

# Premier plan d'appui scientifique à une politique de développement durable (PADD I)

## *Programme "Gestion durable de la mer du Nord"*

### Les oiseaux et les mammifères marins en mer du Nord : pathologie et écotoxicologie.

#### Résumé de la recherche

**Bouqueneau J.-M.<sup>1</sup>, Coignoul, F.<sup>2</sup>, Das, K.<sup>1</sup>, Debacker, V.<sup>1</sup>, Haelters, J.<sup>3</sup>, Holsbeek, L.<sup>4</sup>, Jauniaux, T.<sup>2</sup>, Joiris, C.<sup>4</sup>, Stienen, E.<sup>5</sup>, Tavernier, J.<sup>6</sup>, Van Waeyenberge, J.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Océanologie, Université de Liège, B6c Sart Tilman B-4000 Liège.

<sup>2</sup> Service d'Anatomie Pathologique, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège, B43 Sart Tilman, B-4000 Liège.

<sup>3</sup> Département de La Gestion des Ecosystèmes Marins, Unité de Gestion du Modèle Mathématique de la Mer du Nord– UGMM ;  
3<sup>e</sup> en 23<sup>e</sup> Linierregimentsplein, B-8400 Ostende.

<sup>4</sup> Laboratoire d'Ecotoxicologie et d'Ecologie Polaire, Vrije Universiteit, Bruxelles, Pleinlaan, 2, B-1050 Bruxelles.

<sup>5</sup> Institut pour la Conservation de la Nature, Rue de la clinique, 25, B-1070 Bruxelles.

<sup>6</sup> Institut Royal des Sciences Naturelles (IRSNB), Conservation Biologique, Rue Vautier, 29, B-1000 Bruxelles

## Introduction générale

Au cours des cinq dernières années, d'importantes actions de recherches ont été mises en œuvre par les autorités fédérales dans le cadre du Programme 'Gestion durable de la Mer du Nord'. En particulier, l'étude de l'état de santé des populations d'oiseaux et de mammifères marins le long de la côte belge, son évolution temporelle, les pathologies et contaminations associées ainsi que les potentielles causes de mortalité ont été investiguées par un groupe de recherches scientifiques et multidisciplinaires associé à une solide équipe technique, le groupe MARIN (Marine Animals Research and Intervention Network).

La baie sud de la Mer du Nord et en particulier les bancs flamands supportent une large population hivernante d'oiseaux marins. Durant cette période de nombreux individus sont retrouvés échoués morts ou moribonds sur les plages. Au contraire, les mammifères marins sont moins nombreux dans cette partie de la Mer du Nord et les échouages sont répartis sur l'ensemble de l'année. La pollution par les hydrocarbures, bien que récemment en nette régression (Seys et al. submitted a) reste une importante cause de mortalité directe, au moins pour la moitié des oiseaux échoués. Pour les mammifères marins, différentes lésions et pathologies menant à une débilitation progressive des individus ont été observées.

Néanmoins, les causes indirectes de mortalité des individus de ces deux grands groupes de prédateurs de fin de chaîne alimentaire, le plus souvent souvent combinées en une succession de conditions stressantes (mauvaises conditions climatiques, diminution des ressources alimentaires, période de jeûne, impact des différents polluants, maladies, ...) restaient à débattre et nécessitaient de plus amples recherches. Cela a été l'objectif principal du groupe MARIN de recherches scientifiques dans le cadre du Programme 'Gestion durable de la Mer du Nord'.

## Les oiseaux marins

Au cours de ces dernières décennies, de nombreux programmes de recherches se sont intéressés à l'accumulation des polluants et leurs effets potentiellement toxiques chez différentes espèces d'oiseaux sauvages. Une grande partie de ces travaux se réfèrent à des individus sains alors que très peu d'études se sont intéressées aux effets toxiques des polluants chez des oiseaux débilités. Les oiseaux échoués et débilités ont l'avantage de présenter différents types de conditions très souvent associées. Ils sont aussi potentiellement plus sensibles aux effets toxiques des polluants comparés aux animaux de laboratoire, puisqu'ils doivent également affronter une série d'autres stressseurs (naturels ou anthropogéniques) (Nicholson et al. 1983 ; Foulkes, 1990). Cette étude représente une première tentative de clarification des liens existant entre les données pathologiques et toxicologiques, et tente de préciser le rôle des métaux lourds et des organochlorés en tant qu'agents débilitants additionnels, dans une population hivernante de guillemots de Troi I échoués le long des côtes belges (Offringa et al. 1995,1996).

Les guillemots collectés échoués le long de la côte belge durant l'hiver ne représentent qu'une petite fraction de la population en mer durant l'hiver puisque que tous les individus morts en mer ne sont pas nécessairement retrouvés échoués sur les plages (Piatt and Ford, 1996; Flint and Fowler, 1998). Néanmoins, une comparaison avec la population hivernante en baie sud de la Mer du Nord reste difficile puisqu'un pourcentage inconnu s'échoue sur les plages, ou coulera, ou sera consommé par des prédateurs charognards ou simplement dérivera avec les courants. Il semblerait que les individus collectés sur la côte belge proviendraient en majorité des colonies situées dans le nord-est de l'Ecosse.

Afin d'évaluer les chances de découverte des carcasses d'oiseaux, des expériences de dérive se sont déroulées en face de la côte belge. Les résultats ont indiqué une importance prédominante du vent (direction et vitesse) dans les jours suivants directement le langage des carcasses: les carcasses larguées au voisinage de la côte ayant d'autant plus de chances d'être retrouvées. D'autre part, des expériences évaluant les temps de persistences des carcasses sur les plages ont

démontré qu'une carcasse reste entre 5.8 – 13.3 jours sur la plage, la valeur minimum de résidence étant la plus vraisemblable (Seys, submitted b).

Les individus échoués présentaient des signes évidents d'une débilitation progressive et étaient le plus souvent retrouvés en mauvais état de santé. A l'autopsie, parmi d'autres observations, une grande majorité de ces oiseaux présentaient des signes évidents d'amaigrissement, caractérisé par une légère à sévère atrophie des muscles pectoraux et une absence complète de graisse sous cutanée et/ou abdominale (la cachexie) (Jauniaux et al. 1997, 1998). Ces caractéristiques confirment qu'une grande majorité de ces guillemots ont du utiliser leurs réserves protéiques comme source énergétique avant de mourir. Une autre lésion fréquente, considérée comme source commune de mortalité était la gastro-entéropathie aiguë hémorragique (GEAH).

Dans ce contexte, nous avons examiné les teneurs en métaux lourds et organochlorés dans les tissus des guillemots cachectiques et non cachectiques. Les individus cachectiques présentaient clairement des teneurs hépatiques et rénales plus importantes en Cu, Zn, Hg total et inorganique et PCBs. Ces différences étaient d'autant plus importantes si l'on considère les différentes catégories attribuées à la cachexie: plus l'oiseau est cachectique et plus les niveaux tissulaires de Cu et Zn sont élevés. D'autre part, en testant statistiquement l'influence de différents paramètres (variables explicatives: sexe, âge, présence ou absence de mazoutage, présence ou absence de GEAH - et sévérité de la cachexie) sur les teneurs en métaux lourds (variables réponse), en utilisant une analyse en régression multiple, il a pu être clairement établi que la cachexie influence significativement les concentrations hépatiques, rénales et musculaire en Cu et en Zn (Debacker et al. 1997, 2000).

En réponse aux différents stress environnementaux (mauvais temps, jeûne, mazoutage, ...), le poids du corps et des organes des guillemots diminue significativement chez les individus cachectiques. Suite à cette diminution générale de poids, les concentrations en métaux lourds et organochlorés augmentent de manière significative dans les tissus. Malgré la perte de poids des tissus, les teneurs en lipides totaux du foie mais aussi des muscles pectoraux diminuent également de manière significative démontrant l'utilisation des réserves de graisse comme source énergétique préalable au catabolisme protéique. Ces résultats suggèrent une redistribution des métaux lourds entre les organes faisant suite au catabolisme protéique induit par une période de jeûne prolongé.

Comparé aux guillemots collectés dans des endroits plus préservés de la Mer du Nord, les animaux collectés à la côte belge présentent des concentrations plus importantes en Cu, Zn et Hg total. Une étude spécifique des concentrations en Hg et organochlorés (total PCBs et p,p'-DDE) des mêmes individus a démontré que des niveaux significativement plus importants de ces contaminants ont été détectés chez les guillemots pendant leur hivernage en baie sud de la Mer du Nord (Joiris et al. 1997 ; Tapia, 1998). Les auteurs ont discuté à la fois un cycle saisonnier de contamination-décontamination ainsi que des apports anthropogéniques plus importants en polluants (pour le Hg et les organochlorés) en baie sud de la Mer du Nord. Bien qu'aucun cycle saisonnier n'ait été observé pour le Cu, Zn, Fe et Cd dans notre échantillonnage, il apparaît que la baie sud de la Mer du Nord est clairement plus contaminée lorsqu'on compare les teneurs en métaux lourds des guillemots collectés en Bretagne (France) après l'échouage du pétrolier Erika avec les individus collectés à la côte belge.

Une série d'expérience utilisant la caille japonaise ont été développée pour tester les effets combinés d'une contamination (par le Cu, Zn et CH<sub>3</sub>Hg) et d'une période de jeûne. Il a été montré qu'un état de cachexie se développe chez la moitié des cailles qui ont été à la fois contaminées et qui ont jeûné alors que les individus ayant jeûné mais non contaminés ne présentaient aucune des caractéristiques de la cachexie. De plus, des teneurs en métaux lourds plus importantes ont été détectées dans les tissus des cailles cachectiques (ayant jeûné et contaminées) en comparaison aux individus non cachectiques du même groupe. Ces résultats suggèrent que, bien que la cachexie liée au jeûne influence clairement les teneurs en métaux

lourds des tissus, ces mêmes teneurs élevées pourraient, à leur tour, favoriser un état général de débilitation corporelle des animaux (Debacker et al. 2001a).

Dans ce contexte général, il était également important d'étudier la spéciation des métaux lourds et plus spécifiquement leur liaison probable aux métallothionéines (MTs). Les résultats suggèrent que la synthèse des MTs pourrait être considérée comme une réponse générale à des conditions de stress chez les guillemots échoués, en offrant un effet cytoprotecteur contre la toxicité des ions de Cu (Debacker et al. 2001b).

## Mammifères marins

La baie sud de la Mer du Nord fait partie de l'aire de distribution d'au moins quatre espèces de mammifères marins: le marsouin commun, *Phocoena phocoena*, le phoque commun *Phoca vitulina*, le phoque gris *Halichoerus grypus* et le lagénorhynque à bec blanc *Lagenorhynchus albirostris*. Le marsouin est de loin l'espèce la plus commune dans le nord est Atlantique et la Mer du Nord (Hammond et al. 1995). D'autres espèces comme le lagénorhynque à flancs blancs *Leucopterus acutus*, le phoque à capuchon *Cystophora cristata*, le cachalot *Physeter macrocephalus* et le petit rorqual *Balaenoptera physalus* peuvent y être observées ou s'échouer occasionnellement mais sont considérées comme rares en Mer du Nord et plus spécialement dans la baie sud de la Mer du Nord (Camphuysen and Winter, 1995 ; Hammond et al. 1995).

Entre 1997 et 2001, 77 marsouins ont été autopsiés. La distribution annuelle des animaux était irrégulière et des pics d'échouage ont été observés en 1999 et 2001. Les observations les plus fréquentes étaient un amaigrissement important (60 %), de la bronchopneumonie à la gue (49 %), et une parasitose multisystémique étendue (51 %). Il était courant de trouver plus d'une cause mortelle chez un même individu, celles-ci étant largement connectées entre elles. L'amaigrissement important était caractérisé par une importante perte de poids, une couche de graisse réduite et une atrophie des muscles dorsaux. La bronchopneumonie à la gue était caractérisée par de larges aires d'hépatisation accompagnées d'un fluide hémorragique et/ou purulent venant du parenchyme pulmonaire. La plupart du temps, ces lésions étaient associées avec une infestation massive de nématodes dans les voies aériennes. La seconde lésion la plus fréquente était une parasitose à la gue et étendue caractérisée par une infestation importante de différents organes présentant également des lésions associées, telles que la bronchopneumonie, des gastrites chroniques ulcératives et des hépatites chroniques. On considère que les captures accidentelles dans les filets de pêche représentent 20 % de la mortalité chez les marsouins. Pour certains animaux il a pu être établi qu'ils avaient été capturés accidentellement dans des filets alors que pour d'autres, on suspecte qu'ils aient été rejetés en mer par les pêcheurs après capture (Jauniaux et al. 2002).

Trente-six phoques communs ont été autopsiés 1997 et 2001. Les observations principales étaient un amaigrissement, accompagné d'une réduction ou absence de graisse et d'une atrophie musculaire, de la bronchopneumonie à la gue et des entérites. De plus, 3 animaux présentaient des preuves de traumatisme (multiple hématomes musculaires et fractures osseuses). Un de ces phoques a été percuté par une moto alors qu'il était échoué sur la plage tandis que l'origine des traumatismes n'a pu être identifiée chez les deux autres individus. Au moins trois phoques communs se sont noyés dans des filets de pêche. Sept phoques ont été infectés par un morbillivirus durant l'été 1998 (Jauniaux et al. 2001). De plus cinq autres cas positifs ont été diagnostiqués par immunohistochimie après l'épizootie de 1998 (n=2) ou RT-PCR (n=5).

Entre 1997 et 2001, 4 petits rorquals ont été autopsiés, un s'était échoué à la côte belge (Raversijde, 1997), un a été retrouvé pris au piège dans un port hollandais (Vlissingen, 2001) et deux se sont échoués dans le nord de la France (Wimereux, 1998; Dunkerque, 1999). Tous étaient des femelles immatures âgées environs d'un an. Deux des rorquals, après analyses immunohistochimiques, présentaient des signes d'une infection par le morbillivirus, diagnostic confirmé à la fois par RT-PCR, analyses ultrastructurelles et sérologiques.

Les mammifères marins sont des indicateurs précieux des niveaux de contaminations des polluants persistents accumulés en milieu marin. D'après leur position en fin de chaîne trophique, leur longue durée de vie et la lente demi-vie biologique d'élimination des polluants, ces animaux sont capables d'accumuler d'importantes teneurs en polluants. De nombreuses recherches ont été réalisées pour essayer d'évaluer les effets des contaminants organiques aux concentrations détectées dans l'environnement (Reijnders et al. 1986). Cependant, peu d'études ont essayé d'établir le lien entre l'état de santé des mammifères marins et leurs contenus en polluants, en Mer du Nord et dans les régions avoisinantes (Hyyvarinen and Sipilä, 1984; Siebert et al. 1999; Bennet et al. 2001).

Les concentrations en PCBs concentrations dans la graisse des de la baie sud de la Mer du Nord, exprimés en ICES7 varient entre 1.25 and 36 µg/g poids frais (n=18), avec les PCBs 153, 138 et 180 représentant plus de 90% des ICES7 dans tous les tissus, le PCB 153 en particulier varie entre 33 et 53 %. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles observées auparavant dans la même région (Van Scheppingen et al. 1999) chez des marsouins échoués sur les côtes anglaises (Kuiken et al. 1993; Jepson et al. 1999) mais aussi chez des phoques de la très polluée baie du St Laurent au Canada (Bernt et al. 1999). Une relation avec l'âge reste incertaine, bien que toutes les femelles plus âgées ont des concentrations plus basses, probablement le résultat d'une lente excrétion des organochlorés lors de la lactation.

Les concentrations en métaux lourds dépendent non seulement de la contamination environnementale mais aussi de différents paramètres biologiques tels que le régime alimentaire ou l'âge (Das et al. 2002 a). Les mammifères marins montrent une grande variation interspécifique des concentrations en Cd dans leurs tissus. Les concentrations en Cd les plus élevées ont été observées dans les reins des animaux se nourrissant au large des océans, comme les cachalots (Holsbeek et al. 1999; Das et al. 2000c). Les concentrations rénales en Cd étaient aussi très élevées chez les deux lagénorhynques à flancs blancs et chez le phoque à capuchon mais par contre relativement basse chez le lagénorhynque à bec blanc, le marsouin commun et les phoques gris et communs. Les hautes concentrations chez le phoque à capuchon, les cachalots et le lagénorhynque à flanc blanc semblent être liées au régime alimentaire teutophage de ces animaux (Bustamante et al. 1998).

Les concentrations en métaux traces détectées chez les marsouins communs échoués en baie sud de la mer du Nord étaient plus élevées comparées avec les données disponibles dans la littérature. Il apparaît que les concentrations hépatiques en Zn et Cu des marsouins de la Mer du Nord sont plus élevées que celles enregistrées chez des animaux de la Baltique ou de la Mer Noire. Siebert et al.(1999) ont observé que les marsouins de la Mer du Nord sont également porteurs d'une charge élevée en mercure. Les plus hautes teneurs en mercure dans les organes des marsouins de la mer du Nord semblent indiquer que le mercure est une menace plus sérieuse pour les animaux dans cette région que pour des individus résidant en Baltique.

Le Cd et le Hg peuvent s'accumuler fortement avec la taille dans la plupart des tissus des mammifères marins étudiés, démontrant une accumulation avec l'âge. Cependant, une détermination exacte et systématique de l'âge devrait permettre une meilleure connaissance de ce processus.

Les effets toxic des métaux traces ne peuvent être étudiés chez des mammifères marins sauvages car les manipulations expérimentales sont éthiquement inconcevables. Une approche possible du problème est de mener systématiquement une autopsie établissant à la fois l'état de l'individu et son degré de contamination et ce, dans un échantillonnage relativement important d'une même espèce.

Les concentrations en métaux traces ont été comparées entre marsouins cachectiques et non cachectiques. Les concentrations hépatiques en Zn et Se étaient significativement plus importantes chez les individus juvéniles émaciés comparés aux individus non émaciés. Chez les adultes, les concentrations étaient similaires entre marsouins cachectiques ou non. Les teneurs

en autres métaux traces (Cd, Cu, Ni, Cr, Pb, Hg, Fe) étaient similaires entre marsouins cachectiques ou non, à la fois chez les adultes et chez les juvéniles ( $p > 0.1$ ).

Les importantes concentrations en Zn observées chez les marsouins juvéniles cachectiques pourraient être en relation avec une redistribution du Zn venant des autres organes tels que le foie ou le muscle (Bennet et al. 2001). En effet, le jeûne chez le rat peut provoquer une redistribution du Zn hépatique suite au catabolisme protéique, et l'augmentation des concentrations hépatiques en Zn est dès lors reliée à une perte de poids de l'organe (Krämer, 1993). Cependant, durant le jeûne chez les marsouins aucune perte de poids du foie n'a été enregistrée (Siebert, *comm. pers.*), indiquant que l'augmentation des concentrations hépatiques en Zn pourrait être liée au catabolisme protéique musculaire et non hépatique. Bien que l'émaciation influence les teneurs en métaux lourds, les hauts niveaux enregistrés chez les marsouins de la baie sud de la Mer du Nord pourraient potentiellement favoriser un processus de débilitation progressif menant à l'état de cachexie.

Il a été montré que les MTs jouent un rôle prépondérant dans l'homéostasie des métaux lourds chez les mammifères marins (Das et al. 2000a, 2002 b). De plus amples recherches ont été menées chez des marsouins échoués et présentant un bon état de conservation. Les protéines totales ont été mesurées dans les foies et il apparaît que les MTs représentent 1.3% des concentrations totales en protéines. Malgré ce faible pourcentage, les MTs jouent un rôle essentiel en liant 50 % du Zn hépatique total. De plus, quand les concentrations hépatiques en Zn augmentent, le pourcentage lié aux MTs augmente suggérant que ces protéines prennent en charge le surplus de Zn émanant du processus d'émaciation. Les MTs sont aussi impliquées dans la détoxification rénale du Cd en liant 56 % du Cd rénal total. Dans les foies et les reins les MTs semblent jouer un rôle mineur dans la détoxification du Hg et ce métal se retrouve principalement au niveau du culot après centrifugation des tissus.

## Conclusions Générales

En mer du Nord, les oiseaux et les mammifères marins doivent faire face à une série de conditions stressantes d'origine à la fois naturelles et anthropogéniques. En dehors du mazoutage, (ponctuel et chronique), qui reste la cause principale de mortalité pour les oiseaux marins, il a été montré que l'amaigrissement influence grandement l'état général de santé ainsi que les teneurs en métaux lourds dans les tissus des individus. Pour les marsouins, les conditions mortelles observées lors de cette étude étaient généralement semblables à celles décrites pour d'autres régions en Mer du Nord. La capture accidentelle dans des filets de pêche était une cause importante de mortalité dans notre échantillonnage bien qu'inférieure comparée à d'autres pays. Lors de notre analyse, il semble que l'amaigrissement et la parasitose prédisposent les marsouins à une débilitation progressive amenant à la bronchopneumonie. La bronchopneumonie aiguë est considérée comme étant la cause de la mort chez 49 % des marsouins examinés. Les maladies infectieuses ont été diagnostiquées sur la moitié des phoques, la plupart étant infectés par le morbillivirus. Il semble que ce soit la première mise en évidence de la maladie associée à cette infection en Mer du Nord depuis l'épizootie de 1988. L'autre moitié des phoques montrait des signes de captures accidentelles dans les filets de pêche ou d'autres traumatismes aigus. De manière similaire, l'infection par le morbillivirus a été observée chez 2 des 4 petits rorquals. A la connaissance de l'auteur, cela constitue la première description ferme et détaillée de la maladie associée à cette infection virale chez les grands cétacés.

Pendant qu'il jeûne et ré-ajuste l'ensemble de son métabolisme, en l'augmentant certainement pour faire face à ses besoins énergétiques croissants, le guillemot subit également une redistribution complète de ses teneurs en Cu, Zn et organochlorés. Cela résulte en une augmentation des niveaux de contaminants en circulation, redirigés vers les organes cibles, et atteignent là des niveaux qui, à leur tour, pourraient favoriser une débilitation progressive des individus.

Les métaux traces chez les mammifères marins montrent une grande variation à la fois inter- et intraspécifique due à l'origine géographique des animaux, à l'âge, mais aussi au régime alimentaire, la position trophique et le statut nutritionnel des individus. Les concentrations en Zn, Cu, Hg et organochlorés étaient plus importantes chez les marsouins de la baie sud de la Mer du Nord comparés aux individus provenant d'autres régions. Les concentrations hépatiques en Zn and Se étaient également significativement plus importantes chez les marsouins juvéniles et que chez les animaux en bonne condition, suggérant des modifications profondes de l'homéostasie des métaux traces. Les MTs semble jouer un rôle clé dans l'homéostasie du Zn et du Cu ainsi que dans la détoxification du Cd. Au contraire, le Hg est principalement lié au Se au niveau de la fraction insoluble en relation avec le processus de détoxification et de formation de tiémanite.

Dans ce contexte général, ré-évaluer l'impact des polluants sur des animaux débilisés, tels que les guillemots et les mammifères marins échoués à la côte belge, a permis de dégager un aperçu des interactions complexes existants entre les contaminants, leurs effets potentiellement toxiques et l'état de santé général des individus. Bien que ne risquant rien d'un point de vue toxicologique et en conditions normales, ces deux prédateurs de fin de chaîne alimentaire pourraient bien être négativement affectés par leurs niveaux en contaminants lors de la dégradation de leur état de santé.

## Références

- Bennet, P.M., Jepson, P.D., Law, R.J., Jones, B.R., Kuiken, Y., Baker, J.R., Rogan, E., Kirkwood, J.K. 2001. Exposure to heavy metals and infectious disease mortality in harbour porpoises from England and Wales. *Environ. Pollut.* 112: 33-40.
- Bernt, K.E., Hammill, M.O., Lebeuf, M., Kovacs, K.M. 1999. Levels and patterns of PCBs and OC pesticides in harbour and grey seals 1999. *Sci. Total Environ.* 243-244: 243-262.
- Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S.W., Miramand, P. 1998. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top-predators in the north-east Atlantic ocean. *Sci. Total Environ.* 220: 71-80.
- Camphuysen, C.J. and Winter, C.J.N. 1995. Feeding fin whales *Balaenoptera physalus* in the North Sea. *Lutra* 38: 81-84.
- Das, K., Debacker, V., Bouquegneau, J.M. 2000a. Metallothioneins in marine mammals. *Cell. Mol. Biol.* 46: 283-294
- Das, K., Debacker, V., Lepoint, G., Gobert, S., Holsbeek, L., Joiris, C.R., Bouquegneau, J.M. 2000b. Marine mammals stranded on the Belgian and Dutch coasts: Approach of their feeding ecology by stable isotope and heavy metal measurements. *Pp.* 219-222 in: *European Research on Cetaceans*. Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the European Cetacean Society, Cork, Ireland, 2-5 April 2000 (Eds. P.G.H. Evans, R. Pitt-Aiken, E. Rogan) 384pp.
- Das, K., Lepoint, G., Loizeau, V., Debacker, V., Dauby P. and Bouquegneau, J.M. 2000c. Tuna and dolphin associations in the Northeast Atlantic: Evidence of different ecological niches from stable isotope and heavy metal measurements. *Mar. Pollut. Bull.* 40: 102-109.
- Das, K., Debacker, V., Pillet, S. and Bouquegneau, J.M. 2002a. Heavy metals in marine mammals. In: *Toxicology of Marine Mammals*, Taylor and Francis publishers Washington D.C. In press.
- Das K., Jacob V., Bouquegneau J.M. 2002b. White-sided dolphin metallothioneins: Purification, characterisation and potential role. *Comp. Biochem. Physiol. A*. In press.
- Debacker, V., Holsbeek, L., Tapia, G., Gobert, S., Joiris, C.R., Jauniaux, T., Coignoul, F., Bouquegneau, J.-M. 1997. Ecotoxicological and pathological studies of common guillemots *Uria aalge* beached on the Belgian coast during six successive wintering periods (1989-90 to 1994-95). *Dis. Aquat. Org.* 29: 159-168.
- Debacker, V., Jauniaux, T., Coignoul, F., Bouquegneau, J.-M. 2000. Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (*Uria aalge*) at the Belgian coast from 1993 to 1998. *Environ. Res.* 84 (3) : 310-317.
- Debacker, V., L.-S. Shiettecatte, Jauniaux T. and Bouquegneau J.M. 2001a. Influence of age, sex and body condition on zinc, copper, cadmium and metallothioneins in common guillemots (*Uria aalge*) stranded at the Belgian coast. *Mar. Environ. Res.* 52: 427- 444.
- Debacker, V., Rutten, A., Jauniaux, T., Daemers, C., Bouquegneau, J.-M. 2001b. Combined effects of experimental heavy metals contamination (Cu, Zn and Hg) and starvation on quails: body condition and parallelism with a wild seabird population of common guillemots (*Uria aalge*). *Biol. Trace Elem. Res.* 82: 87-107.
- Flint, P.L. and Fowler, A.C. 1998. A drift experiment to assess the influence of wind on recovery of oiled seabirds on St Paul Island, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.* 36(2): 165-166.
- Foulkes, E.C. 1990. The concept of critical levels of toxic heavy metals in target tissues. *Toxicology* 20 (5) : 327-339.
- Hammond, P.S., Benke, H., Berggren, P., Borchert, D.L., Buckland, S.T., Collet, A., Heide-Jørgensen, M.P., Heimlich-Boran, S., Hiby, A.R., Leopold, M.F., Lien, N. 1995. Distribution and abundance of the harbour porpoise & other small cetaceans in the North Sea & adjacent waters. *Life 92-2/UK/027 Final Report*, 240 pp.
- Holsbeek, L., Joiris, C., Debacker, V., Ali I., Roose, P., Nellissen, J.P., Gobert, S., Bouquegneau, J.M., Bossicart, M. 1999. Heavy metals, organochlorines and polycyclic aromatic hydrocarbons in sperm whales stranded in the Southern North Sea during the 1994/1995 winter. *Mar. Pollut. Bull.* 38: 304-313.
- Hyvärinen, H., Sipilä, T. 1984. Heavy metals and high pup mortality in the Saïmaa ringed seal population in Eastern Finland. *Mar. Pollut. Bull.* 15 (9): 335-337.
- Jauniaux, T., Brosens, L., Coignoul, F. 1997. Lesions observed on stranded seabirds along the Belgian coast from 1992 to 1995. *ICES J. Mar. Sc i.* 204: 714-717.

- Jauniaux, T., Brosens, L., Meire, P., Offringa, H., Coignoul, F. 1998. Pathological investigations on guillemots (*Uria aalge*) stranded on the Belgian coast during the winter 1993-94. *Vet. Rec.* 143: 387-390.
- Jauniaux, T., Boseret, G., Desmecht, M., Halters, J., Manteca, C., Tavernier, J., Van Gompel, J., Coignoul, F. 2001. Morbillivirus in common seals stranded on the coasts of Belgium and Northern France during summer 1998. *Vet. Rec.* 148: 587-591.
- Jauniaux, T., Petitjean, D., Brenez, C., Borrens, M., Brosens, L., Haelters, J., Tavernier, J., Coignoul, F. 2002. Post-mortem findings and causes of death of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) stranded from 1990 to 2000 along the coastlines of Belgium and Northern France. *J. Comp. Pathol.* Accepted.
- Jepson, P.D., Bennett, P.M., Allchin, C.R., Law, R.J., Kuiken, T., Baker, J.R. 1999. Investigating potential associations between chronic exposure to polychlorinated biphenyls and infectious mortality in harbour porpoises from England and Wales. *Sci. Total Environ.* 243-244: 339-348.
- Joiris, C.R., Tapia, G., Holsbeek, L. 1997. Increase of organochlorines and mercury levels in common guillemots *Uria aalge* during winter in the southern North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 34 : 1049-1057.
- Krämer, K., Markwitan, A., Menne, A., Pallauf, J. 1993. Zinc metabolism in fasted rats. *J. Trace Elem.* 7:141-146
- Kuiken, T., Bennet, P.M., Allchin, C.R., Kirkwood, J.K., Baker, J.R., Lockyer, C., Walton, M.J., Sheldrick, M.C. 1994. PCBs, cause of death and body condition in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from British waters. *Aquat. Toxicol.* 28: 13 - 28.
- Nicholson, J.K., Kendall, M.D., Osborn, D. 1983. Cadmium and mercury nephrotoxicity. *Nature* 304 (18): 633-635.
- Offringa, H., Meire, P., van den Bossche, W. 1995. Tellingen van gestrande zeevogels langs de Vlaamse kust, november 1993-maart 1994, Rapport IN 95.5. Rapport IN 95.5 Institute of Nature Conservation, Hasselt.
- Offringa, H., Seys, J., Van Den Bossche, W., Meire, P. 1996. Seabirds on the Channel doormat. *Le Gerfaut* 86: 3-71.
- Piatt, J.F. and Ford, R.G. 1996. How many seabirds were killed by the Exxon Valdez oil spill ? American Fisheries Society Symposium 18: 712-719.
- Piatt, J.F. and Van Pelt, T.I. 1997. Mass-mortality of Guillemots (*Uria aalge*) in the Gulf of Alaska in 1993. *Mar. Pollut. Bull.* 34 (8):656-662.
- Reijnders, P.J.H. 1986. Reproductive failure in common seals feeding on fish from polluted coastal waters. *Nature* 324: 456-457.
- Seys, J., Offringa, H., Van Waeyenberge, J., Meire, P., Kuijken, E. (submitted a). Long-term changes in oil pollution off the Belgian coast: evidence from beached bird monitoring.
- Seys, J., Offringa, H., Van Waeyenberge, J., Meire, P., Kuijken, E. (submitted b). Numbers of beached bird corpses and mortality of seabirds, how do they relate: a North Sea study in a wider context.
- Siebert, U., Joiris, C., Holsbeek, L., Benke, H., Failing, K., Failing, K., Frese, K., Petzinger, E. 1999. Potential Relation between mercury concentrations and necropsy findings in Cetaceans from German waters of the North and Baltic seas. *Mar. Pollut. Bull.* 38: 285-295.
- Tapia, G.R. 1998. Mercury and organochlorines in the common guillemot *Uria aalge* wintering in the southern North Sea. Ph.D Thesis, Faculty of Medecine and Pharmacy, Free University of Brussels, Belgium.
- van Scheppingen, W.B., Verhoeven, A.J.I.M, Mulder, P., Addink M.J., Smeenk, C. 1996. Polychlorinated biphenyls, dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) stranded on the Dutch coast between 1990 and 1993. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 30: 492 - 502.