

## **CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS DES OISEAUX MARINS ET DES MARSOUINS DE LA MER DU NORD**

**Nathalie ANTOINE<sup>1</sup>, Isabelle JANSEGERS<sup>1</sup>, Ludo HOLSBECK<sup>2</sup>,**

**Claude JOIRIS<sup>2</sup> et Jean-Marie BOUQUEGNEAU<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup> Océanologie, Université de Liège, Sart Tilman B6, B-4000 Liège, Belgique**

**<sup>2</sup> Laboratory for Ecotoxicology, Free University of Brussels (VUB)**

**Pleinlaan, 2, B-1050 Brussels, Belgium**

### **HEAVY METAL CONTAMINATION OF SEABIRDS AND PORPOISES IN THE NORTH SEA**

#### **ABSTRACT**

In the North Sea, the contamination level of Cd in porpoises, Zn and Cu in seabirds and Hg in both appear to be very high. The other studied metals (Cr, Ti, Fe, Pb) concentrations are comparable to literature.

Seabirds and porpoises are located at top of the food chains, however their use as bioindicators of the contamination level of the ecosystem they are feeding on remains debatable. Actually many differences appear in both the contamination level and the storage and detoxification mechanisms from a species to another.

**Mots-clés.:** Marsouins, oiseaux marins, métaux lourds, détoxicification.

**Keywords.:** Porpoises, seabirds, heavy metals, detoxification.

## **INTRODUCTION**

La Mer du Nord est une des mers les plus productives et les plus polluées du monde. Les polluants qui proviennent pour une grande part des rejets industriels en amont des estuaires s'adsorbent sur la matière organique particulière, ils contaminent ainsi les réseaux trophiques pélagiques et benthiques. Les oiseaux et les mammifères marins, au sommet des réseaux trophiques, concentrent les polluants présents dans leurs proies. Leur position particulière les rend très vulnérables à toute modification de l'environnement marin. Ainsi, les pêches, la disponibilité en nourriture et la pollution vont être des facteurs déterminants pour l'évolution et parfois même pour la survie de certaines espèces.

Le pétrole est un polluant qui peut provoquer de graves dommages aux organismes vivant en mer. L'altération du plumage des oiseaux va accroître leur sensibilité au froid et l'utilisation des réserves énergétiques que seul un apport important de nourriture pourrait combler, mais la faiblesse des animaux va les empêcher de voler et de pêcher. En outre, l'ingurgitation de mazout favorise la formation sur la muqueuse gastrointestinale d'un film gras qui sera une entrave à l'assimilation des aliments. Il en résulte que, uniquement sur la côte belge, 4000 à 6000 oiseaux sont rejettés chaque hiver. Les PCBs et les métaux lourds peuvent également provoquer des altérations et notamment une réduction de la fonction immunitaire (Wassermann *et al.*, 1979). Une fragilité accrue pourrait être la cause de certains échouages ou de certaines épidémies essentiellement de type viral. En 1984, de nombreux phoques captifs hollandais sont morts probablement à cause d'un virus de l'herpès spécifique des phoques (Dietz *et al.*, 1989); plus récemment, en 1988, 75 % de la population de phoques veaux marins sont morts suite à une infection virale en Mer du Nord et en Mer Baltique, soit 17.000 individus.

Nous nous sommes associés, dans le cadre de nos travaux au sein des Actions Concertées, à un programme de collaboration entre biologistes et vétérinaires. Le programme NORSAP (North Sea Animal Program), lancé par le Ministère belge de la Santé Publique et de l'Environnement et la CEE, a pour objet l'étude des cadavres des mammifères marins et d'oiseaux échoués sur les côtes belges. Il comporte plusieurs volets:

- l'identification des cadavres;
- les autopsies;
- l'identification des parasites;
- des analyses bactériologiques;
- des analyses toxicologiques.

L'intérêt d'examiner la contamination des oiseaux et des mammifères est évident dans le cadre d'une étude de la circulation des polluants dans les écosystèmes du plateau continental nord ouest européen. En effet, ces animaux sont situés au sommet des chaînes trophiques et donc supposés intégrer l'ensemble de la contamination des réseaux à partir desquels ils se nourrissent. Tous les toxiques accumulés aux échelons inférieurs peuvent s'y concentrer et éventuellement provoquer des dommages physiologiques. Les oiseaux et les mammifères, particulièrement contaminés par les polluants stables, constituent donc des bioindicateurs potentiels.

Dans ce travail, nous avons analysé quatre espèces d'oiseaux et une espèce de mammifère.

- 1) Le guillemot de Troïl (*Uria aalge*): cette espèce, typiquement pélagique, appartient à la famille des Alcidés. Il se nourrit essentiellement de poissons en été et de crustacés, d'annélides et de mollusques en hiver (Bradstreet and Brown, 1985).
- 2) La mouette tridactyle (*Rissa tridactyla*): également pélagique, à régime alimentaire relativement semblable à celui du guillemot de Troïl, bien qu'un faible pourcentage de matière végétale entre dans sa ration alimentaire. Cette espèce fait partie de la famille des Laridés (Dif, 1982).
- 3) La mouette rieuse (*Larus ridibundus*): qui appartient à la même famille que la mouette tridactyle, mais dont le régime alimentaire et la distribution géographique sont fort différents. Elle se nourrit de petits mammifères, d'invertébrés, de poissons, de céréales, mais aussi d'immondices ! Elle vit sur les côtes et à l'intérieur des terres (Dif, 1982).
- 4) La macreuse noire (*Melanitta nigra*): Anatidé migrateur qui, en été, reste dans les régions nordiques mais vient, entre autres, sur la côte belge en hiver. Son régime alimentaire est essentiellement constitué de bivalves et de gastéropodes (Cramp, 1982).
- 5) Le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) qui se nourrit surtout de poissons (harengs, morues,...) (Bonner, 1989).

La contamination par les métaux lourds se fait essentiellement par la prise de nourriture qui, éventuellement, s'est contaminée aux échelons inférieurs du réseau trophique. A chaque niveau, les animaux vont assimiler, stocker, détoxifier ou éliminer certains métaux lourds avec des moyens propres à chaque groupe zoologique, à chaque famille, voire à chaque espèce. L'âge est également un facteur qui peut avoir un rôle prépondérant. Ceci montre toute la complexité qui englobe le problème de la pollution et les moyens de la mesurer.

## **MATERIEL ET METHODES.**

Les oiseaux analysés ont été récoltés sur les plages ou dans les asiles de la côte belge (Ostende, Nieuport, Blankenberge, le Zwin). Les mammifères marins sont des animaux qui soit sont venus s'échouer sur les côtes (belges ou danoises) soit ont été pris dans les filets de pêche. Les organes analysés sont le foie, le muscle et, pour les marsouins, le rein.

Le mercure total a été dosé selon la méthode décrite par Bouquegneau (1975). Les autres métaux analysés (zinc, plomb, cadmium, fer, chrome, cuivre, titane) ont été dosés au moyen d'un spectromètre I.C.P.S. (modèle 3510) après minéralisation du tissu sec par un ajout d'acide nitrique concentré (référence 456 Merck) et passage au bain-marie (de 20 à  $\pm$  80 °C). Le sélénium a été analysé électrochimiquement par voltamétrie de redissolution inverse dans le laboratoire de chimie analytique de l'Université de Liège par Monsieur R. Machiroux. Les métallothionéines ont été détectées selon une méthode décrite par Noël-Lambot (1980). Les lipides ont été mis en évidence par la méthode de Barnes & Blackstock (1973).

## RESULTATS ET DISCUSSION.

### A. TENEURS EN METAUX LOURDS.

#### 1. Oiseaux.

Chez les oiseaux (Tableaux 1 et 2), certains métaux se trouvent en concentrations semblables à celles décrites dans la littérature: c'est le cas du fer et du chrome dont les teneurs sont même légèrement plus faibles que celles obtenues chez d'autres espèces (Honda *et al.*, 1986; Thompson, 1990). Les teneurs en cadmium sont également plus faibles que celles rapportées par Thompson (1990). Cependant, l'espèce la plus contaminée par ce métal, la mouette rieuse, a des teneurs plus élevées que celles obtenues par Leonzio *et al.* (1986) (respectivement 3.9 et 0.2 µg/g de poids sec dans les foies et les muscles de mouettes rieuses récoltées sur la côte italienne). Les teneurs moyennes en plomb sont faibles, ce qui n'exclut pas que certains individus soient relativement contaminés par rapport aux données concernant des hérons garde-boeufs provenant de la Baie de Galveston, Texas (site particulièrement contaminé par ce métal: 0.6 µg/g poids frais de foie et 0.4 µg/g poids frais de muscle) (Hulse *et al.*, 1980). Le zinc et le cuivre, deux métaux essentiels, se trouvent en concentrations importantes par rapport aux données de Thompson (1990) chez certains individus pour le zinc et sur l'ensemble de la population pour le cuivre, principalement chez la mouette rieuse et la macreuse noire. Le mercure est en concentration la plus importante chez le guillemot et la macreuse mais néanmoins reste du même ordre de grandeur que celles décrites par Leonzio *et al.* (1986) pour ces mêmes espèces. La mouette tridactyle par contre, moins chargée en mercure que les espèces précédentes, montre des teneurs plus élevées que celles décrites par Braune (1987) pour des mouettes tridactyles récoltées dans le New Brunswick au Canada. La mouette rieuse, qui vit sur les côtes mais aussi à l'intérieur des terres, est la moins chargée en ce métal.

**Tableau 1:** Teneurs en métaux lourds (exprimées en µg/g PS) dans les foies de *Uria aalge*, *Rissa tridactyla*, *Larus ridibundus* et *Melanitta nigra*. (x = moyenne; n = effectif de l'échantillon; SD = écart type).

	Guillemot de Troll		Mouette tridactyle		Mouette rieuse		Macreuse noire	
	x	SD	x	SD	x	SD	x	SD
Zn	(n=54)		(n=7)		(n=6)		(n=10)	
	158.8	39.1	176.4	61.5	397.5	518.0	246.8	66.1
	0.8	1.7	1.0	3.0	0.7	5.7	1.8	1.2
	3.0	2.1	4.8	4.9	7.6	10.2	4.1	3.4
	2837.7	1455.6	1025.5	891.3	4269.9	3180.0	4884.2	1368.2
	0.3	0.6	0.1	0.2	0.0	0.3	0.1	0.1
Cr	51.0	20.6	34.7	16.7	87.3	168.4	63.9	41.8
	0.3	1.1	0.5	1.2	0.7	1.3	0.3	1.5
Hg	(n=51)		(n=9)		(n=8)		9.5	7.2
	8.5	5.7	5.6	5.3	2.6	1.6		

**Tableau 2:** Teneurs en métaux lourds (exprimées en µg/g PS) dans les muscles de *Uria aalge*, *Rissa tridactyla*, *Larus ridibundus* et *Melanitta nigra*. (x = moyenne; n = effectif de l'échantillon; SD = écart type).

	Guillemot de Troïl		Mouette tridactyle		Mouette rieuse		Macreuse noire	
	x	SD	x	SD	x	SD	x	SD
Zn	(n=57)		(n=9)		(n=8)		(n=10)	
Pb	73.5	37.0	115.3	30.9	93.4	57.0	67.5	20.1
Cd	0.0	3.3	1.4	2.8	0.3	3.3	1.8	2.5
Fe	0.4	1.9	0.7	0.5	0.6	0.6	0.2	0.2
Cr	1010.2	1003.4	585.3	167.9	561.3	423.5	653.6	326.4
Cu	20.9	13.7	23.7	7.6	29.2	29.4	40.8	16.0
Ti	0.3	1.1	0.4	0.9	0.4	1.0	0.2	0.5
Hg	(n=51)		3.4	3.3	1.9	1.2	0.9	1.2
							2.1	1.4

## 2. Marsouins.

Les teneurs en métaux du foie, du muscle et du rein sont reprises dans le Tableau 3. Les teneurs hépatiques en cuivre, zinc, cadmium et plomb sont du même ordre de grandeur ou plus faibles que celles décrites par Andersen & Rebsdorff (1976), Morris *et al.* (1989) et Law *et al.* (1991) pour *Phocoena phocoena*. Au niveau du rein cependant, les teneurs en cadmium étaient particulièrement élevées chez les animaux belges.

La teneur en mercure est particulièrement élevée que ce soit au niveau du foie, du rein ou des muscles par rapport aux données de Gaskin *et al.* (1973), Gaskin *et al.* (1979) et Law *et al.* (1991), mais du même ordre de grandeur que celles décrites par Andersen & Rebsdorff (1976).

Le titane se trouve en concentrations faibles, voire nulles, excepté pour un individu. Des teneurs plus élevées pour d'autres organismes vivants en Mer du Nord, par exemple la moule commune (*Mytilus edulis*) (Gobert, 1991), supporteraient l'hypothèse d'une non-accumulation de ce métal le long de la chaîne trophique qui aboutit aux marsouins ou aux oiseaux.

**Tableau 3:** Teneurs en métaux lourds (exprimées en ppm PS) dans les foies, les muscles et les reins de *Phocoena phocoena*. (x = moyenne; n = effectif de l'échantillon; SD = écart type).

	Foie		Muscle		Rein	
	x	SD	x	SD	x	SD
Zn	165.9	98.8	68.6	30.9	97.7	24.4
Pb	1.6	3.2	1.0	1.4	0.8	1.2
Cd	0.4	0.3	0.2	0.2	1.5	2.1
Fe	2445.1	1295.6	1094.2	682.6	1143.7	569.8
Cr	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
Cu	52.1	82.2	6.9	3.8	16.3	6.5
Ti	0.0	0.0	1.4	6.1	0.0	0.0
Hg	65.2	133.1	4.1	4.8	7.7	6.9

### B. INDICE D'OBLIQUITE.

A partir des résultats individuels dont les moyennes ont été présentées dans les Tableaux 1, 2 et 3, nous avons calculé l'indice d'obliquité qui représente le rapport de la moyenne sur la médiane. Si ce rapport est voisin de 1, on a affaire à une population normale, c'est-à-dire qui "règule" bien l'élément considéré. Par contre, plus on s'éloigne de l'unité, plus la population, ou certains individus de la population, montrent des problèmes plus ou moins graves de régulation. Ceci est vrai pour autant qu'on ait affaire à un échantillon homogène.

Le Tableau 4 reprend les indices d'obliquité calculés chez les oiseaux et les marsouins pour le zinc, le fer, le cuivre et le mercure.

**Tableau 4:** Indice d'obliquité au niveau du foie chez les oiseaux (*Uria aalge*, *Rissa tridactyla*, *Larus ridibundus* et *Melanitta nigra*) et le marsouin commun (*Phocoena phocoena*).

INDICE D'OBLIQUITE AU NIVEAU DU FOIE CHEZ LES OISEAUX ET LES MARSOUINS.					
	<i>Guillemot de Troïl</i>	<i>Mouette tridactyle</i>	<i>Mouette rieuse</i>	<i>Macreuse noire</i>	<i>Marsouin commun</i>
Zinc	1.0	0.9	2.0	1.0	1.2
Fer	1.1	1.0	1.2	1.0	1.2
Cuivre	1.0	1.0	4.3	1.2	1.9
Mercure	1.2	1.9	1.2	1.3	8.3

Certains métaux montrent des problèmes graves de régulation. C'est le cas du zinc chez la mouette rieuse (1437 µg de Zn/g de poids sec ont été retrouvés chez un individu) et le cas du cuivre chez la mouette rieuse (où les concentrations atteignent dans un cas 430 µg/g de poids sec) et le marsouin (313 µg/g de poids sec). Le mercure pose également des problèmes, notamment chez la mouette tridactyle (la teneur maximale obtenue étant de 17.5 µg/g de poids sec alors que la moyenne chez cette espèce est de 5.6 µg Hg/g de poids sec) et chez le marsouin (teneurs allant jusque 456 µg/g de poids sec).

### C. NIVEAUX RELATIFS DE CONTAMINATION ENTRE LES ESPECES.

#### 1. Foie.

**Tableau 5:** niveaux relatifs de contamination du foie en métaux lourds.

Zn	Mr > Mn > Mt > Mc > Gt
Pb	Mn > Mc > Mt > Gt > Mr
Cd	Mr > Mt > Mn > Gt > Mc
Fe	Mn > Mr > Gt > Mc > Mt
Cr	Mc = Gt > Mt = Mn > Mr
Cu	Mr > Mn > Mc > Gt > Mt
Ti	Mr > Mt > Gt = Mn > Mc
Hg	Mc > Mn > Gt > Mt > Mr

Légende: Gt = *Guillemot de Troïl*  
 Mt = *Mouette tridactyle*  
 Mr = *Mouette rieuse*  
 Mn = *Macreuse noire*  
 Mc = *Marsouin commun*

La mouette rieuse (dont le régime alimentaire diffère de celui des trois autres espèces; en effet, il est loin d'être exclusivement lié au milieu marin) se distingue particulièrement, dans le cas du zinc, du cuivre du cadmium et du titane, par la plus

forte contamination et dans le cas du plomb, du mercure et du chrome, par la plus faible contamination. Les deux espèces d'oiseaux typiquement pélagiques, au régime alimentaire le plus semblable sont toujours groupées. Le guillemot est tantôt plus, tantôt moins contaminé que la mouette tridactyle. Les marsouins, se nourrissant essentiellement de poissons, mais aussi de crustacés et de mollusques, ont un niveau de contamination plus proche du guillemot et de la mouette tridactyle que des deux autres espèces.

Il semblerait donc que l'habitat et/ou le régime alimentaire soient plus importants que la parenté phylétique pour fixer les niveaux de contamination du foie des oiseaux marins.

## 2. Muscles.

Au niveau musculaire par contre, ce sont les deux espèces de mouettes qui sont toujours fort proches l'une de l'autre (sauf dans le cas du chrome).

**Tableau 6:** niveaux relatifs de contamination des muscles en métaux lourds.

Zn	Mt > Mr > Gt > Mc > Mn
Pb	Mn > Mt > Mc > Mr > Gt
Cd	Mt > Mr > Gt > Mc = Mn
Fe	Mc > Gt > Mn > Mt > Mr
Cr	Mt > Mn = Mc > Gt > Mr
Cu	Mn > Mr > Mt > Gt > Mc
Ti	Mc > Mr = Mt > Gt > Mn
Hg	Mc > Gt > Mn > Mt > Mr

Légende:  
 Gt = Guillemot de Troïl  
 Mt = Mouette tridactyle  
 Mr = Mouette rieuse  
 Mn = Macreuse noire  
 Mc = Marsouin commun

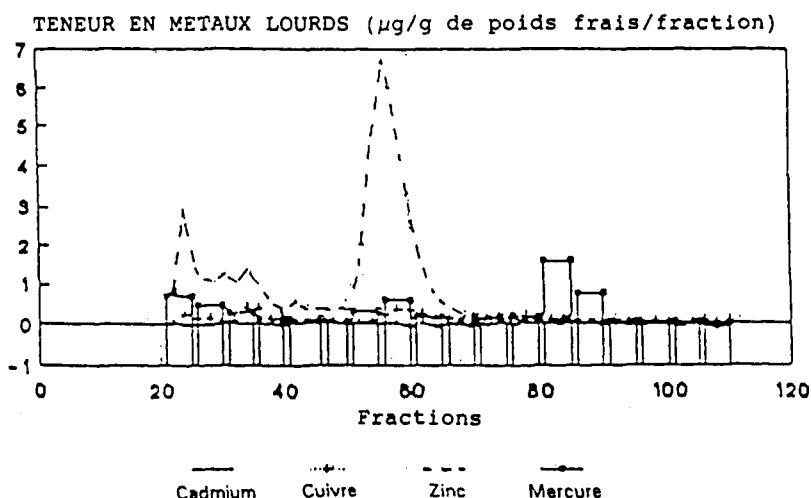
Le muscle, qui accumule et élimine les métaux moins rapidement que le foie serait, de ce point de vue, un organe moins dynamique et sa charge en métaux serait peu affectée par le niveau de contamination du milieu dans lequel il vit. Il semble que la parenté phylétique joue ici un rôle important.

L'accumulation des métaux avec l'âge dépend et des métaux, et des organismes. Elle est nette dans le cas du mercure chez le marsouin (Jansegers, 1991), du zinc et du cuivre chez les oiseaux (Antoine, 1991). Une élimination du mercure via la mue chez les oiseaux (Furness *et al.*, 1986) expliquerait vraisemblablement le peu de différence de concentration en ce métal entre les animaux jeunes et adultes.

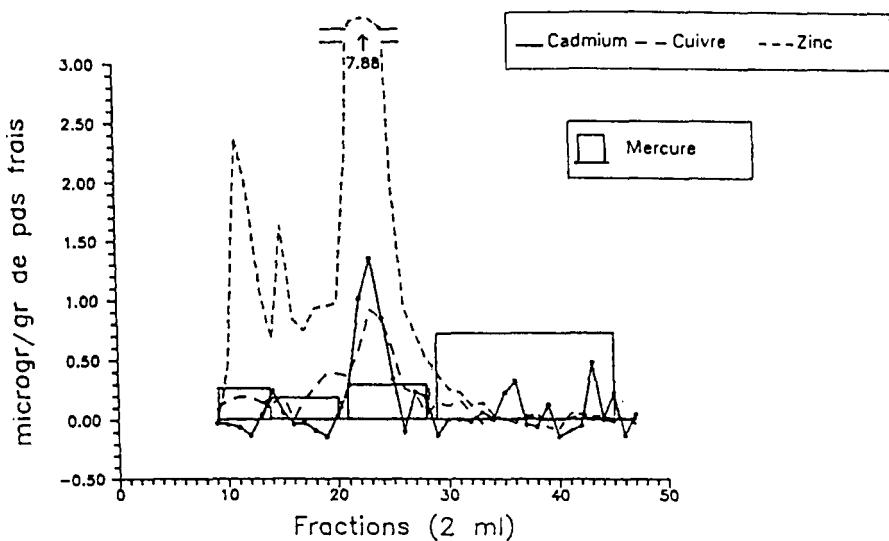
Chez les mammifères marins, un autre type d'élimination a été mis en évidence pour les PCBs: la gestation et la lactation (Aguilar & Borrell, 1988). Il semblerait que ce soit également le cas pour le chrome, le fer et peut-être le zinc. En effet, les charges en ces métaux étaient plus élevées chez un foetus que chez sa mère (Jansegers, 1991).

#### D. DETOXIFICATION.

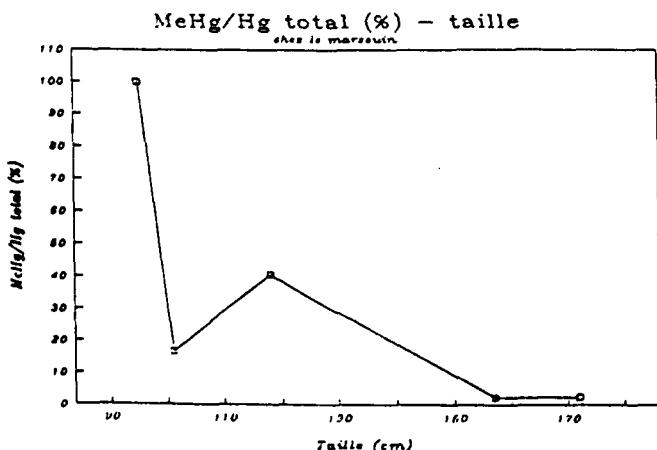
La synthèse de métallothionéines est un moyen utilisé par les oiseaux et les mammifères pour détoxifier les métaux lourds (Bouquegneau & Joiris, 1988). Ces protéines sont présentes en dehors de toute contamination mais leur synthèse peut être accrue par la présence de certains métaux. Ces molécules, de faible poids moléculaire, riches en cystéine, fixent une part importante de zinc, de cuivre et de cadmium lorsque ceux-ci se trouvent en concentrations importantes. Le mercure quant à lui, n'est fixé qu'en petite proportion sur des métallothionéines (figures 1 et 2). Chez le marsouin, une part se trouve sous forme inorganique, lié au sélénium. Un mécanisme de déméthylation du mercure organique pourrait se faire au sein des lysosomes du tissu hépatique (Martoja & Berry, 1980) au fur et à mesure de la croissance; en effet, plus l'animal est grand, plus la proportion de méthylmercure par rapport au mercure total diminue (figure 3).



**Figure 1:** Profil d'élation après passage sur une colonne AcA 54 d'un foie de marsouin commun (*Phocoena phocoena*).



**Figure 2:** Profil d'élution après passage sur une colonne AcA 54 d'un foie de mouette rieuse (*Larus ridibundus*).



**Figure 3:** Proportion de méthylmercure par rapport au mercure total en fonction de la taille, chez le marsouin commun. D'après Joiris *et al.*(1991).

Chez les oiseaux, il est fort peu probable que ce soit le cas. Aucune relation avec le sélénium n'a été mise en évidence et une part importante de mercure (60 à 80 %) se

trouve sous forme de méthylmercure (Antoine, 1991). Le méthylmercure, liposoluble, est stocké dans les graisses. Cependant, la charge en mercure tend à diminuer lorsque les animaux sont plus riches en lipides. De même, la charge en méthylmercure montre une tendance à la diminution lorsque celle en lipides augmente. Par contre, plus la charge lipidique est importante, plus la proportion de méthylmercure par rapport au mercure total est importante. Il est possible que les graisses jouent ainsi un rôle dans les phénomènes de ralentissement de la déméthylation du mercure organique (Antoine, 1991).

Une étude plus approfondie du mercure et de ses moyens de le détoxifier s'impose, ce métal pouvant être un facteur important dans la diminution des effectifs d'oiseaux et de marsouins en Mer du Nord.

## **CONCLUSION.**

Bien que les oiseaux et les marsouins soient au sommet des réseaux alimentaires qu'ils intègrent, un nombre important de différences apparaît en ce qui concerne leurs niveaux de contamination par les métaux lourds, mais également quant aux moyens utilisés pour faire face à cette forme de pollution.

En effet, le mercure se trouve en concentrations importantes chez les oiseaux et les marsouins. Par ailleurs, il montre une nette augmentation de sa concentration avec l'âge chez le marsouin; cependant, une part importante de mercure organique est déméthylé au fur et à mesure de la croissance des individus et stocké sous forme de sélénium mercurique. Chez les oiseaux, il semblerait qu'une part du mercure soit éliminé au cours de la mue. Contrairement aux marsouins, chez les oiseaux, le mercure reste essentiellement sous forme organique et donc potentiellement particulièrement毒ique. Le cadmium est abondant chez le marsouin, tandis que le zinc et le cuivre le sont chez les oiseaux. Le zinc semble poser des problèmes de régulation chez les oiseaux mais pas chez les marsouins. Chez les oiseaux, les teneurs en zinc et en cadmium augmentent avec l'âge. Chez les femelles de marsouins, le chrome, le fer, et peut-être le zinc semblent être éliminés au cours de la gestation et de la lactation.

Ceci rend aléatoire l'utilisation d'une seule espèce d'oiseaux ou de mammifères comme bioindicateur de la contamination de l'écosystème sur lequel il se nourrit.

## **REMERCIEMENTS.**

Nous remercions très vivement les asiles de Blankenberge, d'Ostende, de Nieuport et du Zwin qui ont récolté les oiseaux ainsi que le Prof. F. Coignoul et le Dr M. Borrens qui nous ont fourni les échantillons. Nous remercions également C. Lejaer et R. Machiroux pour les dosages qu'ils ont réalisés et R. Biondo et J.M. Théate pour leur assistance technique. Ce travail a pu être réalisé grâce à un financement de la Communauté Française (Programme Actions de Recherche Concertées, Convention 89/94-131) et à un contrat du Ministère de l'Environnement (BH/91/38).

## BIBLIOGRAPHIE.

- AGUILAR, A., BORRELL, A. (1988). Age and sex-related changes in organochlorine compounds in fin whales (*Balaenoptera physalus*) from the eastern north atlantic. Mar. Environ. Res., **25**: 195-211.
- ANDERSEN, S.H., REBSDORFF, A. (1976). Polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) and whitebeaked dolphin (*Lagenorhynchus albirostris*) from danish waters. Aquat. Mamm., **4**: 14-20.
- ANTOINE, N. (1991). La contamination par les métaux lourds des oiseaux marins de la mer du Nord. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de licencié en Sciences Zoologiques - Université de Liège.
- BARNES, H., BLACKSTOCK, J. (1973). Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulphophosphovanillin method for "total" lipids. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **12**, 103-118.
- BONNER, N. (1989). Whales of the world. Blandford Press, London. 191pps.
- BOUQUEGNEAU, J.-M. (1975). L'accumulation du mercure et ses effets physiologiques chez *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) et *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758). Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Zoologiques - Université de Liège.
- BOUQUEGNEAU, J.-M., JOIRIS, C. (1988). The fate of stable pollutants - heavy metals and organochlorines - in marine organisms. Advances in comparative and environmental physiology, Springer - Verlay Berlin Heidelberg, Vol 2, Chap. 6: 219-247.
- BRADSTREET, M.S.W., BROWN, R.G.B. (1985). Feeding ecology of the Atlantic Alcidae. In D.N. Nettleship and T.R. Birkhead, eds: The Atlantic Alcidae. Academic Press: 264-318.
- BRAUNE, B.M. (1987). Comparison of total mercury levels in relation to diet and molt for nine species of marine birds. Arch. Environ. Contam. Toxicol., **16**: 217-224.
- CRAMP, S. (1982). In: Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa: The birds of the Western Palearctic. Vol. 1. Ostrich to Ducks, 634-642.
- DIETZ, R., HEIDE-JORGENSEN, M.-P., HÄRKÖNEN, T. (1989). Mass deaths of harbor seals (*Phoca vitulina*) in Europe. Ambio, **18** (5): 258-264.
- DIF, G. (1982). Dans: Les oiseaux de mer d'Europe. Arthaud Ed., Paris, 224-389.
- FURNESS, R.W., MUIRHEAD, S.J., WOODBURN, (1986). Using bird feathers to measure mercury in the environment: relationships between mercury content and moult. Mar. Poll. Bull., **17** (1): 27-30.

GASKIN, D.E., FRANK, R., HOLDRENET, M., ISHIDA, K., WALTON, C.J., SMITH, M. (1973). Mercury, DDT, and PCB in Harbour seals (*Phoca vitulina*) from the Bay of Fundy and Gulf of Maine. J. Fish. Res. Board of Can., 30 (3): 471-475.

GASKIN, D.E., STONFIELD, K.I., SUDA, P., FRANK, R. (1979). Changes in mercury levels in Harbour Porpoises from the Bay of Fundy, Canada, and adjacent waters during 1969-1977. Arch. Environm. Contam. Toxicol., 8: 733-762.

GOBERT, S. (1991). Etat physiologique et contamination en métaux lourds de la moule *Mytilus edulis* le long du littoral belge. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de licencié en Sciences Zoologiques - Université de Liège.

HONDA, K., YAMAMOTO, Y., HIDAKA, H., TATSUKAWA, R. (1986). Heavy metal accumulations in Adelie penguins *Pygoscelis adeliae* and their variations with the reproductive process. Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue, 40: 433.

HULSE, M., MAHONEY, J.S., SCHRODER, G.D., HACKER, C.S., PIER, S.M. (1980). Environmentally acquired lead, cadmium, and manganese in the cattle egret, *Bubulcus ibis*, and the laughing gull, *Larus atricilla*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 9: 65-78.

JANSEGERS, I. (1991). Etude de la contamination par les métaux lourds du marsouin commun (*Phocoena phocoena*, Linné 1758) des côtes belges et danoises (Kattegat). Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de licencié en Sciences Zoologiques - Université de Liège.

JOIRIS, C.R., HOLSBECK, L., BOUQUEGNEAU, J.-M., BOSSICART, M. (1991). Mercury contamination of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* and other cetaceans from the North Sea and the Kattegat. Water, Air, and Soil Pollution, 56: 283-293.

LAW, R.J., FILEMAN, C.F., HOPKINS, A.D., BAKER, J.R., HARWOOD, J., JACKSON, D.B., KENNEDY, S., MARTIN, A.R., MARRIS, R.J. (1991). Concentration of trace metals in the livers of marine mammals (seals, porpoises and dolphins) from waters around British isles. Mar. Poll. Bull., 22 (4): 183-191.

LEONZIO, C., FOSSI, C., FOCARDI, S. (1986). Lead, mercury, cadmium and selenium in two species of gull feeding on inland dumps, and in marine areas. Sci. Tot. Environ., 57: 121-127.

MARTOJA, R., BERRY, J.P. (1980). Identification of tiemannite as a probable product of demethylation of mercury by selenium in cetaceans. A complement to the scheme of the biological cycle of mercury. Vie Milieu, 30 (1): 7-10.

MORRIS, R.J., LAW, R.J., ALLCHIN, C.R., KELLY, C.A., FILEMAN, C.F. (1989). Metals and organochlorines in dolphins and porpoises of Cardigan bay, west wales. Mar. Poll. Bull., 20 (10): 512-523.

NOEL-LAMBOT, F. (1980). La bioaccumulation du cadmium en milieu marin. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Zoologiques - Université de Liège.

THOMPSON, D.R. (1990). Metal levels in marine vertebrates. In: Heavy metals in the marine environment. R.W. Furness & P.S. Rainbow Ed., CRC Press, 143-182.

WASSERMAN, M., WASSERMAN, D., CUCOS, S., MILLER, H.J. (1979). World PCBs map: storage and effects in man and his biologic environment in the 1970s. Annals New-York Academy of Sciences, 69-124.