pour les points Goury et Moulinets en 2006 en  $\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  (ps)



**Figure 33 : Concentrations en fluoranthène à Goury et aux Moulinets en 2006 et sur les sites RNO régionaux. Rappel de la médiane nationale 2003-2005 (novembre)**

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 2003-2005 au niveau national, où le maximum a atteint 189,5 µg/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.



**Figure 34 : Concentrations en fluoranthène à Goury et aux Moulinets en 2006, moyenne 2006 de novembre (+), et médiane nationale 2003-2005 (novembre)**

La figure 34 présente la médiane nationale obtenue lors des campagnes de mesures RNO de 2003 à 2005 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. Les valeurs du point Goury sont supérieures à celles de Moulinets de février à août. En novembre, les deux concentrations sont similaires.

### 3.5. Approche statistique

Le faible nombre de valeurs qui compose la série de données, rend les tendances sensibles aux années, 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 pas, pour les deux points de suivi, de pente significative de la droite de régression, sauf pour le cas du nickel au point Moulinets, où une diminution est constatée.

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 et l'aluminium ont présenté de différences significatives entre les points Goury et Moulinets au seuil de 95 %, le PCB se trouvant juste dans la limite de signification avec 0,053.

	Tableau A				Tableau B	
	GOURY		MOULINETS		GOURY/MOULINETS	
	<i>p</i>	Tendance	<i>p</i>	Tendance	<i>p</i>	résultat
<b>Métaux</b>						
PB	0,096	↔	0,310	↔	0,61	=
HG	0,574	↔	0,459	↔	0,35	=
CD	0,899	↔	0,980	↔	0,34	=
NI	0,383	↔	<b>0,045</b>	↓	0,33	=
CR	0,394	↔	0,211	↔	1,00	=
CU	0,065	↔	0,085	↔	0,67	=
CO	0,237	↔	0,396	↔	0,34	=
ZN	0,806	↔	0,943	↔	0,43	=
Al	0,381	↔	0,943	↔	<b>0,02</b>	≠
Fe	0,698	↔	0,221	↔	<b>0,00</b>	≠
Mn	0,827	↔	0,326	↔	0,18	=
<b>Organochlorés</b>						
DDT+DDE+DDD	0,980	↔	0,115	↔	0,182	=
Lindane	1,000	↔	1,000	↔	1,000	=
PCB - CB153	0,396	↔	0,318	↔	0,053	=
<b>HAP</b>						
Fluoranthène	0,598	↔	0,610	↔	0,115	=

Tableau 5 : 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 (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.

Les seules différences significatives entre les deux points d'échantillonnage sont observées pour le fer et l'aluminium.

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 2003-2005 (février et novembre) avec la moyenne des analyses 2006 pour chaque paramètre dans la même période, nous observons que les moyennes 2006 se situe en règle générale à l'intérieur de la boîte contenant 50 % des valeurs nationales et très en dessous du seuil administratif européen pour les métaux qui sont réglementés. Pour les paramètres cobalt, nickel, PCB (CB<sub>153</sub>) et HAP (fluoranthène), les moyennes 2006 se situent très en dessous de la médiane nationale.

Pour les métaux, nous constatons au point Goury, une augmentation régulière des concentrations de février à novembre, tandis qu'au point Moulinets la teneur enregistrée au mois de novembre a été généralement inférieure à celle d'août. Les concentrations en fer présentent une forte croissance en août et novembre, croissance qui reste pour le moment sans explication. Le cycle saisonnier observé en 2005, où les concentrations en métaux lourds augmentaient de l'hiver vers l'été, pour redescendre en novembre, n'a pas été observée par la plupart de métaux.

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 pesticides, PCB et HAP, les teneurs observées au Moulinets en 2006 se situent en dessous de la concentration du point Goury. La moyenne de ces deux points en novembre reste également très inférieure à la médiane nationale 2003-2005 (novembre). Le Lindane, même avec une diminution du seuil de détection à  $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  [ps], ne présente pas de variations, ce qui suggère des concentrations inférieures.

L'étude statistique sur l'ensemble de données enregistrées depuis 2003 met en évidence des oscillations saisonnières avec une stabilité pluriannuelle. Seul le nickel, pour le point Moulinets présente une tendance à la diminution. Bien que localement sur une année nous observions des différences des concentrations entre les deux points de suivi, l'étude statistique met en évidence de différences significatives des séries uniquement pour le fer et l'aluminium.

En conclusion, en 2006 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., 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., STANISIÈRE, 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.

STANISIÈRE, 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.

STANISIÈRE, 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.