



HAL
open science

Méthodologie d'étude des pics de mortalité dans les populations d'oiseaux sauvages : application aux spatules blanches *Platalea leucorodia* du banc d'Arguin (Mauritanie) et aux eiders à duvet *Somateria mollissima* de la mer des Wadden (Pays-Bas) entre 1997 et 2002

Stéphane Perrier

► **To cite this version:**

Stéphane Perrier. Méthodologie d'étude des pics de mortalité dans les populations d'oiseaux sauvages : application aux spatules blanches *Platalea leucorodia* du banc d'Arguin (Mauritanie) et aux eiders à duvet *Somateria mollissima* de la mer des Wadden (Pays-Bas) entre 1997 et 2002. *Médecine vétérinaire et santé animale*. 2003. dumas-04647419

HAL Id: dumas-04647419

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04647419v1>

Submitted on 14 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**METHODOLOGIE D'ETUDE DES PICS DE
MORTALITE DANS LES POPULATIONS
D'OISEAUX SAUVAGES
APPLICATION AUX SPATULES BLANCHES
PLATALEA LEUCORODIA DU BANC D'ARGUIN
(MAURITANIE) ET AUX EIDERS A DUVET
SOMATERIA MOLLISSIMA DE LA MER DES
WADDEN (PAYS-BAS) ENTRE 1997 ET 2002.**

THESE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*Présentée et soutenue publiquement en 2003
devant l'université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Stéphane PERRIER
Né le 18 septembre 1976 à Versailles (Yvelines)

Directeur de thèse : Monsieur le professeur JOUGLAR

JURY

PRESIDENT :

M. Gérard CAMPISTRON,

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

M. Jean-Yves JOUGLAR,

M. Jacques DUCOS de LAHITTE,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur	: M.	P. DESNOYERS
Directeurs honoraires.....	: M.	R. FLORIO
	M.	J. FERNEY
	M.	G. VAN HAVERBEKE
Professeurs honoraires.....	: M.	A. BRIZARD
	M.	L. FALIU
	M.	C. LABIE
	M.	C. PAVAU
	M.	F. LESCURE
	M.	A. RICO
	M.	A. CAZIEUX
	Mme	V. BURGAT
	M.	D. GRIESS

**PROFESSEURS CLASSE
EXCEPTIONNELLE**

- M. **CABANIE Paul**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **CHANTAL Jean**, *Pathologie infectieuse*
- M. **DARRE Roland**, *Productions animales*
- M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **GUELFY Jean-François**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

PROFESSEURS 1ère CLASSE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **BODIN ROZAT DE MANDRES NEGRE Guy**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **ECKHOUTTE Michel**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
- M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*
- M. **MILON Alain**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
- M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*
- M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

PROFESSEURS 2e CLASSE

- Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les industries agro-alimentaires*
- M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **KOLF-CLAUW Martine**, *Pharmacie -Toxicologie*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

PROFESSEUR ASSOCIE

- M. **HENROTEAUX Marc**, *Médecine des carnivores*

INGENIEUR DE RECHERCHES

- M. **TAMZALI Youssef**, *Clinique équine*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
 M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRE DE CONFERENCES HORS CLASSE
--

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

MAITRES DE CONFERENCES 1ère CLASSE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
 M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
 M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
 Mme **BOUCAUT-BARALON Corine**, *Pathologie infectieuse*
 Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
 Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
 M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
 Mme **BRET-BENNIS Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
 M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
 M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
 Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
 M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
 M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
 Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
 M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
 Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*
 M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
 M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
 M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
 M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
 Mme **MESSUD-PETIT Frédérique**, *Pathologie infectieuse*
 Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
 Mme **RAYMOND-LETRON Isabelle**, *Anatomie pathologique*
 M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
 Mlle **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*
 M. **VALARCHER Jean-François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*
 M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES 2e CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
 Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
 Mme **CAMUS-BOUCLAINVILLE Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
 Mme **COLLARD-MEYNAUD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
 M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*
 M. **GUERIN Jean-Luc**, *Productions animales*
 M. **MARENDA Marc**, *Pathologie de la Reproduction*
 M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*

MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUELS
--

- M. **DESMAIZIERES Louis-Marie**, *Clinique équine*
 M. **REYNOLDS Brice**, *Pathologie chirurgicale*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **MEYNADIER-TROEGELER Annabelle**, *Alimentation*
 M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
 M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*

LISTE DES PERSONNES IMPLIQUEES DANS LES PROJETS SPATULE ET EIDER

Projet spatules: Mission WIWO – Utrecht Universiteit, Mauritanie, mai 2002.

G. M. Dorrestein, Université d'Utrecht *
 O. OVERDIJK, Workinggroup Spoonbill International. **
 S. PERRIER, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse ***

Projets Eider Ducks, hiver 2001/2002

C.J. Camphuysen, CSR-Consultancy +
 B.J. ENS, Alterra ++
 F. BORGSTEEDE, ID-Lelystad +++
 G.M. DORRESTEIN, Université d'Utrecht *
 R.K.H. KATS, Alterra/RuG ++
 M.F. LEOPOLD, Alterra ++
 S. M.P. PERRIER, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse ***

Coordonnées

* Hoofdafdeling Veterinaire Pathologie. Afdeling Ziektekunde Bijzondere Dieren en Wilde Fauna. Faculteit Diergeneeskunde. Yalelaan 1. 3584CL UTRECH. Pays-Bas.

** Knuppeldam 4. 9166 NZ Schiermonnikoog. Pays-Bas.

*** 23, chemin des Capelles. 31300 Toulouse Cedex 3. France.

+ Oosterend, Texel. Pays-Bas.

++ PO Box 167. NL-1790 AD Den Burg. Pays-Bas

+++ P.O. Box 65. NL-8200 AB Lelystad . Pays-Bas

REMERCIEMENTS

A mon superviseur au sein de la Faculté Vétérinaire d'Utrecht

Monsieur le Professeur Gerry M. DORRESEIN
DVM, PhD. Pathology of exotic, pet and avian species
Directeur du département Anatomo-pathologie des animaux exotiques, NAC et Oiseaux
de la Faculté Vétérinaire D'Utrecht, Pays-Bas

Qui nous a permis de réaliser un projet de T1-PRO au sein de la Faculté d'Utrecht, et de participer aux projets Spatule et Eiders, fondements de ce travail. Ses enseignements nous seront précieux tout au long de notre vie professionnelle. Toute notre reconnaissance et notre profond respect.

A notre président de thèse,

Monsieur le Professeur CAMPISTRON
Professeur des Universités
Praticien hospitalier en physiologie et hématologie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Hommages respectueux.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur JOUGLAR
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pathologie de bétail et des animaux de basse-cour

Qui nous a soutenu dans notre projet de T1-PRO et a apporté une aide
précieuse dans la correction de ce travail.
Qu'il trouve ici notre reconnaissance et notre profond respect.

Monsieur le Professeur DUCOS de LAHITTE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Parasitologie et Maladies parasitaires

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.
Sincères remerciements.

A toutes les personnes qui m'ont prêté main forte dans la préparation de ce travail

Madame Cathy KING
Avian Reproduction specialist
Directrice du département Oiseaux du Zoo de Rotterdam
Coordinatrice du TAG Oiseaux de l'EAZA

Qui nous a apporté un soutien scientifique de qualité ainsi qu'une aide précieuse dans la constitution de notre bibliographie.
Qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.

Monsieur Otto OVERDIJK
Conservateur de la réserve naturelle de l'Ile de Schiermonnikoog
Responsable WIWO du programme de bagage des Spatules Blanches.

Qui nous a apporté des documents et informations indispensables durant la mission Spatules et qui a su nous communiquer sa passion pour l'ornithologie.
Sincères remerciements.

**A tout le département Pathologie Bijzondere Dieren de la Faculté vétérinaire
d'Utrecht**

Madame Marein Van der HAGE – DORRESTEIN
DVM, PhD Pathology exotic animals.
Spécialiste mammifères.

Mademoiselle Marja KIK
DVM, PhD Pathology exotic animals.
Spécialiste reptiles.

Monsieur Marcel BERENSEN
DVM
Responsable de la salle d'autopsie

Qui nous ont patiaement enseigné les connaissances sans lesquelles le travail ici
présenté m'aurait été impossible.
Qu'ils trouvent ici l'expression de toute notre reconnaissance et de notre
sincère amitié.

Mademoiselle Marlene BUITELAAR
Biologiste-Microbiologiste

Qui a toujours mis a notre disposition une aide logistique efficace doublée
d'une bonne humeur permanente et communicative.
Qu'elle trouve ici l'expression de toute ma sympathie.

Marcel BLITTRSWIJK, Jacobine SCHOUTEN
Tecniciens

Qui nous ont souvent aidé ou conseillé dans notre travail, et dont la
compagnie fut toujours agréable.
Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma sympathie.

A mon grand-père le Médecin Général Marc'Hadour

Qui a montré un intérêt constant et éclairé pour mon travail et dont je sais que les pensées m'accompagnent le jour de la soutenance de cette thèse.

A mes parents

Qui ont bien voulu soutenir mon projet d'année à l'étranger, comme ils l'ont toujours fait pour mes projets professionnels, par tous les moyens en leur possession.
Qu'ils trouvent ici l'expression de tout mon amour ainsi que ma sincère gratitude.

A mes grands-parents

Pour leur soutien, leur affection, leur confiance.
Qu'ils trouvent ici l'expression de tout mon amour.

A mes oncles et tantes

Pour l'intérêt qu'ils ont toujours su montrer à l'égard de mon travail.
Toute ma tendre affection.

A toute ma famille

A mes amis

Pour leur présence dans toutes les circonstances.

Aux copains, camarades et tous ceux dont j'ai croisé la route cette année

Pour les délires, les fêtes, les aventures, les découvertes...

Aux professeurs et maitres de stages

Qui ont su croire en moi et m'épauler dans mes choix professionnels
Toute ma reconnaissance et ma sincère amitié.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ILLUSTRATIONS	16
PHOTOGRAPHIES	16
TABLEAUX	16
FIGURES.....	16
GRAPHES	16
INTRODUCTION	17
CHAPITRE 1: DÉFINITION DU (DES)	
PROBLÈME(S).....	18
A. LES SPATULES DU PARC NATIONAL DU BANC	
D'ARGUIN.....	20
A.1. Informations générales sur l'espèce <i>Platalea leucorodia</i>.....	20
A.1.1. Classification.....	20
A.1.2. Biologie	20
A.2. Le Banc d'Arguin: écologie.....	22
A.2.1. Originalité du Biotope et intérêts en jeu	22
A.2.2. Faune du Banc d'Arguin	23
A.2.3. Dynamique de l'écosystème Banc d'Arguin	24
A.2.3.1. Equilibre Ressources-Besoins dans l'Écosystème et conséquences sur les capacités d'accueil du Banc d'Arguin.....	24
A.2.3.2. Influence des paramètres physiques sur les populations d'oiseaux limicoles	25
A.2.3.3. Chaînes alimentaires.....	26
A.3. Mortalités de spatules sur le Banc d'Arguin.....	26
B. LES EIDERS DANS LA MER DES WADDEN.....	29
B.1. Informations générales sur l'espèce	29
B.1.1. Classification	29
B.1.2. Biologie	29
B.2. La mer des Wadden: écologie	30
B.2.1. Originalité du Biotope et intérêts en jeu.....	30
B.2.2. Faune de la Mer des Wadden : organisation des réseaux trophiques	31
B.2.3. Influence des paramètres physiques sur les populations d'oiseaux.....	32
B.3. Mortalité des Eiders à duvet dans la mer des Wadden (Camphuysen 2002)	33
B.3.1. Mazoutages.....	35
B.3.1.1. Mazoutage aigu.....	35
B.3.1.2. Mazoutage chronique.	36
B.3.2. Mortalité des Eiders dues a la souillure par diverses substances lipophiles	37
B.3.3. Intoxications	39
B.3.4. Cholera aviaire.....	39
B.3.5. Parasites.....	40
B.3.6. Noyades, animaux pris dans des sacs plastiques.....	40

B.3.7. Divers	41
B.4. Conclusion : une nouvelle sorte de mortalité ?	41
C. CONCLUSION SUR LA PHASE DE DESCRIPTION.....	42
CHAPITRE 2: FORMULER ET TESTER DES HYPOTHÈSES	43
A. HYPOTHÈSES ENVISAGEABLES	44
A.1. Causes de mortalité se rapportant à un problème alimentaire.....	44
A.1.1. Chute de la qualité de l'aliment	44
A.1.1.1. Diminution de la qualité de la source alimentaire usuelle.....	44
A.1.1.2. Transition alimentaire vers des sources alimentaires alternatives de qualité moindre.....	45
A.1.1.2.1. Compétition alimentaire	45
A.1.1.2.2. Disparition de la source alimentaire usuelle.....	45
A.1.1.2.3. Blocage de l'accès à la source alimentaire usuelle.....	46
A.1.1.3. Chute de la quantité d'aliment disponible.....	46
A.2. Causes de mortalité liées à un problème de stress	46
A.2.1. Stress chronique	47
A.2.2. Stress aigu	47
A.3. Traumatismes	48
A.3.1. Causes Naturelles	48
A.3.2. Causes anthropogènes.....	49
A.4. Intoxications	49
A.4.1. Intoxication par des toxiques organiques.....	49
A.4.2. intoxication par des toxiques minéraux.....	50
A.4.3. Intoxication par des micro-organismes: intoxication	51
A.5. Maladies bactériennes et virales	51
A.6. Parasitisme.....	52
B. APPLICATION A DEUX CAS PRATIQUES.....	53
B.1. Les Spatules sur le Banc d'Arguin	53
B.1.1. Observations et prélèvements.....	53
B.1.2. Résultats des tests réalisés pour chaque hypothèse	55
B.1.2.1. Alimentation	55
B.1.2.2. Stress.....	55
B.1.2.3. Traumatisme:	55
B.1.2.4. Intoxication:	55
B.1.2.5. Maladie infectieuse:.....	58
B.1.3. Conclusion sur ces résultats.....	59
B.2. Les Eiders de la Mer des Wadden	59
B.2.1. Aspect général.....	60
B.2.2. Résumé des résultats organe par organe.....	61
CHAPITRE 3 : DONNER DES RÉPONSES	65
A. CAS DES SPATULES	65
A.1. Elimination d'hypothèses	65

A.1.1. Hypothèse d'un problème alimentaire	65
A.1.2. Hypothèse d'un problème lié au stress	66
A.1.3. Hypothèse d'un problème traumatique.	66
A.1.4. Hypothèse d'une intoxication	66
A.1.5. Hypothèse d'une maladie infectieuse.....	67
A.1.6. Hypothèse parasitaire	67
A.2. conclusion.....	67
B. CAS DES EIDERS	68
B.1. Elimination d'hypothèses	68
B.1.1. Hypothèse d'un problème alimentaire	68
B.1.2. Hypothèse du Stress.....	68
B.1.3. Hypothèse du trauma	69
B.1.4. Intoxication.....	69
B.1.5. Maladie infectieuse	69
B.1.6. Parasitisme	69
B.2. Conclusion.....	70
CONCLUSION	71
REFERENCES	73
LITTÉRATURE	74
SITES INTERNET	79
ANNEXE 1: PLAN DU BANC D'ARGUIN	81
ANNEXE 2 : EMPLOI DU TEMPS, PRÉLÈVEMENT ET COMPTAGES PENDANT LA MISSION SPATULE.....	82
ANNEXE 3 : CARTE DE LA MER DES WADDEN ET REPARTITION DES PRINCIPALES COLONIES D'EIDERS À DUVET	83
ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE DISSECTION ELABORÉ POUR LES EIDERS À DUVET.....	84
ANNEXE 5 : FICHE UTILISÉE POUR NOTER LA CONDITION PHYSIQUE DES EIDERS À DUVET	86

TABLE DES ILLUSTRATIONS

PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : Spatule blanche prenant son envol au-dessus d'une des nombreuses vasières du Parc National du Banc d'Arguin	19
Photo 2 : Canard Eider à Duvet nageant dans les eaux peu profondes de la mer des Wadden.	19
Photos 3: Coupe histologique de foie de poisson céranidé coloré à la coloration de pearl.....	56
Photos 4(Ci-dessus) Coupe histologique de foie de spatule coloré à la coloration de pearl et HE (Hematoxyline Eosine)	57
Photos 5: Coupe histologique de branchies de crabe <i>Uca</i> colorée à la coloration de Pearl,	57
Photos 6: Coupe histologique du tégument d'une coque géante colorée à la coloration HE.	58
Photo 7: Aspect macroscopique typique des muscles pectoraux et du tissu sous-cutané des Eiders autopsiés.....	60
Photo 8: Aspect macroscopique typique des poumons observés sur les eiders autopsiés.	61
Photo 9: Aspect macroscopique typique des coeurs observés sur les eiders autopsiés.....	61
Photo 10: Aspect macroscopique typique du tube digestif en place puis ouvert dans sa longueur pour le comptage des parasites chez les Eiders autopsiés.....	62
Photo 11: Coupe histologique de l'iléon d'un des Eiders, coloration HE.....	63

TABLEAUX

Tableau 1: Biomasse annuelle moyenne et production de biomasse par la faune benthique en zone de balancement des marées, disparition de la biomasse due aux limicoles et autres prédateurs dans la mer des Wadden et sur le PNBA.	24
Tableau 2: Recensement de <i>Platalea leucorodia balsaci</i> sur le PNBA depuis 1997.....	27
Tableau 3: Comparaison de la composition de 3 populations de spatules.	28

FIGURES

Figure 1: Facteurs pouvant diminuer l'efficacité du nourrissage des limicoles Sur le Banc d'Arguin.....	25
Figure 2: Réseau trophique simplifié, pour la mer des Wadden et le Banc d'Arguin.	26

GRAPHES

Graphe 1: Mortalité hivernale chez les Eiders à Duvet sur les côtes néerlandaises dans la période novembre-avril durant les hivers 1977/1978 à 2001/2002.	33
Graphe 2: Mortalité mensuelle chez les Eiders à Duvet sur les côtes néerlandaises entre janvier 1999 et mai 2002..	34

INTRODUCTION

Les oiseaux, plus que tout autre ordre de vertébrés, sont particulièrement sensibles aux variations de leur environnement. De par leur grande mobilité, ils répondent rapidement aux fluctuations de leur habitat et il suffit d'observer les changements des aires de répartition des différentes espèces pour mettre en évidence la plupart des grands changements dans les écosystèmes de la planète (Furness, 1997). Les oiseaux migrateurs, en particulier, sont des indicateurs encore plus sensibles.

L'étude des populations d'oiseaux sauvages a permis de faire connaître des espèces en voie d'extinction, et le siècle dernier a vu de nombreuses espèces disparaître, sans qu'aucune mesure n'ait été prise pour entraver ce processus. C'est le cas par exemple de la Perruche de Caroline *Conuropsis carolinensis*, disparue du continent américain au début du XIXe siècle, notamment par les suites d'une exploitation abusive par l'homme (http11). La prise de conscience collective qui a eu lieu au cours du XIXe siècle (http 12, http 13) associée au développement des médias et de leur intérêt dans les problèmes environnementaux ont beaucoup aidé à la multiplication des projets d'étude des causes de disparition d'espèces animales, et notamment des oiseaux. Si certaines causes d'extinction sont naturelles, il n'en est pas moins accablant de constater que plus de 90% des extinctions d'espèces qui ont eu lieu au XIXe siècle peuvent être attribuées à l'activité humaine. C'est donc d'un sentiment de responsabilité face à la dégradation du patrimoine naturel de la planète qu'est née une nouvelle science: la conservation.

Pendant longtemps, la conservation a été une discipline de biologiste. Cependant, face à la complexité des problèmes étudiés, de nouveaux acteurs se sont ralliés à cette cause, et entre autres les vétérinaires. La coopération des différentes disciplines a permis d'envisager une approche intégrée, et de donner de véritables moyens scientifiques, financiers et décisionnels à la conservation, lui permettant d'affronter les problèmes qui frappent de plus en plus souvent les espèces animales.

Durant l'hiver 1997/1998, une forte mortalité a frappé une espèce de canards (Eiders à Duvet *Somateria mollissima*) dans la mer des Wadden, au nord des Pays-Bas. Depuis, ces pics de mortalités se sont renouvelés tous les hivers, avec une importance apparemment croissante. Dans le même intervalle de temps, des mortalités massives ont été constatées tous les printemps au sein des populations de Spatules Blanches *Platalea leucorodia* nidifiant sur le Banc d'Arguin, en Mauritanie. A partir de ces deux exemples, nous tenterons de montrer l'aspect scientifique de l'approche des mortalités massives d'oiseaux sauvages, avec la collaboration de biologistes et de vétérinaires. Nous montrerons ainsi quel rôle ces derniers peuvent jouer dans de tels projets.

Comme dans toute démarche scientifique, la première étape consiste à définir clairement le problème à analyser, en s'appuyant sur toutes les informations qui sont déjà accessibles. Dans un deuxième temps, une liste d'hypothèses devra être établie et testée, afin de pouvoir, finalement, essayer de répondre à la question initiale.

CHAPITRE 1: DEFINITION DU (DES) PROBLEME(S)

Afin d'aborder et de définir le problème de façon ordonnée, il est utile de procéder par étapes successives, décrivant la situation aux différentes échelles, de la plus large à la plus petite.

C'est en premier lieu une approche de biologiste, ici d'ornithologue qu'il faut avoir. En effet, une connaissance précise de l'espèce considérée prévaut à toute étude d'une population et des mortalités qui la frappent. Cela inclut par exemple la connaissance de la physiologie de l'espèce (alimentation, reproduction, et autres grandes fonctions), mais aussi du comportement et des besoins de l'espèce pour entretenir ce comportement. Une fois l'espèce clairement définie, il est important de comprendre les particularités de la population que l'on étudie.

Il s'agit alors d'une approche d'écologie, qui inclut entre autres la connaissance de la population elle-même (taille, habitudes saisonnières...) mais aussi des réseaux trophiques de l'écosystème, des paramètres physiques du milieu, ainsi que les variations possibles de toutes ces données. La viabilité d'une population est définie par sa capacité à se maintenir dans sa niche écologique au sein de l'écosystème face aux variations des facteurs biotiques (êtres vivants) et abiotiques (environnement physique). Il est donc indispensable, afin de comprendre les facteurs pouvant influencer le taux de mortalité dans une population, d'avoir une approche globale de l'écosystème. Grâce à ces connaissances, le scientifique averti peut enfin se pencher sur le problème qui touche la population, en reconnaissant parmi les observations les éléments anormaux.

L'approche épidémiologique consiste en la description des perturbations touchant la population. On entend par là l'évaluation qualitative et quantitative de ces altérations. On obtient ainsi un "tableau épidémiologique" (épizootie, enzootie, anazootie, etc...) qui permet parfois d'orienter fortement le scientifique vers un nombre limité de causes possibles aux perturbations observées. Cependant, afin d'obtenir des informations plus précises, il est souvent utile de s'intéresser aux individus.

L'approche vétérinaire constitue donc une des phases finales de la démarche d'investigation. On cherchera lors de cette étape à définir les symptômes (approche du clinicien chez les animaux vivants) et les lésions (approche du pathologiste sur les cadavres) que présentent les animaux. On aboutit alors à un "tableau clinique" et à un "tableau lésionnel" qui permettent de diminuer encore le nombre d'hypothèses formulées pour expliquer les troubles touchant la population.

Enfin, afin de tester les hypothèses, il est parfois utile d'utiliser des examens complémentaires. On fait alors appel à une approche de parasitologiste, microbiologiste, biochimiste (etc...), selon le cas.

La compréhension d'un problème touchant une population d'oiseaux sauvages n'est donc possible que par une approche hautement multidisciplinaire. C'est là que réside à la fois toute la difficulté d'un tel projet, mais aussi tout son intérêt. Dans les deux

exemples que nous avons choisi pour illustrer notre propos, c'est cette même démarche qui a été conduite, et qui sera décrite dans ce chapitre. Aussi commencerons-nous par définir les problèmes rencontrés sur le Parc National du Banc d'Arguin (PNBA) avec les spatules blanches (Photo 1), puis nous nous attacherons à la même description systématique pour les Eiders dans la mer des Wadden (Photo 2).



Photo 1 : Spatule blanche prenant son envol au-dessus d'une des nombreuses vasières du Parc National du Banc d'Arguin



Photo 2 : Canard Eider à Duvet nageant dans les eaux peu profondes de la mer des Wadden.

A. LES SPATULES DU PARC NATIONAL DU BANC D'ARGUIN

A.1. Informations générales sur l'espèce *Platalea leucorodia*

A.1.1. Classification

Les spatules appartiennent à l'ordre des Ciconiiformes (Cigognes, Hérons...), famille des Threskiornithides (Ibis et Spatules), sous-famille des Plataleines (Spatules). On compte six espèces de spatules dans le monde, réparties en deux genres, *Platalea* (cinq espèces) et *Ajaja* (une espèce). On retrouve des spatules sur les continents Américains, Européen, Asiatique et Africain (Van der Hut, 2000).

Les Spatules rencontrées sur le Banc d'Arguin en Mauritanie et en Europe appartiennent à la même espèce *Platalea leucorodia*. Cette espèce atteint à l'âge adulte une hauteur d'environ 85cm, et un poids compris entre 1800g et 2100g. D'après des critères morphologiques et comportementaux, des sous-espèces ont été décrites (Van der Hut, 2000).

Platalea leucorodia leucorodia est la Spatule Blanche Eurasienne, qui se reproduit en Europe et en Asie Occidentale. Une très grande partie des Spatules qui se reproduisent en Europe vont hiverner sur le Banc d'Arguin. Cependant, une partie de la population hiverne dans des sites qui n'ont pas encore été découverts. Les Spatules Eurasiennes de moins de 3 ans d'âge ont tendance à rester sur leur site d'hivernage, ou bien à se diriger plus lentement vers l'Europe le long du couloir de migration est-atlantique, en s'arrêtant parfois pour estiver sur un des sites d'étape avant de migrer plus au nord pour se reproduire. Aussi peut-on observer des Spatules Eurasiennes tout au long de l'année sur le PNBA ([http 10](http://10))

Platalea leucorodia balsaci a été décrite comme une sous-espèce endémique de l'Afrique de l'Ouest, et serait concentrée quasi exclusivement (dans l'état actuel des connaissances) sur Banc d'Arguin et de ses alentours. *Platalea leucorodia balsaci* se démarquerait en outre de la principale sous-espèce *Platalea leucorodia leucorodia* par quelques différences morphologiques: plus petite taille, pointe du bec noire sans tache jaune, et parfois absence de collier jaune à la base du cou (Hoyo *et al.*, 1992). Notons néanmoins que l'existence de cette sous-espèce n'a jamais été confirmée au niveau génétique (ces travaux sont en cours), et l'observation d'hybrides *balsaci-leucorodia* a entraîné de nombreuses remises en question de la classification.

A.1.2. Biologie

Presque toutes les études qui ont été faites sur la spatule blanche concernent la sous-espèce eurasienne *Platalea leucorodia leucorodia*. Aussi les informations rapportées dans ce chapitre ont-elles été tirées d'articles concernant les Spatules *Platalea leucorodia leucorodia* mais devraient constituer malgré tout une bonne base de comparaison pour évaluer la normalité des observations faites sur la sous-espèce *balsaci*.

Les Spatules sont des oiseaux inféodés au milieu aquatique et aux eaux peu profondes. On les rencontre donc dans des biotopes tels que des marécages, mais aussi dans des estuaires de fleuves et les parties du littoral ou les plages sont en pente douce, offrant une large zone de balancement des marées. Les Spatules peuvent donc s'adapter à l'eau douce aussi bien qu'à l'eau de mer. Ces oiseaux s'adaptent également à des températures assez variables et peuvent se protéger de la chaleur, du froid et du vent en adoptant une position typique de repos, face au vent, la tête repliée sous une aile. La vascularisation des membres inférieurs des spatules est également dotée d'un système veineux en manchon autour du système artériel, à contre-courant, limitant les pertes de chaleur au niveau de l'extrémité immergée du membre. Néanmoins, malgré leur relative faculté d'adaptation, les Spatules ne peuvent pas se passer d'un minimum de végétation à proximité de la colonie pour construire et cacher leurs nids (roseaux, buissons, algues sèches...).

La période de reproduction s'étale de mi-mars à début août, mais la plupart des oiseaux nidifient entre avril et mai. Le couple construit alors un nid d'environ 60cm de hauteur, 45cm de large et 60 cm de long. Les nids sont souvent concentrés sur des aires précises, très proches les uns des autres, au point parfois de se chevaucher. Les zones de reproduction peuvent être partagées avec d'autres espèces d'oiseaux (sur le PNBA: Cormorans, Egrettes, Hérons, Sternes...). 3 à 4 oeufs sont pondus, avec un intervalle de 2 à 3 jours entre deux pontes. Après une incubation estimée à 28 jours et dans des conditions favorables, 94% à 98% des oeufs éclosent. Un couple reproducteur donne ainsi naissance de 1,3 à 2,6 oisillons chaque année. Les deux parents élèvent les oisillons pendant 21 à 25 jours, les nourrissant en moyenne 5 fois par jour. La mortalité la plus élevée a lieu pendant les deux premiers jours après la naissance. En effet, 17 à 100% des morts d'oisillons au nid sont constatées durant cette période. Entre 10 et 20 jours d'âge, une seconde période critique à haute mortalité est constatée. Notons que ces valeurs sont très variables car des dérangements de toutes sortes peuvent affecter gravement le succès reproducteur des colonies: dérangement, prédation...

Une fois sevrés, les juvéniles sont en mesure de subvenir à leurs propres besoins. La pêche s'organise habituellement en petits groupes dispersés en Europe, mais il semblerait qu'en Mauritanie, les densités d'animaux soient bien supérieures lors de la recherche de nourriture (Zwarts, 1990). Le régime alimentaire se compose de poissons, mollusques, crustacés, insectes, algues et parfois aussi, en Europe, d'amphibiens et reptiles. La technique de pêche peut varier mais la plupart du temps, les Spatules fourragent en balançant l'extrémité de leur bec en forme de cuiller dans des eaux peu profondes. Les proies sont capturées par fermeture réflexe du bec quand celui-ci rentre en contact avec une proie. Une spatule doit consommer 353 à 410g de nourriture chaque jour, mais il a été suggéré que dans les conditions du Banc d'Arguin, cette quantité diminue sensiblement sans conséquences pour l'animal, grâce à une digestion optimisée et des économies d'énergie. Les Spatules ont un rythme tidal et se regroupent pour se reposer à marée haute tandis que la recherche de nourriture se fait de façon plus dispersée à marée basse. La pêche peut se faire de nuit, et pourrait même être tout aussi performante pour la capture de certaines proies (Van der Hut, 2000).

75% des Spatules meurent avant d'atteindre 4 ans, mais des spatules âgées de 14 ans ont déjà été observées dans la nature. Le record absolu de longévité pour cette espèce est de 28 ans (Van der Hut, 2000).

Le problème qui nous intéresse concerne les Spatules occupant les Îles du Banc d'Arguin. Ces dernières s'y inscrivent dans un écosystème original qu'il est indispensable de comprendre pour connaître les facteurs influençant la survie des Spatules dans leur niche écologique (Van der Hut, 2000).

A.2. Le Banc d'Arguin: écologie

A.2.1. Originalité du Biotope et intérêts en jeu

Le Parc National du Banc d'Arguin est situé sur la côte atlantique désertique de l'Afrique (Annexe 1), à mi-chemin entre la capitale Nouakchott (au sud) et la ville de Nouadhibou (au nord), entre le 19^e et le 20^e parallèle ([http 10](#)). Le sol, majoritairement composé de grès surmontés de calcaire, présente une composante ferrugineuse très importante (le fer est une des ressources minérales majeures de la Mauritanie). Le climat y est aride (précipitations inférieures à 10mm ces dernières années), à dominante océanique, avec une forte influence de l'alizé maritime boréal. Ce "Désert côtier froid" est donc caractérisé par des températures relativement modérées, de faible amplitude annuelle, une humidité locale importante, une forte nébulosité et la présence quasi-constante du vent (Dominante Nord-Ouest, Nord-Est). Cette zone du littoral appartient au grand bassin sédimentaire sénégal-mauritanien, caractérisé par une très faible profondeur. Les nombreuses îles du Banc d'Arguin (probablement le résultat de l'assèchement d'un ancien grand delta fluvial) en font donc une zone dont l'interface terre-mer est exceptionnellement étendue (Gowthorpe 1993).

Les eaux du parc sont marquées par le phénomène d'upwelling: l'eau chaude du littoral est repoussée au large par les vents puissants, laissant remonter les eaux profondes du large, froides et riches en oxygène, en sédiments et en éléments nutritifs. Ce phénomène a été bien décrit, mais il semblerait que son importance ne soit pas constante au cours de l'année. La saisonnalité du phénomène d'upwelling est encore un sujet de recherche. Quoi qu'il en soit, ce mécanisme est probablement à l'origine de la richesse exceptionnelle des stocks halieutiques du PNBA (Gowthorpe 1993).

Vivant uniquement de ces ressources, un millier de pêcheurs Imraguen entretiennent autour du Banc d'Arguin les traditions de leurs ancêtres qui habitent la région depuis des milliers d'années. Caractérisés par un mode de vie et des techniques de pêche séculaires, les Imraguen ("ceux qui récoltent la vie") représentent en eux-même une véritable identité culturelle et savent pratiquer une gestion durable des ressources du parc. A l'aide de bateaux à voile (lanches) et de techniques traditionnelles ayant été décrits pour la première fois au 15^e siècle, ils pêchent quasi-exclusivement des espèces migratrices de poissons ([http 10](#)).

Fondé par le gouvernement mauritanien en 1976, le but du parc était de protéger aussi bien les ressources naturelles que les richesses halieutiques dont le poids dans l'économie nationale est considérable. Un intérêt particulier était également porté sur la protection des sites géologiques d'intérêt esthétique et scientifique. Le personnel du parc assure en conséquence un quadrillage de la zone afin de lutter contre la pêche illégale et le dérangement des colonies d'oiseaux. Depuis 1985, le WWF et le gouvernement mauritanien ont travaillé de concert pour établir des plans de gestion de la zone, en particulier pour la réserve de Phoques Moines. Les accords de gestion entre le

gouvernement, le WWF et la FIBA (Fondation Internationale du Banc d'Arguin), ont conduit à une restriction de la pêche dans le parc, en particulier en saison de fraie (http 10).

En effet, les menaces les plus sévères sur les ressources du banc d'Arguin sont la pêche industrielle pratiquée par les flottes internationales aux limites du parc, le tourisme incontrôlé et la pollution par des hydrocarbures – Sans doute responsables des récentes évolutions dans le mode de vie des Imraguen. La pêche excessive, principalement par des navires issus de l'Union Européenne, détériore de façon considérable les réserves halieutiques du parc et entraînerait un déclin des populations d'oiseaux piscivores se reproduisant sur le Banc. Selon le WWF, les stocks halieutiques de toute la cote africaine occidentale ont été ravagés par des techniques de pêche industrielles entraînant en même temps un déclin notable des populations de dauphins, de requins et de tortues (http 10).

A.2.2. Faune du Banc d'Arguin

Une liste large des animaux trouvés sur le PNBA est donnée en annexe.

Le PNBA est particulièrement connu pour héberger une grande partie des limicoles européens, mais le reste de son avifaune n'en est pas moins riche. Excepté les rapaces, toutes les espèces d'oiseaux dépendent exclusivement de la nourriture trouvée dans la mer (Gowthorpe 1993).

Les mammifères terrestres du Banc Arguin, rarement observés, sont tels que des rongeurs et lagomorphes, et quelques carnivores. Le plus fréquent de ces carnivores est certainement le chacal doré, rencontré sur le continent mais aussi sur certaines îles. Il a été suggéré que les chacals étaient même capables de quitter l'Île où se trouve leur terrier pour nager d'île en île lorsque leurs besoins alimentaires les y poussait. Les autres carnivores (Fennec, Hyène, Chats sauvages) sont rencontrés de façon beaucoup plus anecdotique. Notons tout de même la présence sur l'Île Tidra de la seule espèce d'ongulé sauvage du Parc, la Gazelle Dorcas *Gazella dorcas*, petite antilope désertique extrêmement menacée.

Les mammifères marins sont une des richesses à l'origine de la création du parc. On nommera principalement le Phoque moine *Monachus monachus*, qui trouve dans le parc une de ses dernières populations auto-entretenu, le Dauphin Souffleur *Tursiops truncatus*, le Dauphin à bosse *Sousa teuszii* et l'Orque Epaulard *Orcinus orca*.

Les reptiles terrestres sont peu représentés sur les îles du Banc d'Arguin à l'exception de l'Île Tidra. Cependant la présence de tortues un peu partout sur le littoral mauritanien, en particulier la Tortue Verte *Chelonia mydas*, ne peut pas passer inaperçue à l'œil du visiteur.

La population de poissons du Banc d'Arguin est encore mal connue et fait à l'heure actuelle le sujet de nombreuses investigations. Il s'agit en tout cas de la plus grande richesse du parc, et de la seule source de revenus des Imraguens. C'est également la base de l'alimentation des milliers d'oiseaux séjournant sur le Banc d'Arguin. Notons également la présence de quelques espèces de requins, dont les populations tendent à décroître depuis quelques dizaines d'années.

Enfin, il est impossible de ne pas mentionner l'omniprésence de crabes violonistes *Uca pugnax* sur toutes les plages du banc. Formant des groupes impressionnants, ces derniers creusent leurs petites galeries dans la zone de balancement des marées de tout le littoral. Les crabes bleus, quant à eux, restent dans l'eau et frappent donc moins le visiteur.

La faune du Banc d'Arguin est donc extraordinairement riche pour une zone désertique. Tous les acteurs de cet écosystème entretiennent entre eux des relations plus ou moins complexes, qu'il est important de comprendre au moins de façon schématique afin de placer l'espèce qui nous intéresse dans son contexte dynamique.

A.2.3. Dynamique de l'écosystème Banc d'Arguin

A.2.3.1. Equilibre Ressources-Besoins dans l'Écosystème et conséquences sur les capacités d'accueil du Banc d'Arguin.

On serait en droit de penser que le PNBA, plus grand site d'hivernage pour les limicoles le long du couloir de migration Est-Atlantique, est un immense réservoir de ressources alimentaires pour ces derniers. Pourtant, plusieurs études de la biomasse (Tableau 1) dans les eaux du PNBA ont montré que tel n'était pas le cas.

	Mer des Wadden	Banc d'Arguin
Biomasse annuelle moyenne	g AFDM m⁻²	
<i>Anadara senilis</i> (grand bivalve que seuls les huîtres consomment)	0	5,5
Autre faune Benthique	27	9
Production de biomasse	g AFDM m⁻² an⁻¹	
<i>Anadara senilis</i> (grand bivalve que seuls les huîtres consomment)	0	0,1
Autre faune Benthique	30	27
Total	30	27
Consommation	g AFDM m⁻² an⁻¹	
Par les limicoles	4	12
Par les canards et mouettes	1	0
Par les flamants	0	2
Par les poissons	5	3
Par les invertébrés	3	3
Prélèvement par la pêche	2	0
Disparition totale liée aux facteurs biotiques	15	20

Tableau 1: Biomasse annuelle moyenne et production de biomasse par la faune benthique en zone de balancement des marées, disparition de la biomasse due aux limicoles et autres prédateurs dans la mer des Wadden et sur le PNBA (Beukema 1981, de Wilde & Beukema 1984, Smit & Wolff 1981, Wolff *et al.*, 1990) AFDM= Ash Free Dry Matter (Matière sèche sans cendres). Noter l'écart plus étroit entre production et consommation sur le banc d'Arguin.

En comparant l'écosystème PNBA avec l'écosystème mer des Wadden en Hollande, il a été suggéré que la quantité de nourriture disponible sur le PNBA pour les limicoles était plus limitée relativement au nombre d'oiseaux qu'il héberge. Il semblerait même que certains limicoles aient tendance à se nourrir de proies plus petites sur le PNBA. La limitation serait donc également qualitative (Zwarts *et al.*, 1990)

Ainsi, il serait faux de comparer le PNBA à un grand réservoir de nourriture pour les oiseaux; il s'agirait plutôt d'un pool limité de nourriture, mais avec turn-over élevé. En conséquence, seule une quantité donnée de nourriture est disponible sur le PNBA en même temps. Il est donc probable qu'il y ait une limite au nombre d'oiseaux pouvant vivre (et à plus forte raison se reproduire) sur le Banc.

Ce fait trouve une application intéressante dans l'interprétation des fluctuations démographiques des populations de limicoles en Europe et sur le PNBA. En effet, un accroissement de la population de spatules dans le sud-ouest de l'Europe a été constaté les 5 dernières années, en même temps qu'une stagnation des effectifs de la même espèce sur le banc d'Arguin. Cela pourrait être simplement le signe d'une saturation de la capacité d'accueil du Banc d'Arguin, et d'un déplacement des animaux excédents vers un autre site. Il existe en effet un grand manque de connaissances sur les lieux d'hivernage de nombreux limicoles, en particulier en ce qui concerne les spatules. Il a été signalé qu'une partie des mâles, presque toutes les femelles et une grande partie des sub-adultes se reproduisant en Hollande migraient en hiver vers des sites encore complètement indéterminés (Van Der Hutt, 2000).

A.2.3.2. Influence des paramètres physiques sur les populations d'oiseaux limicoles

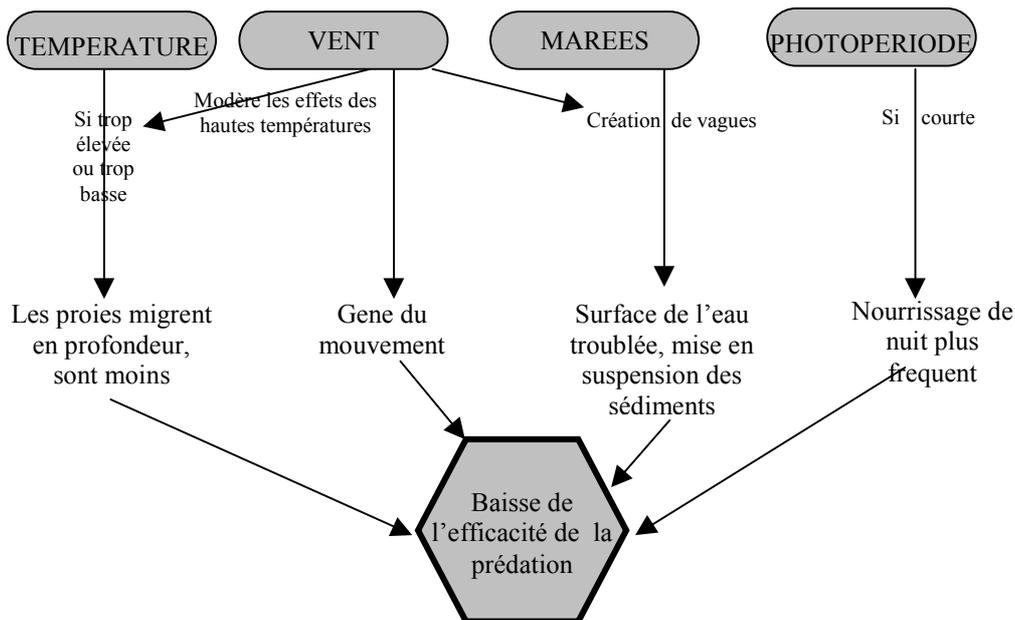


Figure 1. d'après Gowthorpe, 1993. Facteurs pouvant diminuer l'efficacité du nourrissage des limicoles Sur le Banc d'Arguin. La température élevée est modérée par un vent quasi-constant, les marées ont une large amplitude, ce qui laisse de grandes surfaces au fourrageage, et la photopériode est peu variable. Les facteurs physiques sont donc globalement stables et favorables, ce qui est moins vrai dans l'écosystème de la mer des Wadden.

Sur le Banc d'Arguin, de forts pics de température sont parfois observés, et la salinité de l'eau peut également atteindre des valeurs très élevées. Ces facteurs ont été reconnus comme agents de stress, auxquels les oiseaux doivent résister par des adaptations spécifiques de leur métabolisme et de leur physiologie (Zwarts *et al.* 1990, Klaassen 1990). Il en va de même pour plusieurs facteurs variables de l'environnement. Le Tableau 1 schématise l'influence de différents facteurs et de leur variation sur les oiseaux limicoles.

A.2.3.3. Chaînes alimentaires

Comme le montre la figure 1, l'écosystème du PNBA possède un réseau trophique original, dans lequel les ressources primaires principales sont issues de la mer. Ceci est important à prendre en compte pour aborder un problème de mortalité pouvant être lié au manque de nourriture.

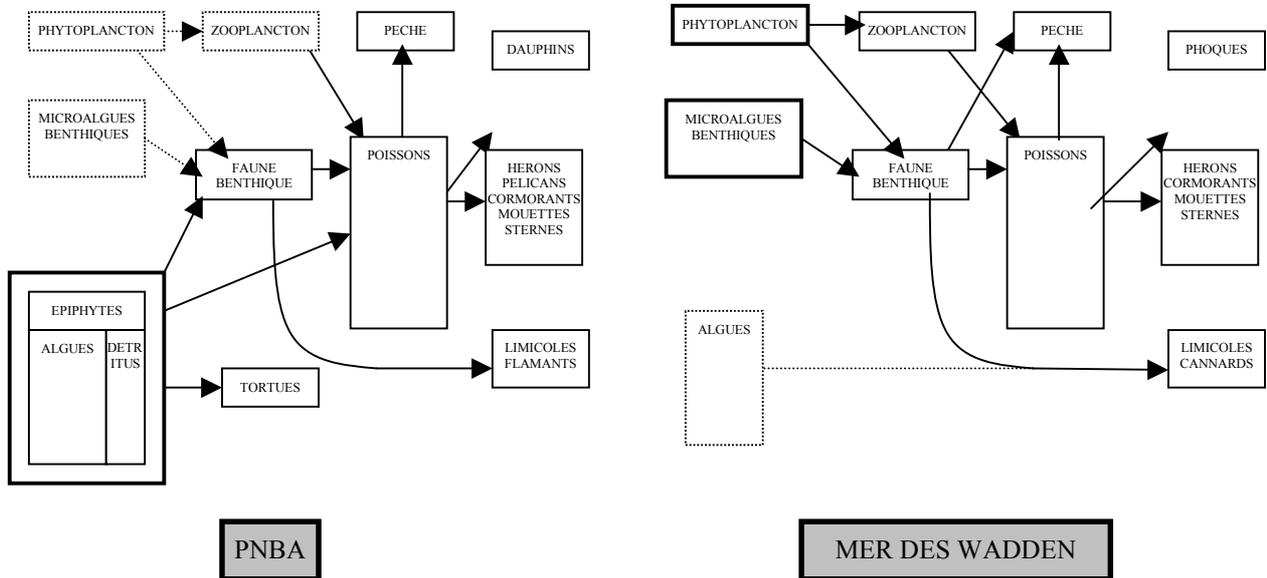


Figure 2. d'après Wolff, 1990. Réseau trophique simplifié, pour la mer des Wadden et le Banc d'Arguin. Dans la mer des Wadden, l'importance des algues et micro-algues est négligeable (Van Hoek *et al*, 1979) et la matière organique est également apportée par le continent par le biais des cours d'eau et par le large par le biais des courants. En conséquence, les consommateurs primaires se nourrissent de substances en suspension, de dépôts et de végétaux. Dans le PNBA, les algues et leurs épiphytes semblent être de loin les plus importants producteurs primaires, tandis que le phytoplancton semble relativement peu important. Il n'y a pas d'apport régulier du continent et l'apport organique par le système d'upwelling est aussi dépendant des conditions climatiques. Les nombreux oiseaux et poissons dépendent donc d'une chaîne alimentaire basée sur des détritiques, dans laquelle la matière organique produite par les algues est consommée par les invertébrés benthiques et finalement par les poissons et les oiseaux.

Au-dessus des oiseaux dans la chaîne alimentaire, les principaux prédateurs rencontrés sur le PNBA sont le chacal commun *Canis aureus* sur certaines îles (variable selon les années) et des rapaces (Bijlsma, 1990) tels que le Faucon Lannier *Falco biarmicus*, le Faucon Pellerin *Falco peregrinus*, ou le Faucon de Barbarie *Falco pelegrinoides*. La pression de prédation sur les limicoles n'est pas négligeable, mais n'a jamais été mesurée de façon précise. On sait en revanche qu'elle est principalement dirigée vers les oiseaux juvéniles et les plus petites espèces.

A.3. Mortalités de spatules sur le Banc d'Arguin

L'espèce *Platalea leucorodia* est mentionnée en annexe II de la convention de Washington et n'est pas considérée comme globalement menacée. Cependant, dans certaines zones le nombre d'animaux a chuté de façon radicale principalement sous influence des humains. C'est le cas en Hollande, où des aires jadis utilisées pour la nidification ont été artificiellement asséchées et ainsi rendues inutilisables par les

Spatules. La population mauritanienne était quant à elle considérée jusqu'en 1999 comme limitée (environ 6000 individus) mais stable (Del Hoyo, 1992).

Durant les saisons de reproduction 2000 et 2001, le personnel du PNBA a rapporté de nombreuses morts de spatules, cormorans, aigrettes, sternes et mouettes, en particulier sur la colonie de l'Île de Nair (voir Carte). La cause de ces morts n'a pas été clairement déterminée, et les circonstances de la mort étaient parfois surprenantes, certains oiseaux ayant été retrouvés morts en train de couvrir leurs oeufs. Plus de 50% des nids, soit 167 au total, contenaient également de juvéniles morts (Gueye 2002). Il a été suggéré que la mort des juvéniles pouvait être une conséquence de la mort des parents. C'est la première fois qu'une telle mortalité était rapportée chez les spatules du Banc d'Arguin ([http 10](http://10)).

Une comparaison chiffrée a été effectuée avec les années précédentes sur le PNBA. Le suivi des colonies de spatules sur le PNBA a été initié en 1997 par le WIWO (Wetland International Wildlife Organisation), association hollandaise de conservation des zones humides. Les colonies ont été recensées, et la proportion de juvéniles, sub-adultes et adultes a été évaluée. Par la suite, les mêmes méthodes de comptage ont été utilisées chaque année, permettant de comparer les résultats. Au cours des années, des changements ont été observés dans la composition de la population, avec un fort déclin du nombre de juvéniles ([http 10](http://10)).

1997	5990
1998	6921
1999	6299
2000	6284
2001	5344

Tableau 2, d'après Overdijk ([http15](http://15)). Recensement de *Platalea leucorodia* *balsaci* sur le PNBA depuis 1997. La population, bien que locale, reste abondante (Handbook of the birds of the World) jusqu'en 2001 où une chute abrupte de 15% est constatée.

Cette mortalité a également été comparée aux mortalités observées dans les colonies européennes, plus précisément en Hollande autour de la mer des Wadden. En effet, les données sur les spatules se reproduisant de Hollande sont une source fiable de comparaison, forte de 20 ans de suivi des colonies reproductrices. Il est alors apparu que jamais les mortalités de juvéniles en Hollande n'avaient atteint les niveaux observés en 2000 et 2001 sur le PNBA. En outre, dans les années où la reproduction n'est pas perturbée, aucun adulte n'est usuellement retrouvé mort en Hollande pendant la nidification. Cela tendrait donc à confirmer le caractère exceptionnel et anormal des morts observées sur le PNBA en 2000 et 2001.

Enfin, une comparaison avec les données de la littérature sur une population asiatique de Spatule Naine *Platalea minor* a fourni une référence supplémentaire pour la description du cas des spatules mauritaniennes. En effet, la population étudiée, aux

alentours de Taiwan, fournit l'exemple d'une population en expansion, avec de bonnes performances reproductrices. La population de *Platalea leucorodia leucorodia* du PNBA a également été comparée à la sous-espèce *balsaci*.

Le résultat de ces différentes comparaisons est résumé dans le Tableau 1.

Espèce	Période	Site	Proportion d'adultes	Proportion de subadultes	Proportion de juvéniles
<i>P.l.balsaci</i>	1997-2001	PNBA	93%	3%	4%
	1997-2001	PNBA	51%	25%	24%
<i>P.l.leucorodia</i>					
<i>P.minor</i>	1998-2000	Taiwan	50%	27%	23%

Tableau 3: Comparaison de la composition de 3 populations de spatules. Il semble que la population de *P.l.balsaci* ait un nombre anormalement bas de juvéniles... (Overdijk, 1999; Triplet & Overdijk 2000, Overdijk & Marion 2001 in prep.)

N.B.: Les autres principales zones humides connues d'Afrique de l'Ouest, au Maroc et dans le delta du Sénégal, avaient été visitées en janvier 1999, et seuls 3 juvéniles de *P.l.balsaci* au total ont été trouvés dans la réserve du Djouj au Sénégal (Van Der Hutt, 2000).

Les études du WIWO entre 1997 et 2002 se sont également portées sur l'état des nids. Chaque année, les nouveaux nids ont été recensés (distingues facilement des vieux nids qui sont recouverts de sable ou de végétation) et classés:

- Nouveau nid: ne contient que des fientes d'adultes
- Nid contenant des oeufs
- Nids abandonnés contenant des oisillons ou des oeufs séchés ou cassés
- Nids ayant été déjà utilisés et quittés: contiennent des fientes d'adultes et de juvéniles

Les altérations des nids ont été recherchées. En moyenne depuis 1997, 10% des nids sont détruits à chaque saison reproductrice par des marées de fort coefficient. En janvier 2001, sur l'Île de Cheddid, la plus grande colonie de spatules du PNBA (2000 couples reproducteurs) 132 nids contenaient des juvéniles desséchés, et plus de 250 contenaient des oeufs cassés et/ou sales. Des nids intacts (non utilisés) ont également été trouvés. Une cinquantaine de nids a été trouvée avec des oeufs portant des traces évidentes de prédation, vraisemblablement pas *Larus genei*. Cependant, un terrier de chacal ainsi que des traces de pas de chacal dans le sable autour de la colonie ont été découverts. Autour de la colonie, des cranes de spatules adultes et juvéniles ont également été découverts (http 10).

Ces informations sont les seules dont nous disposions avant de nous rendre sur place en mai 2002. Chez les Eiders à Duvet, en revanche, la somme de connaissances disponibles avant le début du projet en hiver 2002 était bien plus importante.

B. LES EIDERS DANS LA MER DES WADDEN

Comme chez les spatules, une description précise a été effectuée en abordant le problème de façon systématique. Aussi cette définition sera-t-elle présentée en suivant le même plan que la définition du problème des spatules.

B.1. Informations générales sur l'espèce

B.1.1. Classification

Les Eiders à duvet appartiennent à l'ordre des Anseriformes (Canards, oies...), Famille des Anatidés (Canards, cygnes...), sous-Famille des Anatinés (canards). Le genre *Somateria* regroupe l'ensemble des canards Eider, qui sont au nombre de 4 espèces. On reconnaît ces espèces au premier coup d'œil en observant les mâles qui ont une tache vert olive derrière la tête. Cette couleur est obtenue grâce à un pigment qui n'existe que chez les Eiders (Grzimek 1982).

L'Eider à duvet, *Somateria mollissima*, est un canard d'assez grande taille, dont le mâle pèse en moyenne 2000g à l'âge adulte (1500g pour la femelle), et mesure 580 à 680mm de long. Ces oiseaux occupent typiquement les mers du nord du globe, jusqu'à des latitudes de 80°N. On distingue classiquement 5 sous-espèces réparties sur le nord du continent américain (*S.m. dresseri*, *S.m. sedentaria* et *S.m. faeroeensis*), le nord de l'océan pacifique (*S.m. v-nigra*), le long du cercle arctique de l'Atlantique (*S.m. borealis*) et dans le nord de l'Eurasie (*S.m. mollissima*). C'est donc cette dernière sous-espèce que l'on rencontre dans la mer des Wadden, au nord des Pays-Bas, de l'Allemagne et du Danemark (http 7).

B.1.2. Biologie

L'Eider à duvet est une espèce assez fréquemment rencontrée dans les mers du nord de l'Europe, et a fait le sujet de nombreuses études. Ces canards, en tant qu'oiseaux de mer particulièrement sensibles à la pollution, sont souvent cités comme de bons témoins de la qualité de l'environnement maritime (Wolff, 2001).

Les Eiders adultes sont parmi les canards qui passent le plus de temps en mer, et ne sont que rarement observés sur les plages, si ce n'est pour la recherche de nourriture, à marée basse, et pendant la période de reproduction. Celle-ci a lieu d'avril à fin juin, et parfois une seconde fois en automne quand les conditions sont favorables. Les Eiders se regroupent alors sur des zones rocheuses et construisent des nids à partir de mousses, algues, feuilles, brindilles et autres éléments végétaux. Les nids, regroupés en densités variant de 4 à 9 par 100m², restent toujours à proximité de la mer, source d'alimentation. Les femelles pondent 4 à 5 oeufs en moyenne (pontes espacées de 24h00) et ne se nourrissent pas pendant l'incubation, qui dure de 25 à 30 jours (http 9). Dans de bonnes conditions, 93% des oeufs éclosent, mais des pertes conséquentes pendant l'incubation peuvent être infligées par la prédation (jusqu'à 25% de la ponte peut être ainsi perdue). Un couple reproducteur donne ainsi naissance à 1,5 à 3 jeunes en moyenne. Moins de 24 heures après éclosion, les jeunes sortent du nid et suivent leur mère. Les jeunes de plusieurs femelles sont souvent groupés en crèches. Ils apprennent alors à plonger (les adultes peuvent atteindre des profondeurs de 10m) et à se nourrir. A 75 jours, les

canetons deviennent indépendants. A ce stade leur régime est principalement constitué de mollusques (82%), notamment de moules détachées des bouchots. Le régime peut aussi contenir autres animaux tels que des étoiles de mer, des oursins, voire des crabes (*Carcinus maneus* en particulier), qui ont été décrits comme une source alternative de nourriture en cas de pénurie alimentaire. La recherche de nourriture se fait soit par plongée en pleine eau, soit par raclage des bouchots dans les parcs de mytiliculture, soit à marée basse le long des plateaux vaseux (recherche des bivalves et petits vers enfouis dans le sable). (http 7) Les Eiders ont également besoin de gravillons, qui constituent à eux seuls 14% du volume du contenu gastrique et que l'on retrouve tout le long du tube digestif et dans les selles (http 8).

Environ 50% d'une couvée atteint l'âge de se reproduire. Les males se reproduisent en général pour la première fois à l'âge de 4 ans. Les femelles, en revanche, peuvent nidifier dès l'âge de 3 ans (http 7). La longévité des Eiders à duvet a été estimée, d'après les observations d'animaux bagués, à 25 ans, peut-être même 30 (http 8).

Ces données sur la biologie de l'espèce, ainsi que les valeurs chiffrées associées aux performances reproductrices sont données dans des conditions favorables. Selon le type d'environnement et ses fluctuations, ces valeurs peuvent subir de très fortes variations. Aussi convient-il de replacer les Eiders dans le contexte où nous les avons étudiés, dans la mer des Wadden au nord des Pays-Bas.

B.2. La mer des Wadden: écologie

B.2.1. Originalité du Biotope et intérêts en jeu

La mer des Wadden est constituée d'une région costale peu profonde et de rivages à pente très douce, avec de grandes zones intertidales. Limitée au sud et à l'est par le continent européen, et au nord et à l'ouest par un chapelet d'îles marquant la frontière avec la Mer du Nord, elle s'étend sur 450 kilomètres entre Den Helder aux Pays-Bas et Skallingen au Danemark, avec une largeur moyenne de 10km. Cet écosystème "post-glaciaire récent" (vieux de 5000 à 7000 ans) est donc à cheval sur trois états européens (Pays-Bas, Allemagne, Danemark), ce qui en fait le plus grand écosystème de ce type au monde. L'étage supralittoral est constitué de dunes et de prés sales qui ne sont inondés qu'en cas de marées à très fort coefficient. L'étage inférieur est constitué par les vastes plaines intertidales (10% de la superficie totale de la zone) inondées deux fois quotidiennement. Enfin, l'étage subtidal est constitué d'eaux peu profondes, et constitue la majeure partie de l'écosystème. Les marées jouent un rôle de pompe et font entrer et circuler des sédiments en provenance des eaux entourant les Wadden. Les cours d'eaux se déversant dans la mer des Wadden apportent eux aussi une part importante des éléments nutritifs sur lesquels se basent les réseaux trophiques de tout l'écosystème (cf. Diagramme de comparaison avec le PNBA).

La forte productivité de cet écosystème est la base de son importance économique, notamment pour la pêche, mais aussi de son rôle-clé dans le couloir de migration Est-Atlantique. La mer des Wadden accueille en effet un nombre considérable d'oiseaux sédentaires (25% des espèces d'oiseaux rencontrées sur la mer des Wadden), et un nombre encore plus important d'oiseaux migrateurs (75% des espèces d'oiseaux

rencontrées sur la mer des Wadden). De par ce rôle, des écosystèmes situés aussi loin que l'arctique ou les côtes de l'Afrique du sud sont partiellement dépendants des fluctuations de l'écosystème Mer des Wadden (Nehrwein, 2000). Ces fluctuations, contrairement à ce que nous avons pu constater concernant le Banc d'Arguin, peuvent être relativement importantes. En effet, le gel, les tempêtes, ainsi que les catastrophes causées par l'homme affectent régulièrement la mer des Wadden. Pourtant, il semblerait que jusqu'à récemment, cet écosystème ait montré une forte capacité à retourner à son état initial après une situation catastrophique naturelle ou anthropogène ([http 17](#)).

La biodiversité de cet écosystème est particulièrement élevée, riche d'environ 4800 espèces marines et semi-terrestres, représentant à elles seules plus de 5% des espèces animales et végétales d'Europe Centrale. Ce sont les prés sales qui présentent la plus forte biodiversité, regroupant près de 50% des espèces de l'écosystème sur seulement 3% de sa superficie, et se plaçant ainsi en tête de tous les écosystèmes d'Europe Centrale pour la densité de population animale. La richesse de cet écosystème est en réalité responsable de la forte exploitation qui en est faite par l'homme. Cependant, il semble que ces dernières années l'expansion permanente de cette exploitation ait commencé à approcher les limites des ressources que peut fournir durablement la mer des Wadden ([http 17](#)).

La mer des Wadden a depuis longtemps été considérée comme une richesse naturelle à protéger. Cette protection s'organise à l'heure actuelle à de multiples niveaux. Chacun des 3 pays qui bordent la mer des Wadden possède des organisations régionales de protection. Ces structures locales sont coordonnées au niveau du "Common Wadden Sea Secretariat". Dans sa globalité, la Mer des Wadden est inscrite dans la convention RAMSAR sur les zones humides d'importance et a été ratifiée par le gouvernement néerlandais le 23 septembre 1980 (mais seuls environ 1200km² sont inclus dans de véritables réserves naturelles). Cette convention oblige les parties qui s'y inscrivent, entre autres, à protéger activement les zones humides déterminées et à favoriser une exploitation raisonnée et durable de celles-ci ([http 18](#)). Notons tout de même que la mer des Wadden s'est révélée intéressante pour la recherche de gaz naturel ([http 17](#)). Des stations de forage y sont donc installées en permanence, non sans conséquences...

B.2.2. Faune de la Mer des Wadden : organisation des réseaux trophiques

L'avifaune est celle qui frappe le visiteur au premier coup d'œil, et aussi celle qui est sujette au plus grand nombre d'études. A la fin de l'été, le nombre d'oiseaux sur la mer des Wadden peut atteindre 1 million d'individus. Une centaine d'espèces d'oiseaux peut être identifiée de façon régulière sur la mer des Wadden. L'importance de la zone pour certaines espèces peut être illustrée par le pourcentage de la population européenne du Nord-Est hébergée par la mer des Wadden: 8% des avocettes, 44% des bernaches, 70% des pluviers ... ([http 6](#)).

Nombre de ces oiseaux vivent principalement des ressources de la mer. Les stocks de poissons de la mer des Wadden ont une diversité limitée. En effet, seules une centaine d'espèces de poissons sont représentées dans la zone. Il se pourrait que les turbulences et l'instabilité du milieu le rendent inexploitable par de nombreuses espèces. Cependant, les stocks halieutiques de la mer des Wadden sont connus pour être très riches, avec la particularité d'être composées d'une majorité (70%) d'espèces migratrices ([http 17](#)). Les

quelques espèces qui s'y adaptent profitent de l'exceptionnelle productivité primaire de l'écosystème. Malheureusement, depuis quelques années, ce fait a été remis en cause. Il a été suggéré que la pêche industrielle avait porté atteinte au renouvellement du stock halieutique. La directive européenne de réduction de la pêche industrielle dans toute l'Europe prend appui, entre autres, sur ce constat.

Une autre partie des oiseaux de la mer des Wadden se nourrit d'herbe. C'est le cas de plusieurs Ansériformes (*Branta bernicla*, *Branta leucopsis*, *Anas penelope*...) qui sont donc toujours à proximité des prés salés pour s'alimenter (http 17).

Les mollusques sont également une importante composante de la faune des Wadden. Une partie de ces mollusques est présente à l'état naturel (coques...), mais la mytiliculture dans la mer des Wadden est également une activité importante qui représente un nombre considérable de mollusques. Certaines espèces comme les Eiders dépendent quasi-exclusivement de cette source de nourriture. Il semblerait que la quantité de moules soit largement suffisante dans la mer des Wadden pour subvenir aux besoins de tous les prédateurs qui les utilisent. Cependant, des événements catastrophiques tels des tempêtes ou des maladies (Cas de l'intoxication par un dinoflagellé *Gyrodinium aureolum* en Norvège) peuvent réduire fortement les stocks et pousser les espèces qui en dépendent à se diriger vers des régimes alternatifs. Néanmoins, il a été démontré que les moules *Mitilus edulis* avaient une forte capacité à restaurer leurs populations d'une année à l'autre, après une chute drastique de ses effectifs (http19) .

Les populations de vers (*Arenicola marina*, *Nereis virens*) et crustacés (crevettes, crabes...) sont également très importantes et ne semblent jamais être un facteur limitant dans les chaînes trophiques (http 17).

Enfin, le plancton est un élément capital de l'écosystème. Le phytoplancton est issu intégralement de la Mer du Nord, et est importé grâce au phénomène de pompe que créent les marées. La mer des Wadden compte environ 1100 espèces de phytoplancton. Les 260 espèces de zooplancton sont également importées en grande majorité de la Mer du Nord (http 17).

Notons que la mer des Wadden est relativement pauvre en macro-algues (contrairement au Banc d'Arguin), et ces dernières n'ont donc pas un rôle essentiel dans la base des réseaux trophiques. Une schématisation des réseaux trophiques de la mer des Wadden a été fournie dans le chapitre sur l'écosystème Banc d'Arguin (Gowthorpe, 1993).

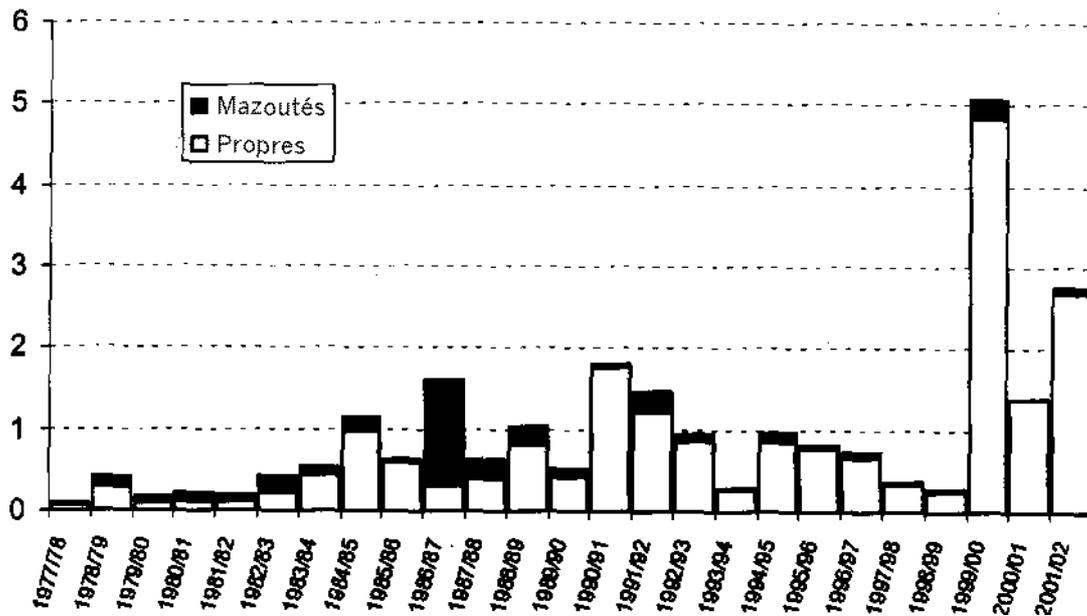
B.2.3. Influence des paramètres physiques sur les populations d'oiseaux

L'influence des facteurs physiques du milieu sur les oiseaux suit également les mêmes règles que dans l'écosystème Banc d'Arguin. Le lecteur pourra donc se rapporter au chapitre correspondant.

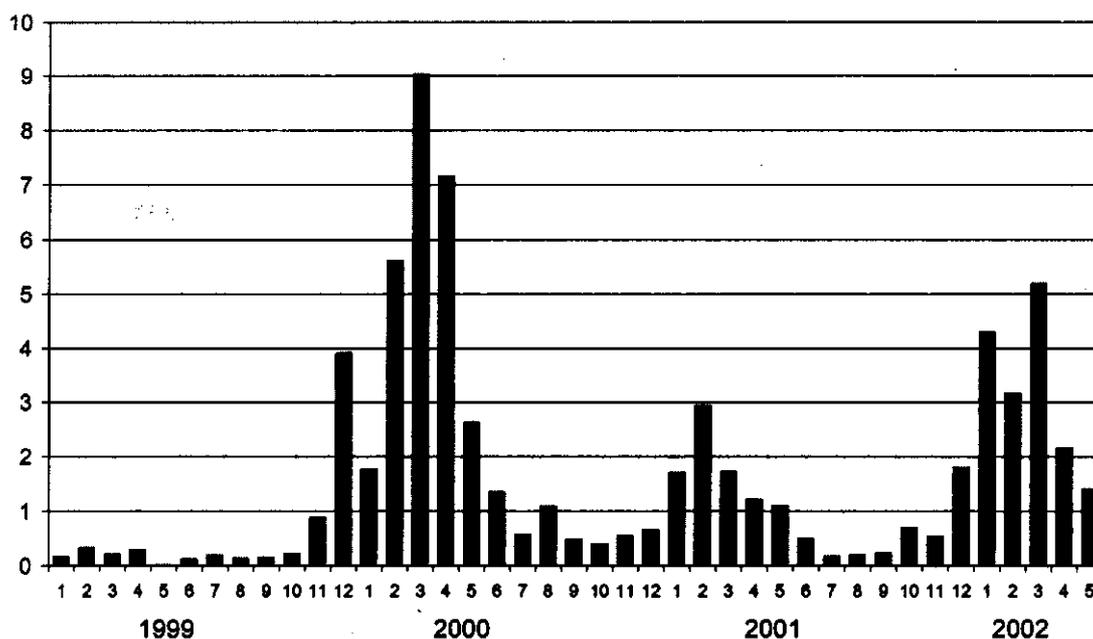
B.3. Mortalité des Eiders à duvet dans la mer des Wadden (Camphuysen 2002)

L'espèce *Somateria mollissima* est considérée comme une espèce commune. Elle n'est pas inscrite sur la convention de Washington, mais elle est considérée comme un bon indicateur de la qualité de l'environnement. En effet, les Eiders de la mer des Wadden ont été les victimes de nombreuses catastrophes qui ont pu être rapportées et analysées grâce au système de surveillance de la mer des Wadden. Camphuysen donne un historique des morts d'Eiders qui ont fait le sujet d'études.

Avant 1990, les causes de mortalité étaient presque toujours dues à des facteurs plus ou moins facilement identifiables tels que le mazoutage ou l'intoxication. autres espèces d'oiseaux ont également été trouvées régulièrement, poussés par une pénurie alimentaire à venir sur la cote (camphuysen 1997, Camphuysen *et al.* 1999): principalement des oiseaux piscivores ou planctonivores (*Alle alle*, *Fulmarus glacialis*)



Grappe 1: Mortalité hivernale (en nombre moyen de cadavres d'oiseaux retrouvés par kilomètre de plage) chez les Eiders à Duvet sur les côtes néerlandaises dans la période novembre-avril durant les hivers 1977/1978 à 2001/2002. La partie noire de chaque barre donne la proportion d'Eiders mazoutés



Graphe 2: Mortalité mensuelle (en nombre moyen de cadavres d'oiseaux retrouvés par kilomètre de plage) chez les Eiders à Duvet sur les côtes néerlandaises entre janvier 1999 et mai 2002. Ces comptages ont été réalisés par le Nederlandse Zeevogelgroep.

Le premier pic de mortalité n'étant pas clairement lié au mazoutage ou à une intoxication a été observé en 1990 (Graphe.1). Les premiers morts ont été signalés en hiver, mais des mortalités anormalement élevées ont aussi été relevées pendant l'été jusqu'en 1992. Plus de la moitié des oiseaux morts ont été retrouvés dans la mer des Wadden, plus de 90% dans toute la zone des Wadden, plages de la Mer du Nord incluses (Graphe.2). Au vu des mortalités élevées touchant également les autres oiseaux se nourrissant de coquillages (*Haematopus ostralegus*) et considérant les comptages exceptionnellement bas de coquillages dus à une pêche excessive, la pénurie alimentaire a été désignée comme facteur de mortalité (Camphuysen 1997). Les symptômes identifiés (Emaciation, plumage propre, oiseaux affaiblis en général) étaient comparables au tableau clinique usuel des oiseaux de mer échoués. La durée des mortalités ainsi que l'échelle spatiale n'ont pas été déterminés.

De 1993 à l'été 1999, les mortalités n'ont pas connu d'augmentation notable par rapport aux années 80 (Graphe 1). En octobre et novembre 1999, un changement radical a été signalé: selon les évaluations, 21000 Eiders sont morts sur la zone des Wadden (Camphuysen *et al.* 2001), dont une partie importante des vieux oiseaux reproducteurs expérimentés. Les symptômes de cachexie étaient alors si marqués que la carence alimentaire a immédiatement été suspectée comme facteur important de la mortalité.

Pendant la saison 2000/2001 de nouvelles mortalités ont été constatées, mais moins élevées que l'année précédente. (Graphe 1; Camphuysen 2001). En 2001/2002, le plus fort pic de mortalité connu jusqu'alors a été rapporté (Graphe 1). Les trois derniers hivers ont connu par la suite les plus fortes mortalités dans la zone ouest des Wadden (Graphe 2). Il est intéressant de constater que la côte nord (bien que peu importante sur la totalité des mortalités) a été frappée des plus forts taux de mortalité d'Eiders jamais vus

sur cette zone (Archives NZG/NSO). Des estimations grossières, basées sur la densité et la répartition dans la saison en comparaison à l'année de plus forte mortalité, arrivent aux chiffres de 5 à 7000 victimes en 2000/2001 et 10000 à 12000 pendant l'hiver 2001-2002. Comparée à une population hivernante d'environ 100000 Eiders en Hollande, cette mortalité atteint respectivement 20%, 5-7% et 10-12%.

Nous présenterons les différents cas de mortalité décrits chez les Eiders dans la Mer des Wadden en les répertoriant selon la cause la plus probable ayant été proposée.

B.3.1. Mazoutages

On distinguera les mazoutages aigus, liés à une catastrophe environnementale, et les mazoutages chroniques qui sont dus à une pollution constante de l'environnement.

B.3.1.1. Mazoutage aigu

Les Eiders sont, comme tous les oiseaux d'eau inféodés au milieu maritime, exceptionnellement sujets au mazoutage. Les 100 dernières années, d'innombrables marées noires ont été responsables de pics de mortalité chez les oiseaux d'eau, dont les Eiders à de nombreuses reprises. Dans le sud de la Mer du Nord, le naufrage du Pallas en octobre 1998 au sud de l'Île de Sylt est le dernier incident en date responsable d'une forte mortalité d'Eiders (Reineking 1998; Fleet *et al.* 1999). La susceptibilité particulière des canards d'eau et des Eiders en particulier est due à leur forte concentration le long des côtes. Ce n'est donc pas tant la quantité de mazout déversé que la période (Hiver) et l'endroit (Aires de nourrissage des eaux littorales) qui déterminent la gravité d'une marée noire.

Depuis 1960, la zone de la Mer du Nord a connu une vingtaine d'incidents au cours desquels de nombreux Eiders sont morts (tableau A3, d'après Camphuysen 1989, complété et adapté). L'incident de l'Erika sur la côte atlantique Française en 1999 n'a pas directement touché la Mer du Nord, mais les Eiders qui sont morts à cette occasion appartenaient très probablement aux populations de la mer des Wadden, arrivant par le couloir de migration ouest.

En Hollande, la première marée noire a frappé les côtes en décembre 1967, et aurait causé environ 4000 morts chez les Eiders (Swennen & Spaans 1968). Cette estimation n'est pas fiable à 100%, car aucune source n'est citée et aucun comptage n'est connu avant début 1968, ou les effectifs suggèrent une mortalité importante pendant l'hiver précédent. (Kuyken & Zeger 1968; Lemstra 1968). Les archives du RIVON concernant cette période ont été perdues avec le départ de J.J.C. Tanis (Platteeuw 1987) et il n'a plus fourni que des statistiques par la suite (Tanis 1981 a&b).

Par la suite, la marée noire la plus grave bénéficiant d'une bonne documentation concernant les Eiders est celle de Février 1969 (Swennen & Spaans 1968; Tanis 1981b). C'est le 16 février 1969, avec la marée du matin, que les plages de Terschelling ont été frappées par la nappe marron-noirâtre de pétrole. Par la suite, les îles de Vlieland et Texel ont été également touchées. Les comptages de Février et Avril (Zegers 1969, 1970) ont

servi de base aux estimations totales de 35000 à 41000 mazoutés, dont 15000 Eiders (15% de la population Hivernante de cette saison (Swennen & Spaans 1968)).

En Février 1976, 732 Eiders ont été trouvés morts sur Texel et encore 36 autres sur la cote de la province Noord Holland. Bien que 62,7% des oiseaux aient été mentionnés comme mazoutés, un doute réside sur la précision de ce pourcentage (Données NJN relevées par Ruud Luntz en 1977). L'automne 1975 et l'Hiver-Printemps 1976 ont été marqués par un exode des Eiders de la mer des Wadden vers les cotes continentales de la Mer du Nord, jusqu'aux plages de la province de Zélande (Camphuysen & Van Dijk 1983) et la saison fut par la suite caractérisée par une forte mortalité d'Hiver (Camphuysen *et al.* 1996).

En Janvier 1987, un autre marée noire, due à un chalutier, a frappé la zone des Wadden (Engelen 1987). En deux mois, 6800 oiseaux mazoutés ont été retrouvés, dont 5075 Eiders. L'incident ayant cette fois-ci eu lieu dans la mer des Wadden elle-même et non dans la Mer du Nord, les mortalités au sein des canards de mer sont restées limitées.

Le convoyeur de Minerai Borcea, ayant quitté le port de Terneuzen début janvier 1988 en direction de Narvik en Norvège, présentait une ouverture de 7 mètres de long dans sa coque, sous l'eau, laissant s'échapper une traînée de mazout dans toute la zone jusqu'à hauteur des îles de Schouwen et Goeree (Camphuysen *et al.* 1988). Parmi les 3680 victimes rapportées de ce mazoutage, 518 Eiders ont été comptés. Les espèces retrouvées lors de cette catastrophe reflètent la composition de la population d'oiseaux d'eau sensibles au mazoutage dans cette zone. Le nombre d'Eiders retrouvé sur la cote était plus précis mais légèrement plus faible que celui rapporté lors d'un récent comptage par avion avant l'incident (650 à 700 oiseaux (Baptist 1988)).

B.3.1.2. Mazoutage chronique.

Dans bien des cas les nappes de mazout signalées sur la Mer du Nord ne peuvent pas être attribuées à une source précise. Des multitudes de flaques sont principalement dues au dégazage (illégal) en mer, et créent une menace permanente pour les oiseaux de mer. Ces derniers sont en effet un bon indicateur de la pollution par le mazout (Furness & Camphuysen 1997). La fraction de victimes de mazoutage chez une espèce donnée est le reflet de la probabilité qu'un oiseau de cette espèce rentre en contact avec une nappe de mazout (Camphuysen 1997b; Camphuysen & Heubeck 2001). Des comptages systématiques tout au long de l'année des victimes de mazoutage ont démontré que la pollution chronique décroît progressivement, surtout chez les espèces inféodées au milieu côtier chez qui l'on observe aujourd'hui beaucoup moins de cas de mazoutage qu'il y a quelques dizaines d'années (Camphuysen 1989). Chez les Eider, une chute similaire des cas de mazoutage a été relevée, avec néanmoins des différences locales indiquant qu'un oiseau encourt plus de risque dans la Mer du Nord que dans la zone des Wadden.

Les comptages récents de victimes de mazoutage mentionnent des nombres particulièrement élevés d'Eiders, dont une grande partie présente effectivement un plumage souillé par le mazout (Camphuysen 1989). Une analyse de la sensibilité au mazoutage de différente espèce classe les Eiders en 3^e place avec un Index de vulnérabilité de 75 sur une liste 104 espèces d'oiseau vivant dans la Mer du Nord

(Camphuysen 1989). Cet index est calculé à partir de 20 facteurs pouvant influencer la survie des espèces en fonction de la surface polluée.

Pendant la seconde guerre mondiale, les Eiders ne sont plus mentionnés dans les publications sur les oiseaux mazoutés, et par là même les espèces connexes d'oiseaux maritimes ou côtiers. Des Eiders ont sans doute été retrouvés morts çà et là mais en nombre trop faible par rapport aux milliers de canards de mer et de pingouins souillés. Tanis et Morzer Bruijnis (1964) ont compté les oiseaux morts en excluant les oiseaux mazoutés. A partir de ces comptages, il a été calculé qu'après la seconde guerre mondiale, on pouvait trouver en moyenne 3,6 victimes de mazoutage par kilomètre de côte, dont seulement 0.04 Eiders. A la fin des années 50 et au début des années 60, on trouvait en moyenne 1,9 victimes de mazoutage par kilomètre de cote, avec un nombre d'Eiders toujours aussi faible (0,04 Par Km, 2%; Tanis & Morzer Bruijnis 1962). Sur requête de la Direction de la Mer du Nord, J.J.C. Tanis a fourni en 1981 une synthèse des périodes 1962-1968 et 1968-1971. Les données de ces dernières périodes n'ont jamais été officiellement publiées, et sont au moins partiellement douteuses Camphuysen 1989). Parmi les 23067 victimes de mazoutage enregistrées pendant la première période, 709 (3%) seraient des Eiders (Tanis 1981a) . Parmi les 40114 victimes de mazoutage enregistrées pendant la seconde période, 10634 (26,5%) seraient des Eiders (Tanis 1981b). Ces données ont été publiées partiellement, sous une forme très comprimée, dans des congrès internationaux (Tanis & Morzer Bruijnis 1964, 1968). La forte augmentation de la proportion d'Eiders dans la période la plus récente est due à la marée noire sur Texel, Vlieland et Terschelling en 1969. D'autre part, ces données suggèrent que les Eiders ne représentaient pas plus de 3% des victimes de mazoutage aux Pays-Bas jusqu'en 1970. Depuis 1970 on trouve chaque année en moyenne 990 Eiders morts, dont une fraction croissante est dépourvue de souillures de mazout. Les Eiders sont donc trouvés en nombre particulièrement élevé durant cette période sur les plages (seul *Uria aalge* est retrouve en plus grand nombre). Afin de comparer ces données avec les périodes précédentes (Auparavant il est clair que seuls les animaux non mazoutés étaient comptés) il a fallu comparer le nombre d'Eiders mazoutés au nombre total d'oiseaux mazoutés sur la cote (1970-75: 5,2%; 1975-80: 12,3%; 1985-90: 9,1%; 1990-1995: 5%; 1995-2000: 8,7% du total des victimes de mazoutage). Aujourd'hui, la fraction d'Eiders est notablement supérieure, ce dont on pourrait déduire que la population d'Eiders est plus élevée que dans le passé ou bien que les autres espèces d'oiseaux ont vu leurs effectifs décroître.

B.3.2. Mortalité des Eiders dues a la souillure par diverses substances lipophiles

Les dommages causés par le pétrole naturel sur les plumes des oiseaux sont évidents. Les zones souillées du plumage ne sont plus étanches car elles s'ébouriffent, laissant ainsi l'eau froide s'infiltrer avec toutes les conséquences que cela entraîne (Holmes & Cronshaw 1997). Le nettoyage des plumes chez les moins mazoutés reste la réaction normale des oiseaux, ce qui en l'occurrence ne fait qu'aggraver le mal. Les individus les plus mazoutés restent englués dans le mazout ou bien leur plumage est si ébouriffé qu'ils ne peuvent plus se déplacer. Il est en revanche moins connu que des substances autres que le pétrole ont le même effet, voire parfois pire, sur les oiseaux. Certaines substances sont très dures à détecter (transparentes), ou bien sont beaucoup plus gluantes ou toxiques (Timm & Dahlmann 1991; Rozemeijer *et al.* 1992). Swennen (1977) a montré qu'un abaissement mineur de la tension superficielle de l'eau par des substances

lipophiles chez des oiseaux en captivité (dans ce cas cause par leurs propres excréments dans une eau insuffisamment filtrée) pouvait déjà augmenter le risque de voir leur plumage perdre son pouvoir hydrofuge. Dans les eaux néerlandaises des morts d'oiseaux ont été rapportées à la suite de pollution par de l'huile de palme, des teintures, de la paraffine, du dodecylphenol, du nonylphenol, du polyisobutyrene (Engelen 1987; Van den Brink 1989; Averbek 1990; Timm & Dahlmann 1991; Zoun et al 1991ab; Camphuysen et al 1999; Joosse 1999). Les Eiders ont été touchés de façon variable par ces incidents.

Les 18 et 19 novembre 1987, des centaines d'oiseaux recouverts d'une substance collante ont été retrouvés échoués de Texel à Ameland (Engelen 1987b). La substance ne pouvait être retirée des plumes qu'à l'aide de détergeant très agressifs tels que de l'essence de lavage ou du savon de Marseille, et s'est révélée constituée, après examen de laboratoire, de 90% d'huile de lin. Les Eiders (des centaines) et les *Uria aalge* (des dizaines) furent les victimes principales de ce désastre.

De décembre 1988 à mars 1989, quelques centaines d'oiseaux de mer se sont échoués sur les côtes néerlandaises et allemandes (jusqu'à l'île de Sylt), recouverts d'une substance collante qui a plus tard été identifiée comme du Nonylphenol (Van den Brink 1989; Averbek 1990; Zoun et al. 1991ab). Les espèces les plus touchées étaient *Alca torda* et *Uria aalge*. Un petit nombre d'Eiders a aussi été retrouvé, mais aucune estimation totale de ce nombre n'a jamais été proposée. Le 28 décembre 1988, le garde côtier a signalé une nappe oléagineuse de 1x10Km. Il a plus tard été découvert que la plate-forme de forage NEDRILL-4 avait à ce moment entrepris un forage d'exploration afin de trouver du gaz, au cours duquel une tempête aurait causé la rupture d'un tuyau, laissant s'échapper dans la mer 38 tonnes de liquide de forage (constitué principalement de Nonylphenol). Les 22 tonnes restantes ont été par la suite diluées sur leur chemin vers Ijmuiden (Zoun 1991). En Allemagne, une fuite issue d'un transporteur de substances chimiques a été incriminée...(Averbek 1990; Timm & Dahlmann 1991).

Camphuysen et al. (1999) ont analysé les conséquences de cette pollution pour la côte ouest des Pays-Bas en décembre 1998. Un total de 1130 oiseaux de mer recouverts d'une substance transparente très poisseuse ont été retrouvés d'abord dans les provinces de Zélande et Zuid Holland puis une semaine après sur la pointe de la province de Noord Holland et sur Texel. En Zélande, les mortalités ont principalement touché les *Melanitta negra* et les *Uria aalge*, tandis que sur Texel on a surtout retrouvé des *Fulmarus glaciaris* et *Uria aalge* ainsi qu'un petit nombre d'Eiders.

En février 2002, une pollution massive a été rapportée sur les côtes par les services de protection de la mer de Hondsboss, constituée d'une substance inconnue avec une forte odeur de pétrole et une couleur rouge-vif. L'analyse par le Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH, Hamburg) a identifié six composants, dont trois alcènes (alkene, octodécène, nonadécène et docosène), du dioctyldiphénylamine et deux composants non identifiés. Les amines aromatiques sont en général très toxiques et s'oxydent très facilement, d'où la couleur rouge (J. Boon Comm. pers.). Par la suite, rien n'a prouvé que cette pollution avait provoqué une augmentation de la mortalité chez les Eiders ou quelque autre oiseau de mer que ce soit sur la côte de la province de Noord Holland.

B.3.3. Intoxications

De 1962 à 1968 les Eiders adultes ont connu de fortes mortalités, en particulier dans l'Ouest des Wadden. La mort était apparemment due à une intoxication par une eau contenant des hydrocarbures chlorés (Toledrine et dieldrine) arrivant du Rhin et se déversant dans la Mer des Wadden. Les courants marins et l'accumulation des toxiques le long des chaînes alimentaires ont été responsables d'une mortalité élevée chez de nombreuses espèces d'oiseaux, dont des Sternes et surtout des femelles Eider nidifiant dans les Wadden (Zweeres 1965; Koeman *et al.* 1968; Koeman 1971; Koeman *et al.* 1972; Swennen 1972). En particulier des femelles mortes en fin de reproduction, ou bien juste après (fin mai-juin) ont été retrouvées sur les îles de l'ouest des Wadden (Spaans & Swennen 1968). Dans l'est des Wadden les mortalités étaient beaucoup moins marquées (Mooster 1973). Cette pollution spécifique de la mer des Wadden a été endiguée en 1965 par l'arrêt de l'évacuation des déchets dans le Rhin.

Sur l'île de Vlieland, les mortalités annuelles ont augmenté jusqu'à au moins 61% en 1965 puis ont décliné pour atteindre moins de 10% au début des années 70 (Tableau A5). L'espèce a complètement disparu en tant qu'espèce reproductrice autour de Balgzand (Boer & Monsees 1967, Boer *et al.* 1970). Sur Terschelling, une diminution de 1000 couples migrateurs a été constatée en 1960 et seuls 250 couples restaient en 1968. Sur Vlieland la population est passée de 4000 nids en 1960 à 800 nids en 1968. Sur Texel, la population reproductrice s'est presque éteinte, perdant 400 couples en 1960 pour ne plus avoir que 19 couples en 1966 et 34 en 1968 (Spaans & Swennen 1968, Swennen 1976, Zwart 1985). Sur les îles de l'est des Wadden (Schiermonnikoog et Rottum) aucun phénomène similaire n'a été observé, mais la population totale des Pays-Bas est passée entre 1960 et 1968 de 5750 couples à 1300 couples.

B.3.4. Cholera aviaire

En mai 1984, l'île de Vlieland a perdu une partie de ses oiseaux reproducteurs suite à une épidémie de choléra aviaire (Pasteurellose). Le choléra aviaire est extrêmement contagieux et est causé par la bactérie *Pasteurella multocida* (Swennen & Smit 1991). L'épidémie a été découverte lors de la visite annuelle de routine sur l'île de Vlieland. Pour la première fois depuis l'intoxication des années 60, des femelles reproductrices ont alors été retrouvées mortes. Les analyses conduites par le Institut Central Vétérinaire de Lelystad ont mis en évidence *Pasteurella multocida* comme agent causal de l'épidémie. Il a été estimé qu'au moins 80 à 100 femelles ont péri lors de l'épidémie, ce qui était prévisible étant donné que la transmission se fait dans les points d'abreuvement (Eau stagnantes visitées régulièrement par les femelles nidifiantes). Aucun cas similaire n'a été rapporté par la suite en Hollande.

Des épidémies de Choléra aviaire ont été documentées aux USA et au Canada en 1963, 1964, 1966, tous les ans entre 1970 et 1976, et en 1985. Les autres cas de choléra aviaire décrits après l'épidémie qui a touché les Eiders datent de 1996 et de 2001, au Danemark, où les morts ont été conséquentes (Christensen 2002). En 1996, 1600 femelles et 300 mâles ont été trouvés morts dans le Fjord de Stavns, ne laissant plus que 72 femelles nidifiantes. autres espèces d'oiseaux (*Mergus serrator*, *Larus argentatus*, *Haematopus ostralegus*) ont également subi des pertes à ce moment. En 2001, des cormorans (*Phalacrocorax carbo*) ont aussi connu des morts. Au Danemark, au moins

4000 femelles adultes sont mortes au total du choléra ces dernières années, et étant donné que les causes de la disparition soudaine de la bactérie sont inconnues, le risque d'un retour du choléra reste une préoccupation.

B.3.5. Parasites

En août 1956 puis de nouveau en 1957, les plages de Vlieland ont connu, au sein de la plus grande colonie reproductrice d'Eiders en Hollande (estimée alors à 3000 oiseaux reproducteurs), un syndrome d'affaiblissement sévère d'environ 100 canards sur un total de 1800 oiseaux au reposoir, soit presque 5%. (Swennen & Van den Broek 1960). Les oiseaux se laissaient approcher de très près, et vomissaient finalement le contenu de leur jabot et de leur gésier (principalement des moules) avant de s'enfuir. L'examen post-mortem de plusieurs intestins a montré que chez tous les Eiders, 150 à 250 vers acanthocéphales de l'espèce *Profillicollis botulus* (déjà identifié par coproscopie) étaient fichés dans la paroi intestinale. Il a alors été conclu que les morts étaient dues à l'entérite induite par les vers, voire même à la perforation des intestins.

Un incident comparable avec les mêmes conclusions a été rapporté sur les côtes de l'État du Maine (USA) en 1958 (Clark *et al.*). *Profillicollis botulus* est, comme il l'a été montré plus clairement depuis, un parasite très fréquent chez les Eiders. Des comptages moyens de 80 acanthocéphales (Min 1- Max 654) et un pourcentage d'infestation de 92% ont été rapportés chez 110 Eiders fusillés à Newfoundland, dans le Labrador. Persson *et al.* (1974) ont trouvé un pourcentage d'infestation de 94,5% chez 110 Eiders fusillés sur la côte ouest de la Suède. Thomson (1985a) n'a même pas trouvé de différence significative dans le pourcentage d'infestation entre les Eiders trouvés morts et un autre groupe d'Eiders "sains" qui avaient été tués spécialement pour le projet. L'infestation passe par la consommation d'un petit crabe des plages (*Carcinus maenas*), hôte intermédiaire du parasite (Liat & Pike 1980, Thompson 1985b). Grenquist (1970) et Hario *et al.* (1995) ont publié une synthèse des cas connus de mort associée à l'infestation par ces parasites, et ont constaté qu'aucune corrélation n'existait entre l'intensité de l'infestation et le nombre de morts enregistrés. Leur conclusion fut donc que l'infestation par ces parasites ne peut pas être considérée comme une cause de mort en soi.

Un autre parasite potentiellement dangereux, le ver du gésier *Amidostomum acutum* et son proche parent *Amidostomum anseris* ont également été retrouvés chez des oiseaux "sains" (fusillés). 72,4% des oiseaux fusillés sur la côte ouest de la Suède étaient infestés par *A. anseris* (Persson *et al.* 1974) et 44% pour les oiseaux fusillés dans le Labrador (espèce *A. actuum*) (Bishop & Threlfall 1974). En cas d'infestation moyenne à sévère, ce parasite cause indubitablement une gêne de la digestion et est (ou a été) incriminé dans de nombreux cas de morts au sein de la faune littorale.

B.3.6. Noyades, animaux pris dans des sacs plastiques

Les comptages de victimes de mazoutage des années 1969-85 comprenaient 8417 Eiders, dont 12 étaient en fait morts après s'être empêtrés dans des sacs plastiques ou des lignes de pêche (0,1%). 2 oiseaux s'étaient noyés après avoir été pris dans des morceaux de filets de pêche, 1 oiseau s'était étouffé dans un sac plastique, un autre dans un container pour bouteilles de bières, 3 oiseaux dans une corde et 4 cas dans du fil de pêche

en nylon (Camphuysen 1989). En 1986-95, 8628 Eiders ont été trouvés, dont 16 soit 2% étaient morts après s'être empêtrés dans de tels objets (Camphuysen 1996). Le fil de pêche en nylon, les fragments de filets de pêche, et toutes sortes de plastiques étaient chacun représentés dans 4 cas, et 2 oiseaux étaient empêtrés dans un container de bières, un oiseau dans une corde, et un oiseau dans une chaîne. Etant donné la faible occurrence des morts dues aux plastiques et matériels de pêche, ces facteurs ont été décrits comme insignifiants (Camphuysen 1994). Mais nous devons ici noter que les canards se prennent bel et bien dans le matériel de pêche abandonné à la dérive, mais aussi dans le matériel de pêche fonctionnel. Les pêcheurs n'ayant aucun intérêt à révéler le nombre d'oiseaux qu'ils capturent "par erreur"(bycatch), il n'existe aucune statistique fiable décrivant l'importance du phénomène. D'après les cas où il a été possible d'estimer cette importance par déduction, il semblerait que la pêche puisse causer de fortes mortalités chez l'avifaune aquatique (Van Eerden *et al.* 1999). Kirchhoff (1982) a étudié entre 1977 et 1981 les causes de mortalités de la faune sauvage maritime dans la mer de l'Est et a montré que chaque année au moins 15000 canards de mer se noyaient, dont 9400 Eiders. Mulder (1976) a démontré que chaque année, des centaines de canards mourraient dans des filets de pêche aux alentours de Vlieland et Texel.

Dans la portion néerlandaise de la mer des Wadden, d'innombrables noyades supposées (langue tirée, pas d'autre cause visible) sont relevées, mais l'évaluation de l'amplitude du phénomène de bycatch ne peut pas être basée sur ces cas. Non seulement les symptômes sont loin d'être clairs, mais encore les cas évidents de noyade (le filet est encore attaché) se mélangent-ils aux cas moins clairs (aucune trace de filet visible) et aux cas où la mort est due à une autre cause mais où les signes extérieurs sont également très frustes.

B.3.7. Divers

En janvier 1968, 500 Eiders fraîchement morts ont été trouvés sur l'île de Terschelling, indemnes de toute trace de mazout (De Miranda 1968). La cause de la mort, qui touchait principalement les mâles, n'a jamais été trouvée, mais il semble qu'il n'y ait aucune relation avec l'intoxication qui touchait à ce moment les femelles principalement.

D'abord connue sous le nom de "marée noire" la mort de 732 Eiders en février 1976 sur Texel puis de 36 autres sur les côtes de la province de Noord Holland a été en fait mal comprise. Bien que 62,7% des oiseaux aient été rapportés comme mazoutés, un doute résidait sur la précision de ce pourcentage. En automne 1975 et automne-hiver 1976 un nombre frappant d'Eiders se sont exilés de la mer des Wadden vers les côtes de la Mer du Nord, jusqu'en Zélande (Camphuysen & Van Dijk 1983; Camphuysen 1997a) et la saison suivante a été marquée par une mortalité hivernale exceptionnellement haute (Camphuysen *et al.* 1996). Les grandes lignes de cet incident suggèreraient plutôt un problème de famine, comparable au problème de l'année précédente. En effet, cet incident a eu lieu en hiver, avec une présence exceptionnellement faible de coquillages (Camphuysen *et al.* 1996).

B.4. Conclusion : une nouvelle sorte de mortalité ?

Les mortalités qui ont eu lieu chaque hiver depuis 1990 sont donc d'un type différent de celles observées auparavant. Les recherches qui ont été menées avant l'hiver

2001/2002 ont mis en cause plusieurs facteurs: une chute de la qualité de la source alimentaire principale, les moules (Nehls, 2001) et la présence massive d'un parasite acanthocephale *Prophilocollis botulus*. Nos recherches, lors de l'hiver 2002, ont cherché à affiner et compléter ces données.

C. CONCLUSION SUR LA PHASE DE DESCRIPTION

Les données concernant les spatules et les eiders sont très inégales. Ainsi, dans le cas des Eiders, la simple compilation des informations disponibles suffit pour avoir une idée des facteurs en jeu dans les pics de mortalité. Le suivi des mortalités se fait donc en prêtant une attention particulière à ces facteurs.

Le cas des spatules est bien moins documenté, ce qui ne permet pas d'exclure d'entrée quelque hypothèse que ce soit. Chaque facteur a donc dû être testé avec la même attention, dans la mesure du possible.

L'étape suivante, qui consiste à formuler et à tester des hypothèses est donc complètement dépendante de l'étape descriptive.

CHAPITRE 2: FORMULER ET TESTER DES HYPOTHESES

Une fois la phase de documentation terminée, il est possible de dresser une liste d'hypothèse pour expliquer les problèmes observés. Quel que soit le cas, il est possible de n'oublier aucune cause de mortalité des populations en classant les hypothèses par thèmes. En se penchant sur la littérature concernant les études qui ont été menées dans le passé sur des causes de mortalité de populations d'oiseaux, on peut grossièrement reconnaître 6 grands thèmes parmi les différents cas de figure qui peuvent être envisagés *a priori*: Alimentation, Stress, Trauma, Intoxication/Pollution, Maladie infectieuse, et Parasitisme.

Parmi les nombreuses hypothèses qui recouvrent la totalité des causes de mortalités chez des populations d'oiseaux sauvages, on peut parfois en exclure une partie, grâce aux données épidémiologiques concernant la population. Par exemple, une hypothèse de mazoutage est peu probable si les morts concernent seulement les jeunes au nid... Cependant le "tableau épidémiologique" est la plupart du temps insuffisant pour arriver à restreindre le choix à une seule hypothèse. Il est donc nécessaire de recourir à des examens individuels des animaux, voire de leur environnement. C'est dans cette phase des opérations que le vétérinaire a son plus grand rôle à jouer, en tant que clinicien et pathologiste.

Notons que l'examen individuel d'espèces sauvages impose souvent d'être soi-même sur place afin d'observer d'éventuels symptômes et dans le cas de cadavres, de pouvoir les autopsier aussi rapidement que possible. Aussi est-il essentiel de prévoir la liste des examens qui devront être réalisés sur le terrain. Cette liste des examens complémentaires découle directement de la liste des hypothèses qui devront être testées.

Parfois, les conditions de terrain ne permettent pas d'utiliser tous les moyens de diagnostic dont un vétérinaire dispose habituellement en cabinet. Il faut donc parfois trouver des solutions pour rapatrier des échantillons qui seront analysés *a posteriori* ou bien faire appel à des méthodes de diagnostic moins conventionnelles mais applicables sur le terrain. En résumé, ce type de mission de terrain exige une préparation sérieuse de la documentation du cas, de la logistique, et une réflexion préliminaire.

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les différentes hypothèses envisageables dans un premier temps, puis nous donnerons l'exemple des Spatules et celui des Eiders pour illustrer le raisonnement étape par étape que le vétérinaire doit mener sur le terrain.

A. HYPOTHESES ENVISAGEABLES

A.1. Causes de mortalité se rapportant à un problème alimentaire

Il s'agit là d'une des causes les plus fréquentes de mortalité chez les populations d'oiseaux sauvages. Cependant, plusieurs mécanismes peuvent amener un animal à "mourir de faim". Une première distinction doit être faite entre un défaut alimentaire qualitatif et un défaut alimentaire quantitatif

A.1.1. Chute de la qualité de l'aliment

Un animal se nourrissant d'un aliment inapproprié développe à moyen terme des carences énergétiques ou élémentaires qui l'affaiblissent de façon générale et le rendent susceptible à toutes sortes de menaces (prédation, intempéries, infections...).

Au niveau de la population, on observera une mortalité chronique touchant en premier lieu les jeunes ainsi qu'une chute drastique du succès reproductif (parfois, les animaux ne se reproduisent même pas)(Van der Hutt, 2000). Au niveau individuel, on doit alors observer des signes de carence ou de faiblesse générale (os fragiles, anémie, et autres signes plus ou moins pathognomoniques de carence), une émaciation (mais pas nécessairement si la ration est énergétiquement suffisante) et surtout retrouver dans les estomacs un aliment ne répondant pas aux besoins de l'animal (ce qui sous-entend de connaître précisément son régime). On peut également s'attendre à trouver des causes finales de mort qui sont typiques d'animaux affaiblis: Hypo/Hyperthermie, infections fongiques, etc... Ce diagnostic peut être complété par la recherche des informations données ci-après pour chaque cas.

A.1.1.1. Diminution de la qualité de la source alimentaire usuelle

Il peut arriver que la couverture des besoins d'un oiseau soit non seulement spécialement dépendante d'une espèce-proie, mais aussi, encore plus particulièrement, d'un certain stade de la vie de cette espèce. Les oiseaux se nourrissant de coquillages, par exemple, dépensent beaucoup d'énergie pour capturer les proies et les broyer (avec la coquille) dans leur gésier. Si le rapport pondéral entre le poids de la coquille et le poids total de l'animal est trop élevé, le rendement énergétique de la prédation devient très faible, au point de ne plus permettre à l'animal de subvenir à ses besoins énergétiques. Cela peut se produire si la pyramide des âges de la population des espèces-proies est perturbée (par exemple par pêche des individus jeunes à coquille plus fine). La population des espèces proies peut également être elle-même victime d'une carence qui se répercute alors sur ses prédateurs.

Il faudra alors, pour mettre en évidence une telle cause, procéder à des analyses des proies trouvées dans l'estomac, afin d'évaluer leur valeur alimentaire (Énergie, Valeur biologique, composition minérale et vitaminique, etc...), et les comparer si possible à des proies prélevées par des animaux sains (Nehls, 2001).

A.1.1.2. Transition alimentaire vers des sources alimentaires alternatives de qualité moindre

Plusieurs causes peuvent pousser un animal à utiliser une source alimentaire alternative qui peut être carencée (déséquilibre protéinique, vitaminique...) ou bien dont la capture représente une dépense énergétique trop importante par rapport à la valeur énergétique qu'elle apporte. Le diagnostic est aisé si l'on connaît les habitudes alimentaires de l'espèce et se fait par observation du contenu stomacal, mais la cause de la transition alimentaire peut être plus difficile à déterminer. On peut reconnaître trois cas de figure : la compétition alimentaire, la disparition de la source alimentaire ou encore le blocage de l'accès à la source alimentaire.

A.1.1.2.1. Compétition alimentaire

Une transition vers des sources alimentaires alternatives peut être observée lorsqu'une nouvelle espèce colonise un écosystème ou s'y développe excessivement et rentre en compétition avec d'autres espèces. La compétition peut être directe ou indirecte en appauvrissant directement la source alimentaire d'un autre animal ou bien en détériorant un niveau inférieur de sa chaîne alimentaire. C'est ce cas qui a été décrit dans la Mer du Nord avec l'algue *Phaeocystis* qui, entrant en compétition avec les autres espèces végétales des fonds marins, a perturbé à leur base de nombreuses chaînes alimentaires. On parle alors d'eutrophisation (Lancelot *et al.*, 1997). Dans ce cas, le développement excessif de l'algue a été expliqué par la pollution de l'eau de mer par des dérivés azotés et phosphatés issus de l'activité humaine. On peut également observer une disparition de certaines espèces-proies due à leur prélèvement par l'homme, ce qui représente en fait un cas particulier de compétition.

Pour mettre en évidence une telle cause il faudra établir une corrélation temporelle entre la régression de l'espèce étudiée et l'apparition d'une espèce compétitrice directe ou indirecte. L'étude des régimes alimentaires doit également mettre en évidence une compétition. Cela n'est malheureusement pas toujours possible, par manque de données sur les populations des différentes espèces de l'écosystème. A défaut, dans certains cas, des sources indirectes d'information peuvent aider à évaluer les fluctuations démographiques des espèces de l'écosystème. Pour les poissons, par exemple, les statistiques de pêche dans la région étudiée sont un outil précieux.

A.1.1.2.2. Disparition de la source alimentaire usuelle

Une espèce-proie peut disparaître d'un écosystème de façon temporaire ou permanente pour différentes raisons. Lors d'hivers rigoureux, les morts massives des espèces constituant la base des réseaux trophiques se répercute sur les niveaux supérieurs qui se dirigent alors vers des sources alternatives. C'est ainsi qu'on observe dans les écosystèmes à hivers froids comme la Mer du Nord, des mortalités plus élevées chaque hiver, avec des pics lors d'hivers particulièrement rigoureux. De façon générale, lorsqu'une espèce proie disparaît, les raisons de sa disparition doivent à leur tour être élucidées, ce qui passe par une démarche similaire à celle décrite dans ce chapitre...

Le diagnostic de cette cause passe ici par un suivi démographique des espèces proies.

A.1.1.2.3. Blocage de l'accès à la source alimentaire usuelle

Dans certains cas, le gel de la surface de l'eau ou du sol peut rendre l'accès aux espèces proies impossible (poissons, vers...) et forcer les oiseaux à chercher ailleurs leur nourriture. Parfois, des causes moins évidentes peuvent bloquer l'accès à l'aliment, tels qu'un facteur de stress à proximité de la source d'aliment. L'installation d'un prédateur près d'une colonie reproductrice peut par exemple générer un stress suffisant pour empêcher les oiseaux de se nourrir sur les meilleurs sites.

Le diagnostic de cette cause découle de l'observation d'un changement de comportement de chasse des oiseaux. Dans les cas de gel de l'eau, la simple observation de l'environnement permet de comprendre le problème.

A.1.1.3. Chute de la quantité d'aliment disponible

Lorsque l'animal n'a pas accès à une source alimentaire satisfaisante (voir les cas ci-dessus) et qu'il n'existe pas de recours à une source alimentaire alternative, il se retrouve rapidement en déficit énergétique.

Dans un premier temps, les symptômes observés au niveau de la population ne sont peu caractéristiques, comme dans le cas d'un problème qualitatif, mais l'évolution vers la mort est plus rapide. Le premier paramètre à souffrir d'un déficit alimentaire est ici encore l'efficacité de la reproduction (Bouquegneau *et al*, 1997). On observe ensuite des mortalités chroniques à sub-aiguës selon la rapidité de l'épuisement des ressources alimentaires: en effet, à partir d'un certain seuil, les animaux ne peuvent même plus subvenir aux besoins de leur métabolisme basal. Les symptômes observés sont alors dominés par une forte cachexie, ainsi que chez les animaux de petite taille, par un phénomène de diathèse hémorragique dans les parties crânielles de l'intestin. Il s'agit d'un défaut de renouvellement des cellules de l'épithélium intestinal, dont le turn-over est chez la plupart des oiseaux de 2 à 3 jours. Le métabolisme élevé de ces cellules est très demandeur en énergie. Ce sont donc parmi les premières cellules de l'organisme à souffrir d'un état hypoénergétique. En leur absence, des hémorragies se développent dans l'intestin, ce qui se manifeste à l'autopsie par un contenu digestif noirâtre, du duodénum jusqu'à un point plus ou moins distal du tube digestif, selon l'ancienneté du phénomène.

A.2. Causes de mortalité liées à un problème de stress

Les oiseaux sont des animaux connus pour leur sensibilité particulière au stress, qu'il soit physique ou psychologique, avec des variations entre les différentes espèces. On distingue usuellement des situations de stress chronique ou de stress aigu.

A.2.1. Stress chronique

Ce problème peut être rencontré lorsque les animaux sont dérangés de façon régulière par un élément auquel ils ne s'accoutument pas et duquel ils ne peuvent pas s'abriter de façon durable. On rencontre rarement des cas de stress psychologique chronique hors des conditions de captivité (il est très rare de trouver des publications sur des mortalités liées à un stress chronique sur des oiseaux sauvages). Cependant, le tourisme excessif dans les zones de reproduction des oiseaux peut être considéré d'une certaine façon comme cause de stress chronique. Les variations de température et de salinité du milieu ont également été citées comme facteurs de stress physique pouvant affecter les animaux (Klaassen, M., 1990a et 1990b). Les animaux sujets à un stress chronique sont souvent immunodéprimés (activation de l'axe corticotrope), et la stimulation permanente des surrénales se met en évidence par une hypertrophie de ces dernières. Dans le cas de stress thermique ou osmotique, ces lésions peuvent être absentes, pour faire place à des lésions plus caractéristiques de la cause finale de la mort (déshydratation et ses conséquences...).

Les mortalités de la population sont alors plus élevées de manière générale, et le succès reproducteur chute fortement. En effet, la reproduction de la plupart des espèces d'oiseaux requiert des conditions de tranquillité suffisantes, ainsi que plusieurs impératifs environnementaux (par exemple, si la température est trop haute, les oeufs sont très vite endommagés chaque fois que les adultes quittent le nid). Ainsi, dans la plupart des cas, lorsque des facteurs de stress apparaissent dans un milieu, celui-ci est tout simplement déserté par les colonies reproductrices (Van der Hutt, 2000).

Le diagnostic d'un problème de stress chronique est parfois difficile à établir. L'hypertrophie des surrénales n'est pas toujours observée dans les cas de stress psychologique, d'autant plus qu'après la phase d'hypertrophie, une stimulation encore plus prolongée aboutit à une phase d'atrophie. Des paramètres tels que le succès reproducteur sont de toutes façons affectés bien avant l'observation de ce type de lésion. Il n'y a pas vraiment d'image épidémiologique, clinique ou lésionnelle typique du stress, et il faut donc recourir à un diagnostic par exclusion. Le stress est trop souvent incriminé de façon abusive pour justifier des mortalités. Il peut en effet être impliqué dans bien des cas, mais pour pouvoir le désigner comme cause primaire il est essentiel d'éliminer tous les autres diagnostics. De plus, il faut être capable de trouver la source de stress, ce qui peut s'avérer très complexe dans certains cas, soit parce que l'observateur n'est pas là au bon moment, soit parce que l'élément stressant n'est pas reconnu comme tel par l'observateur... La découverte d'un facteur de stress passe donc par une connaissance précise des besoins de l'animal.

A.2.2. Stress aigu

Ce cas est plus fréquent, et assez typique du stress psychologique que sont susceptibles de subir les oiseaux sauvages. Il s'agit d'un événement ponctuel perturbant les oiseaux. Lorsque le stress est important, des oiseaux peuvent mourir de choc (ce phénomène a été bien décrit chez les volailles en captivité: on a observé des mortalités importantes suite à un survol des élevages par un avion, par exemple...). Cependant, si le stress est moindre, les oiseaux s'enfuient simplement vers un endroit plus calme, ce qui n'a pas de conséquences chez les groupes d'adultes. En revanche, chez les colonies

reproductrices, les conséquences de l'abandon des nids peuvent aboutir à une sérieuse chute de l'efficacité de reproduction. En effet, un nid laissé sans surveillance, même pendant une durée limitée, devient vulnérable à de nombreuses menaces: prédation, hyper/hypothermie, et à plus long terme défaut d'alimentation pour les oisillons (rappelons qu'aux stades les plus précoces de leur vie, ceux-ci sont nourris très souvent, 5 fois par jour chez les spatules par exemple). En outre, il a été montré que sous l'influence d'un stress aigu, certaines espèces d'oiseau comme les spatules étaient capables de désertir complètement leurs sites de nidification pour aller s'installer ailleurs (parfois pour recommencer à nidifier) (Van der Hutt, 2000).

Parfois, il est impossible de remonter à la cause du stress. On observe classiquement des colonies désertées, et l'élément stressant peut ne pas laisser de traces. Il est important de rechercher des traces de prédation, mais il sera de toutes façons difficile d'affirmer que la prédation est la cause du stress, puisqu'elle peut aussi être une conséquence de l'absence de surveillance des nids...

En conclusion, les oiseaux sauvages sont majoritairement exposés à un stress physique chronique et à un stress psychologique aigu. Ce stress est certainement un élément déterminant dans plusieurs cas de mortalité dans des populations d'oiseaux sauvages, mais le diagnostic (par exclusion) de cette cause est bien souvent difficile, et ne peut en général être avancé qu'à titre d'hypothèse.

A.3. Traumatismes

De nombreuses morts d'oiseaux ont des origines traumatiques. On distingue des causes naturelles et des causes anthropogènes.

A.3.1. Causes Naturelles

Il s'agit principalement de la prédation. Notons ici que la prédation a déjà été citée comme facteur de stress. Un même facteur est en fait souvent responsable de mortalités par plusieurs mécanismes. L'incidence de la prédation sur une population d'oiseaux sauvages est très dépendante du lieu, et en particulier de la biocénose de ce lieu. La prédation est par exemple plus importante pour les spatules nidifiant sur les côtes continentales de la Mer du Nord (présence de renards) que les spatules nidifiant sur les côtes des petites îles du Banc d'Arguin qui ne sont pas peuplées par les chacals. Il convient cependant de remarquer que les jeunes ou les oeufs d'une espèce donnée peuvent être les proies d'espèces qui ne s'attaquent pas aux adultes. Ainsi, sur le Banc d'Arguin, les sternes peuvent par exemple attaquer les nids des spatules quand ces dernières s'en éloignent.

L'impact de la prédation sur la population est une mortalité chronique dans la plupart des cas (cause de mort normale chez les adultes), ou bien aiguë dans le cas de colonies reproductrices soudainement attaquées par des prédateurs. Selon les prédateurs, seuls les jeunes ou la totalité de la population sera touchée. De façon générale, lorsqu'il y a des jeunes dans la population, ils sont toujours plus touchés par la prédation. Au niveau individuel, il est souvent facile de reconnaître un animal qui a été victime de prédation,

lorsqu'il en reste quelque chose! En l'absence de cadavre on peut tout de même détecter la visite d'un prédateur par les traces qu'il laisse dans le sol (chacals, renards...), des plumes qu'il laisse sur le site (Rapaces) ou autres indices.... Il faut tout de même signaler que l'augmentation de l'incidence de la prédation dans une population n'est pas toujours due à une augmentation du nombre ou de l'agressivité des prédateurs, mais peut aussi venir d'un affaiblissement de la population pour une autre raison (famine, maladie...). Notons aussi que certaines espèces de prédateurs sont également des charognards occasionnels. Il sera difficile de faire la différence entre un animal qui a été dévoré avant ou après sa mort si on ne peut récupérer qu'une partie de ses restes. Lorsque cela est possible, la recherche de traces d'hémorragie cutanée, d'hématomes, d'ecchymoses permet de faire la différence avec un animal qui était déjà mort lorsqu'il a été dévoré.

A.3.2. Causes anthropogènes

De nombreuses installations humaines sont susceptibles de piéger (filets de pêche, cordes), étouffer (sacs plastiques, containers), ou de créer des risques de percussions (lignes électriques, routes) chez les oiseaux sauvages. On peut regrouper ces causes sous le nom de pollution physique de l'environnement. Mais les comportements humains tels que la chasse sont aussi responsables de morts. L'importance du risque dépend bien sûr de la densité de population de la zone étudiée, mais aussi de l'intensité de son exploitation par l'homme. La Mer des Wadden est un exemple typique de zone aux rivages fortement peuplés, avec une exploitation intensive par l'homme. A l'opposé, le Parc National du Banc d'Arguin présente des risques très limités de traumatismes liés à des facteurs anthropogènes.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur la mer des Wadden, il est très difficile d'évaluer l'incidence de ces causes de mort, car les responsables cherchent rarement à se faire connaître. De plus, quand l'animal n'est pas trouvé mort à côté de l'objet qui a causé le traumatisme, il peut être très difficile de déterminer la cause précise de la mort.

A.4. Intoxications

Il s'agit là dans certaines régions de la plus forte cause de mortalité d'oiseaux sauvages. On trouve des cas d'intoxication liés aux pollutions de l'environnement par les pesticides, les effluents d'élevage, ou autres déchets industriels ou ménagers mais aussi les nappes de pétrole et les micro-organismes toxiques. Parfois, un aliment normal peut devenir toxique par certains procédés (fermentation alcoolique des fruits...). (Touiti, 1998).

A.4.1. Intoxication par des toxiques organiques

Certaines molécules, comme les dioxines Chlorates peuvent causer des dommages à partir de doses très faibles (quelques ng/Kg). Selon la substance, les effets peuvent être observés non seulement sur l'animal lui-même mais aussi sur sa progéniture. Entre 1960 et 1965, un fort pic de mortalité a été observé chez plusieurs espèces d'oiseaux de la mer

des Wadden. Les populations reproductrices ont chute de 70% chez certaines espèces comme les Eiders à duvet, et jusqu'à 95% chez la sterne royale. Cette mortalité a pu être mise en relation avec la présence de produits chimiques chlores dans l'eau (Telodrine et Dieldrine). L'origine de ces substances était une usine chimique produisant des pesticides. Ce type de pollution semblait affecter principalement les oisillons ou les jeunes juste après le sevrage (entre 4 et 8 semaines d'âge). Deux mécanismes ont été proposés pour expliquer les pics de mortalité observés. Tout d'abord, les animaux contaminés dans l'œuf meurent peu après la naissance, lorsqu'ils résorbent leur vitellus chargé de toxiques. Le second pic de mortalité touche les oiseaux ayant accumulé les toxiques dans leur tissu adipeux après la naissance. Lors du sevrage, la forte dépense énergétique induit une mobilisation des réserves adipeuses et donc un relargage des toxiques (Van der Hutt, 2000).

Les évolutions observées peuvent aussi bien être aiguës que chroniques, ou encore ne toucher qu'une fraction de la population. Parfois seul le succès de reproduction est affecté, chaque toxique étant particulier, de même que les conditions de son introduction dans l'environnement (catastrophe ponctuelle, rejet chronique et régulier, rejet lié à une activité saisonnière...) Le diagnostic de telles intoxications passe par la mise en évidence de lésions plus ou moins caractéristiques, mais aussi et surtout par la découverte d'une source de pollution plausible (les toxiques doivent pouvoir atteindre les animaux), d'une voie d'intoxication pour les oiseaux, et si besoin d'une relation temporelle entre un rejet de toxiques dans l'environnement et les mortalités. Dans les cas où les Doses Maximales Sans Effet sont connues, il peut être suffisant d'observer des lésions et de constater des concentrations de toxiques supérieures aux DSE. Cependant, comme il l'a été remarqué par JM Andre (1997), les concentrations dans le milieu ne sont pas toujours un paramètre pertinent à étudier. Les animaux sont souvent intoxiqués par leurs proies, et intoxiquent à leur tour leurs prédateurs. Certains composés chimiques ont une capacité à s'accumuler le long des chaînes alimentaires pour atteindre une concentration maximale au sommet de la chaîne.

Le cas du pétrole et autres substances lipophiles est particulier, puisqu'il induit une intoxication mais peut aussi tuer les oiseaux par "mazoutage". Le plumage perd ses propriétés isolantes et hydrofuges, l'oiseau perd partiellement ou totalement la portance de ses ailes, s'alourdit et meurt de faim, d'épuisement, d'asphyxie ou d'intoxication suite à l'ingestion du mazout. Les morts peuvent là encore suivre un schéma chronique ou aigu selon le type de pollution. Le diagnostic est parfois plus facile que pour des toxiques créant seulement des lésions internes. Le dépôt sur le plumage est souvent observé. Les cas sans traces sur le plumage peuvent poser problème, mais ils sont rarement retrouvés de façon isolée, et les animaux souillés qui les accompagnent peuvent orienter fortement le diagnostic.

A.4.2. intoxication par des toxiques minéraux

L'intoxication par des éléments simples est également possible. Le Fer est par exemple un élément qui peut être toxique si ingéré en trop fortes quantités par certaines espèces d'oiseaux. La source peut être alimentaire (consommation d'un aliment alternatif plus riche en un élément donné) Le diagnostic n'est pas facile s'il doit être fait après la mort. Certaines lésions, pour chaque élément, sont plus ou moins évocatrices. Chez certains oiseaux, par exemple, l'intoxication au fer donnera des lésions hépatiques

(accumulation de pigments liés au fer dans les hépatocytes) qui pourront être reconnues macroscopiquement et caractérisée par une coloration histologique marquant le fer (Coloration de Pearl).

A.4.3. Intoxication par des micro-organismes: intoxication

Notons enfin le cas de certains composés qui ne sont pas toxiques en eux-mêmes mais qui peuvent favoriser le développement d'organismes produisant à leur tour des toxines (algues, flagellés) ou bien entrant en compétition avec d'autres acteurs de l'écosystème comme nous l'avons déjà vu. C'est peut-être ce qui a causé la mort de nombreux ibis chauves en mai 1996 sur la cote marocaine (Touti *et al.*, 1999). Des algues de type *Merismopedia*, *Synechococcus* et *Oscillatoria*, à fort pouvoir toxigène ont en effet été retrouvées dans l'eau de mer pendant la période des mortalités. Notons à titre d'anecdote que parmi les toxiques produits par les micro-organismes, l'éthanol a parfois été suspecté pour expliquer des mortalités chez les oiseaux frugivores consommant des fruits pourris (Touti *et al.*, 1999).

Sur le terrain, il est possible de prélever les "organes filtres" (foie et reins) et de les sécher. La plupart des toxiques résistent à la dessiccation, et il sera donc possible d'utiliser les échantillons *a posteriori*, pour un dosage en laboratoire.

A.5. Maladies bactériennes et virales

Il existe un très grand nombre de maladies infectieuses qui peuvent toucher les oiseaux sauvages, et nous ne nous lancerons pas dans un inventaire de celles-ci. Cependant, chaque espèce présente des dispositions particulières qu'il faut connaître afin d'orienter le diagnostic. Il est connu par exemple que les oiseaux d'eau sont souvent touchés par le botulisme, en Europe en particulier (Van der Hutt, 2000).

Quoi qu'il en soit, aucune cause infectieuse ne peut être exclue *a priori*, et c'est pourquoi des examens complémentaires sont utiles. Bien souvent (et c'est le cas dans les deux exemples que nous traiterons ici) les informations disponibles avant de se rendre sur le terrain ne permettent pas d'exclure catégoriquement certains agents bactériens ou viraux. Il faut donc se laisser la possibilité de faire un maximum de tests sur place ou au moins de prendre les échantillons nécessaires.

Les outils utilisables sont: le tableau épidémiologique (plus ou moins caractéristique selon le cas), le tableau clinique (lorsqu'il peut être observé), le tableau lésionnel (très utile, peut être réalisé sur place) et les examens complémentaires. Ces derniers sont rarement envisageables sur le terrain, mais pas tous. Les calques d'organes colorés (Hemacolor) peuvent se révéler très utiles, pour mettre en évidence la présence de bactéries dans un organe (on peut reconnaître les bactéries sporulées, les coques, les bacilles...), de champignons, de levures... Mais il est aussi possible de reconnaître des corps d'inclusion provoqués par certaines maladies virales. L'importance de la réaction inflammatoire peut être évaluée, les cellules animales peuvent être identifiées... Grossièrement, la cytologie donne beaucoup d'informations, mais ne renseigne pas sur

l'agencement des cellules, la répartition des fluides, etc... Il faut pour cela faire appel à l'histologie.

L'histologie demande bien sur un matériel trop lourd pour être faite sur le terrain, mais il est très facile de collecter des organes dans le formol et de les utiliser *a posteriori* pour l'histologie (pas de limite de conservation), à condition de s'assurer que l'épaisseur des pièces fixées ne dépasse pas 1cm. En effet, au delà de cette épaisseur, le formol ne diffuse pas assez rapidement pour assurer une bonne conservation.

La bactériologie est évidemment très importante, mais difficile à réaliser sur le terrain. Des techniques de transport de milieux de culture doivent donc être prévues. Il faut donc disposer soit d'un appareil de réfrigération mobile, soit de milieux de transport. Ceci dit, ces deux techniques de conservation ne préservent la valeur analytique des échantillons que pour une durée limitée. La combinaison des deux est possible. En utilisant des écouvillons équipés de milieux de transport qui sont réfrigérés immédiatement, on peut réaliser des analyses bactériologiques d'organes jusqu'à au moins 10 jours après prélèvement.

Toutes sortes de tests sont envisageables, et il existe souvent des solutions pour les adapter aux conditions de terrain. Cependant, si on part "à l'aveuglette" il est difficile de prévoir des tests pour tout. En l'absence de piste particulière, on se contentera de faire un examen bactériologique général. La virologie peut être faite par microscopie électronique, à partir des échantillons conservés dans le formol.

A.6. Parasitisme

Les parasites sont souvent incriminés dans les problèmes d'affaiblissement des populations sauvages. Dans quelques cas, les mortalités peuvent être entièrement expliquées par le parasitisme, mais il s'agit bien plus souvent d'un ensemble de facteurs.

Borgsteede (1997) donne une liste des parasites que l'on peut attendre chez les oiseaux maritimes. Les espèces connues de parasites qui peuvent poser de vrais problèmes sont réparties en 7 ordres: Protozoa, Cestoda, Trematoda, Nematoda, Acanthocephala, Arthropoda et Pentastomida.

Parmi les protozoaires, la coccidiose rénale a été décrite comme une cause de mort. Le diagnostic se fait par observation de la fraction urate (blanche) des fientes sous le microscope. Les cestodes, très fréquents, ne sont pas connus comme cause de mort, sauf lors d'obstructions intestinales. Les trématodes sont aussi très fréquents et peuvent parfois atteindre de grands nombres sans altérer fortement l'état de santé. Les nématodes sont situés dans l'œsophage et le jabot (spiruridés, ascaridés), dans l'estomac sous la couche de Koilin (*Amidostomum*), et dans l'arbre respiratoire (*Syngamus*, *Cyathostoma*). Dans l'ordre des acanthocéphales, *Profilicollis botulus* a été signalé en très grandes quantités chez les canards Eider. Enfin, les arthropodes et les pentastomida sont plus importants en tant que vecteurs de maladies (protozoaires, virus) que par leur action directe.

La plupart de ces parasites sont détectés lors de l'examen nécroscopique de base. En outre, lorsque cela est possible, une coproscopie devrait être faite sur tous les cadavres autopsiés.

B. APPLICATION A DEUX CAS PRATIQUES

Les conditions des morts dans les deux exemples que nous développerons ici sont différentes. Tout d'abord, la richesse des connaissances avant les deux études n'était pas équivalente. Pour le cas des Eiders, les années précédentes ont apporté de nombreuses informations et des hypothèses sur la cause de la mort des Eiders. Pour les spatules, en revanche, aucune recherche n'avait été menée auparavant sur les causes de mortalité des spatules, à part de simples observations et comptages. De plus, le lieu de mort des Eiders est suffisamment proche de la faculté d'Utrecht pour avoir permis un envoi des cadavres encore frais à la Faculté vétérinaire. Il était bien entendu impossible d'en faire de même pour les spatules et autres animaux du PNBA, étant donnée les délais du courrier entre la Mauritanie et les Pays-Bas (la Mauritanie ne disposant pas de centres de recherches suffisamment équipés).

Pour chaque cas, nous avons donc été amenés à faire des choix logistiques, de trouver des solutions pour répondre aux questions posées tout en s'adaptant au terrain.

B.1. Les Spatules sur le Banc d'Arguin

B.1.1. Observations et prélèvements

La mission de base s'est étalée sur 2 semaines du 14 mai 2002 au 30 mai 2002. Ces dates avaient été planifiées afin de se situer en plein cœur de la période à laquelle les mortalités avaient été observées les années précédentes. Un des buts était donc de récolter des cadavres de spatules afin de réaliser des autopsies complètes. L'essentiel de la mission a donc consisté à sillonner le Banc d'Arguin à la recherche des différentes colonies de spatules, à en effectuer le comptage systématique (Adultes, et éventuellement oeufs et oisillons), et à prélever les animaux morts d'une part et les animaux faisant partie du réseau trophique des spatules d'autre part (Annexe0). Malheureusement, pendant les deux premières semaines de la mission, les spatules n'ont pas présenté de mortalité, comme chaque année à la même date, et un retard de nidification que nous n'avons pas pu expliquer a été noté dans toutes les colonies. Seule une jeune spatule (âge estimé de 4 jours) trouvée sur l'île de Zira (Île où la reproduction était la plus avancée), dont l'état général ne permettait pas la survie (Bec fendu sur toute sa longueur), a été euthanasiée et une autopsie complète a été faite (le protocole est donné en annexe). Les autres animaux autopsiés et les prélèvements faits sont donnés ci-après. Le reste des observations a permis d'identifier des colonies importantes, notamment sur l'Île de Cheddid (plus de 2000 couples reproducteurs). Le nombre total de couples reproducteurs a été estimé à 2500, ce qui ne représente pas de différence frappante avec les années précédentes. Nous avons également observé une tendance des classes d'âges à former des groupes. En effet, la plupart des groupes observés étaient toujours constitués d'une grande majorité de subadultes (identifiés par l'extrémité noire de leurs ailes) ou d'adultes. L'observation des individus ne permettait pas de soupçonner une maladie, et les comportements

alimentaires, sexuels et sociaux nous ont paru normaux. Notons cependant que pour la première fois, un accouplement a été observé entre un adulte de la sous-espèce *leucorodia* et un adulte de la sous-espèce *balsaci*, ce qui tend à nuancer la division stricte entre deux sous-espèces vraies.

La mission, prolongée par une partie de l'équipe (Otto Overdijk, jusqu'au 6 juin), a permis d'observer les traces d'une véritable catastrophe sur la colonie reproductrice de Nair le 31 mai 2002. Toutes les spatules avaient en effet déserté la colonie, et seuls restaient les nids, quelques rares adultes morts portant des traces de traumatisme, ainsi que des oeufs et des jeunes pour la plupart très endommagés. Des traces de chacals ont été en outre relevées sur toute la zone de la colonie, alors que l'île de Nair ne présente aucun terrier de chacal. C'est donc un tableau épidémiologique suraigu, touchant principalement les jeunes qui a été décrit.

Le programme de la mission est donné en annexe0 ainsi que l'inventaire du matériel emporté.

L'inventaire des pièces qui ont été récoltées pendant la mission et rapportées en Hollande est:

Foies de poisson: Sole x1
 Ceranide x3
 Poisson-Chat x4
 Bar x1
 Tumeur cutanée de Poisson-Chat x1
 Animaux entiers: Crabe Uca x1
 Méduse x1
 Hirondelle x2
 Oeuf embryonné de spatule x2
 Coque géante x1
 Organes d'une jeune spatule x1
 Echantillons de sable : x 6
 Echantillons d'algues zoosteres : x 5
 Echantillons d'eau : sur chaque île

Chaque prélèvement organique a été fixé dans le formol et délivré au laboratoire d'histologie de la Faculté Vétérinaire d'Utrecht pour la préparation de coupes histologiques. Pour chaque échantillon, une coloration standard (Hématoxyline Eosine) et une coloration marquant le fer (Coloration de Pearl ou Bleu de Prusse) a été réalisée.

B.1.2. Résultats des tests réalisés pour chaque hypothèse

B.1.2.1. Alimentation

L'estomac de la seule spatule qui a été observée était rempli de crevettes, et le ventricule-proventricule avait une taille remarquable, mesurant plus d'un quart de la longueur totale. La condition musculaire et l'état général de l'animal confirmaient que l'animal ne souffrait d'aucune carence élémentaire ou énergétique sévère. Aucune déplétion des stocks de proies suffisamment grave pour affecter les spatules n'a été signalé par les services de contrôle de la pêche (agents du CNROP de Nouadhibou). Enfin, de nombreux sites de reproduction ont été relevés, ce qui montre que le comportement reproducteur n'est pas affecté.

B.1.2.2. Stress

Aucun élément de la seule autopsie réalisée sur une spatule ne permettait de soupçonner un stress quelconque. Les surrénales ne présentaient aucun remaniement, et aucun organe ne présentait de modification évoquant un stress physique. Les observations des colonies n'ont pas fourni non plus d'éléments en la faveur de cette hypothèse. Aucun événement brutal n'a en effet généré un stress aigu chez les populations pendant notre présence. Notons qu'il est très peu probable d'être là au moment même où le stress intervient.

En revanche, la situation observée sur Nair le 31 mai 2002 est fortement évocatrice d'un stress aigu.

Notons que stress cause par les observations elles-mêmes n'a pas semblé perturber excessivement les colonies. Les animaux occupés à couvrir attendaient habituellement le dernier moment pour s'enfuir à notre approche, et revenaient sur les nids dès que nous nous éloignions. Les périodes de dérangement n'ont jamais dépassé 5 minutes, ce qui était suffisamment peu pour éviter tout dommage à la progéniture.

B.1.2.3. Traumatisme:

Aucun élément ne soutenait cette hypothèse chez les animaux observés pendant les deux premières semaines de la mission.

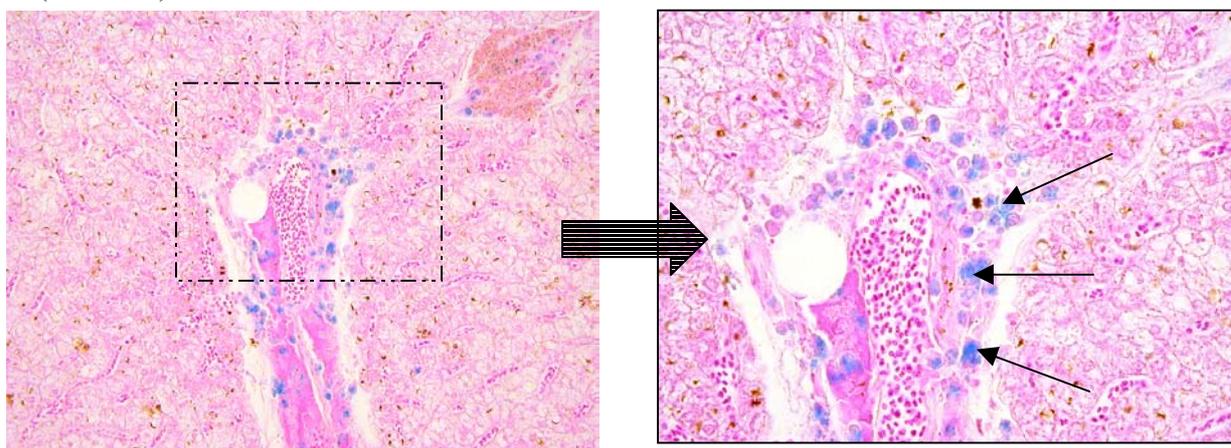
Les oisillons morts et les oeufs trouvés sur Nair portaient des traces évidentes de prédation. Il n'a pas été possible de déterminer si la prédation avait eu lieu avant ou après la mort.

B.1.2.4. Intoxication:

Des échantillons de tous les éléments nutritifs pouvant appartenir à la chaîne alimentaire des spatules ont été prélevés sur le PNBA. Cela inclut des échantillons d'eau, de sédiments, d'algues de poissons et de crustacés. Trois oiseaux d'espèces différentes

ont été également trouvés fraîchement morts et autopsies (même protocole que le protocole spatule). Aucune altération macroscopique ou microscopique pouvant évoquer une intoxication particulière n'a été détectée.

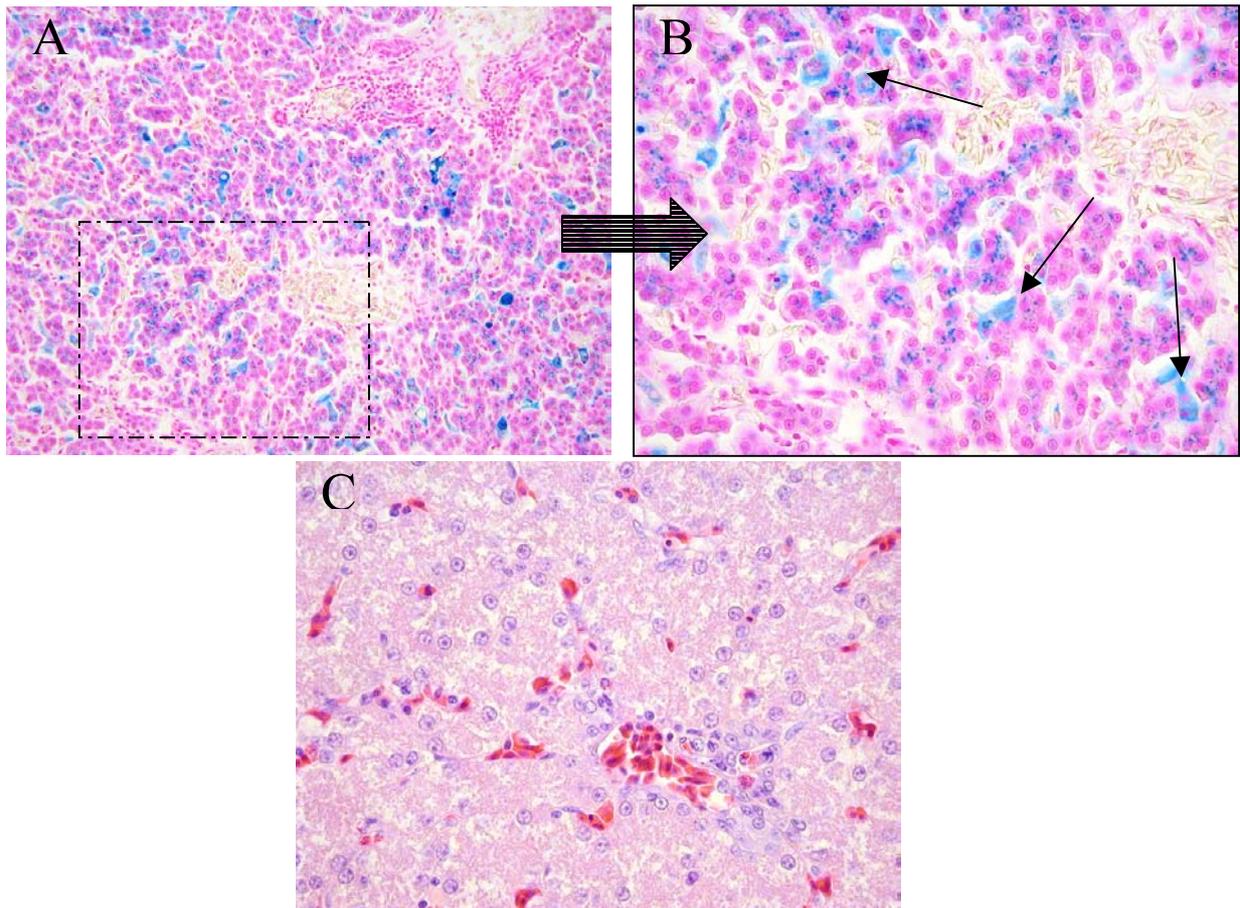
En revanche, tous les foies récoltés (poissons, oiseaux) présentaient des concentrations de fer assez élevées, observée par microscopie optique sur les coupes histologiques colorées par la coloration de Pearl. Cependant aucun des cas ne présentait une accumulation suffisante pour pouvoir soutenir la thèse d'une mort par intoxication au fer (Photos 1).



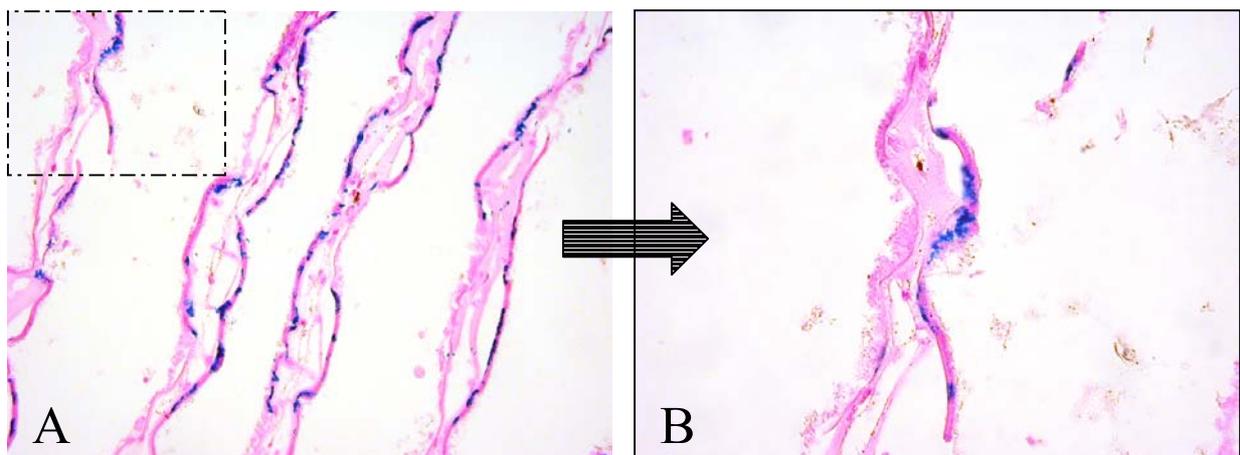
Photos 3: Coupe histologique de foie de poisson céranidé coloré à la coloration de pearl, objectif 40 (à gauche) et 100 (à droite). Noter la présence de fer principalement dans les macrophages, et beaucoup moins dans les hépatocytes.

Chez la spatule, le fer était concentré dans les cellules de Kupffer (Photos 2). La présence de fer dans le foie peut être liée à deux phénomènes principaux. Lors de la pénétration d'un agent infectieux dans l'organisme, une des premières réactions immunitaire non spécifique est la capture du fer dans les macrophages. On observe alors les accumulations de fer les plus importantes dans les macrophages de la rate et dans les cellules de Kupffer du foie. Dans d'autres cas, chez certaines espèces d'oiseaux (mainates en particulier) le fer d'origine alimentaire tend à s'accumuler s'il est ingéré en trop fortes quantités. Il est alors principalement retrouvé dans le foie (hépatocytes et cellules de Kupffer), et peut, s'il est en trop fortes quantités, générer des troubles du fonctionnement de l'organe.

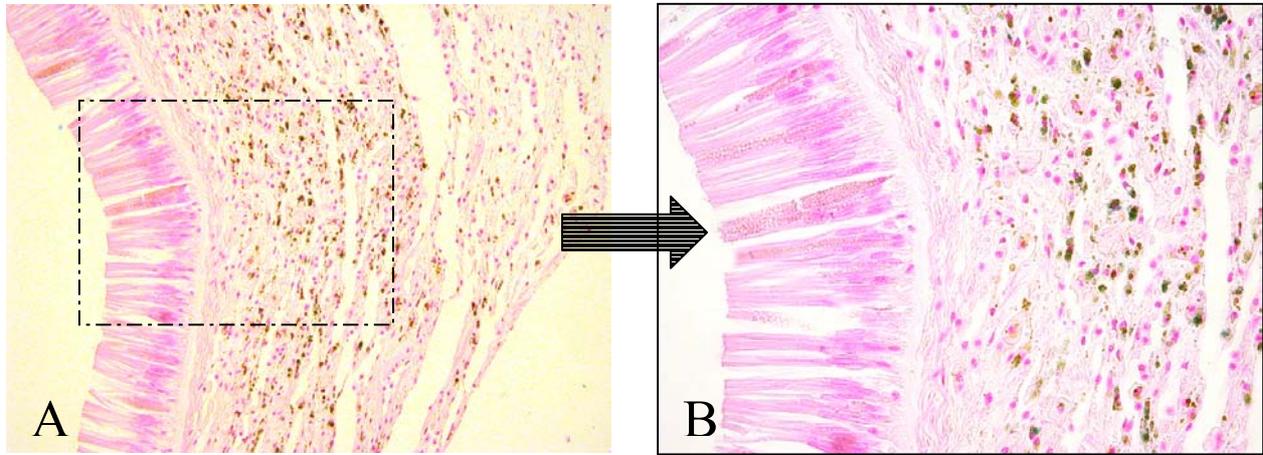
Chez tous les animaux, l'accumulation de fer n'a été détectée que dans le foie. Chez la spatule, le fer se situait principalement dans les cellules de Kupffer. Notons que l'accumulation de fer, surtout s'il s'agit d'une origine alimentaire, est très surprenante chez un animal si jeune. Chez les poissons, l'accumulation hépatique de fer a été notée dans les îlots riches en macrophages (caractéristiques de la structure histologique du foie des poissons). Chez la coque géante, du fer a été retrouvé sous le tégument. Enfin, chez le crabe *Uca*, du fer a été retrouvé en dépôts sur les branchies (Photos 3).



Photos 4(Ci-dessus) Coupe histologique de foie de spatule coloré à la coloration de pearl, objectif 40 (A) et 100 (B). Noter la présence de fer principalement dans les cellules de Kupffer, et beaucoup moins dans les hépatocytes. C: Coupe histologique de foie de spatule (objectif 100), donnée à titre d'exemple de lame colorée par la technique HE (Hématoxyline Eosine). Le fer peut alors apparaître comme une coloration marron à verdâtre, parfois difficile à détecter, et dans tous les cas non spécifique. On reconnaît en revanche beaucoup mieux les cellules et leur ultrastructure, permettant de mettre en évidence des éléments plus fins, tels des corps d'inclusion viraux, des effets cythopathogéniques ou encore la présence de colorations anormales du cytoplasme, du noyau ou de la matrice extra-cellulaire.



Photos 5: Coupe histologique de branchies de crabe *Uca* colorée à la coloration de Pearl, objectif 40 (A) et 100 (B). Noter les dépôts de fer extracellulaire sur les lamelles branchiales, preuve de la richesse des eaux du Parc National du Banc d'Arguin en fer dissout.



Photos 6: Coupe histologique du tégument d'une coque géante colorée à la coloration HE, objectif 40 (A) et 100 (B). Noter les dépôts de fer dans les cellules du tissu sous cutané, sous forme de granules marron-verdâtres.

Il existe donc bien une forte présence de fer dans le milieu. Cette présence se traduit au niveau cellulaire par des dépôts qui ne sont pas habituellement observés, dans des milieux moins riches en fer. Cependant, la microscopie ne permet pas de mettre en évidence des altérations des cellules. Entre lésion et particularité anodine du milieu, il est donc difficile de qualifier cette observation.

B.1.2.5. Maladie infectieuse:

Sur chaque autopsie qui a été réalisée, des écouvillons ont été faits à partir du cloaque et du foie dans le but d'effectuer une culture. Les écouvillons étaient équipés d'un milieu de transport, et ont été mis immédiatement après ensemencement à 4 degrés, dans un réfrigérateur portable à gaz. Les échantillons qui ont été conservés le plus longtemps sont restés 10 jours dans le réfrigérateur. Le transport de Nouakchott à Utrecht a été assuré dans une boîte isotherme. Les cultures qui ont été réalisées à partir de ces écouvillons se sont avérées être d'une qualité tout à fait acceptable, ce qui nous permet de recommander cette technique de conservation lors de telles missions de terrain.

Des calques du foie, de la rate, des poumons et des étalements du contenu cloacal ont été réalisés et colorés (Hemacolor).

Les résultats de ces tests n'ont révélé aucune bactérie reconnue comme pathogène.

B.1.2.6. Parasitisme:

Des coproscopies ont été réalisées sur la spatule qui a été autopsiée, ainsi que sur les deux hirondelles. Sur les autres oiseaux, directement mis dans le formol, seule une observation macroscopique du contenu fécal a été réalisée.

Sur une des deux hirondelles, une forte charge parasitaire a été relevée dans l'intestin grêle. Les nématodes occupaient en effet toute la lumière de l'intestin sur toute la longueur du jéjunum et du duodénum.

B.1.3. Conclusion sur ces résultats

C'est sur les résultats de ces tests, combinés avec les informations récoltées avant la mission ainsi que devront se baser les conclusions de la mission. On se rend d'ores et déjà compte que lors d'une première approche de terrain, il est très difficile de tester de façon satisfaisante toutes les hypothèses, notamment en raison des imprévus, fatalité qui ne peut jamais être complètement prévenue lors de la préparation des missions.

Lorsque la mission fait suite à une série d'autres recherches, le problème est différent. C'est le cas dans l'exemple des Eiders

B.2. Les Eiders de la Mer des Wadden

La partie vétérinaire de ce projet consistait en la réalisation de l'autopsie la plus complétée possible de 7 Eiders trouvés morts sur les plages de l'Île de Texel. L'envoi des Eiders directement à l'université vétérinaire d'Utrecht a permis de réaliser sans contrainte logistique tous les tests désirés. Un protocole a donc été mis en place pour obtenir des résultats comparables.

Le Protocole Eiders est joint en annexe0. Les résultats qui ont été trouvés sont donnés sous forme d'un rapport (Dorrestein et Perrier, 2002) :

Pour chaque Eider, le matériel suivant a été prélevé:
 Muscle pectoral, à -20°C , enveloppe dans une feuille d'aluminium
 Morceaux de foie, rate, et reins à -20°C pour évaluation de la concentration en Fer
 Bourse de Fabricius et foie à -20°C pour examen virologique
 Estomac (après pesée), ainsi que son contenu et intestins (après mesure de chaque portion et évaluation du nombre de parasites) à -20°C pour examen parasitologique
 Contenu intestinal dans l'alcool (avec 10% glycérine) pour un examen parasitologique complémentaire
 Le reste du cadavre a été stocké à -20°C

Toutes les lésions observées, macroscopiques ou microscopiques, ainsi que la face luminale de tous les estomacs ont été photographiés.

Afin d'évaluer l'atrophie hépatique, en plus de la pesée du foie, un comptage de la densité cellulaire sur coupe histologique a été réalisé. Pour cela, le nombre de cellules traversées par un diamètre de champ à l'objectif 40 a été compté 6 fois pour chaque foie.

Un calcul des coefficients de régression linéaire entre les différentes mesures prises a été réalisé, afin de mettre en évidence toute corrélation. Les animaux examinés comprenaient 2 femelles juvéniles, 1 femelle adulte, 3 mâles juvéniles et un mâle adulte.

B.2.1.Aspect général

Tous les Eiders présentaient un fort amaigrissement de type cachectique: fort amaigrissement avec forte diminution de la masse musculaire et une disparition quasi-totale des tissus adipeux. Les réserves sont donc complètement épuisées. Un poids corporel moyen de 1342 grammes a été mesuré et tous les Eiders présentaient une forte atrophie des muscles pectoraux, une absence de tissu adipeux sous-cutané, une atrophie hydropique (perte de volume musculaire associée à la libération d'eau qui s'accumule entre le myocarde et le péricarde, d'où l'observation d'un hydropéricarde modéré) autour du cœur, un foie petit et de couleur sombre ainsi qu'une vésicule biliaire très remplie.



Photo 7: Aspect macroscopique typique des muscles pectoraux et du tissu sous-cutané des Eiders autopsiés. La couleur des muscles est légèrement pâle, et leur profil est très convexe, épousant quasiment la forme du bréchet, au lieu de présenter l'aspect bombé d'une musculature normale. Le tissu sous-cutané est également remarquable par l'absence totale de tissu adipeux sous-cutané. Ces deux éléments sont caractéristiques de l'émaciation chez les oiseaux.

B.2.2. Résumé des résultats organe par organe

Appareil respiratoire: Poumons légèrement œdémateux, mais sans obstruction marquée des voies aériennes (le poumon flotte dans le formol). Pas d'autre anomalie (Photo 6).



Photo 8: Aspect macroscopique typique des poumons observés sur les eiders autopsiés.



Photo 9: Aspect macroscopique typique des coeurs observés sur les eiders autopsiés

Système cardio-vasculaire: le cœur est dans la plupart des cas dépourvu de tissu adipeux et présente un hydropéricarde marqué ainsi qu'un ventricule droit troué en position diastolique, mou (souvent associé à un état hypoénergétique au moment de la mort) (Photo 7). Pas d'anomalies au niveau des vaisseaux.

Le foie est en général très petit, brun foncé, avec des bords fins et une consistance ferme. Le poids moyen est de 37,9g, soit 2,8% du poids corporel. Une pigmentation due au fer a été retrouvée aussi bien dans les hépatocytes que dans les cellules de Kupffer.

La rate est brun-gris à noir, de taille normale (environ 10-15 x 7-8 mm). A l'examen histologique, aucune formation de follicules n'a pu être mise en évidence mais des lymphocytes et des macrophages étaient présents, avec une pigmentation liée au fer, dans la pulpe rouge. Cela signe l'absence de réaction immunitaire et tend à écarter la thèse d'une infection. Cependant, la présence de fer dans les macrophages peut indiquer un phénomène d'hémolyse.

Les reins et les surrénales ne présentent aucune altération macroscopique. Dans certains cas, des dépôts d'urates ont été observés, et chez deux Eiders une coccidiose rénale a été mise en évidence (mais avec une charge infectieuse trop faible pour avoir des conséquences sur l'état de santé général). De plus chez les juvéniles, une activité de construction de tubules a été remarquée. Cela n'est pas pathologique, et on connaît ce phénomène chez d'autres oiseaux, mais il n'avait jamais été décrit chez les Eiders à duvet.

Les thyroïdes et parathyroïdes ainsi que le pancréas ne présentaient aucune anomalie.

Appareil digestif: les lésions suivantes ont été relevées.

Bec, bouche et oesophage normaux

Le proventricule et le ventricule étaient le plus souvent vides. Le poids moyen de l'ensemble était de 77,3g, soit 5,8% du poids corporel. La couche de Koilin présentait dans deux cas des aspérités anormales. Dans 4 cas, les coupes histologiques de la couche de Koilin ont mis en évidence des nématodes, probablement *Amidostomum acutum*. Cependant, aucune réaction inflammatoire n'a été observée autour des vers.

Dans l'intestin grêle de tous les Eiders, de fortes charges d'acanthocéphales (*Profilicollis botulus*) ont été trouvées. Les estimations du nombre de vers s'étalaient entre 100 et 2000 parasites (photos 8). La plupart du temps, la portion proximale de l'intestin grêle présentait un contenu hémorragique, avec peu d'aliment et beaucoup de débris de coquilles. Dans les étalements du contenu intestinal, des bacilles le plus souvent type *Clostridium* ont été retrouvés. L'histologie a mis en évidence que les villosités intestinales, lorsqu'elles étaient encore reconnaissables (pas autolysées) avaient une hauteur réduite. Des trématodes ont également été observés régulièrement. Cependant, les véritables saignements et la réaction inflammatoire étaient limités à l'environnement direct des acanthocéphales

La bourse de Fabricius a pu être identifiée dans 4 cas. Dans chaque cas, les follicules lymphoïdes présentaient une forte involution. Dans 3 cas, des trématodes ont été retrouvés dans la lumière de la Bourse.

L'appareil reproducteur était dans tous les cas peu ou pas développé, que ce soit par régression (phase d'inactivité) ou parce qu'il s'agissait d'un animal juvénile.

La moelle osseuse présentait une atrophie séreuse. Cette atrophie séreuse est reconnaissable au grand espacement entre les cellules et l'absence de cellules adipeuses.



Photo 10: Aspect macroscopique typique du tube digestif en place (à gauche) puis ouvert dans sa longueur pour le comptage des parasites (à droite) chez les Eiders autopsiés. On voit déjà en vue extérieure les vers qui sont fichés dans la paroi intestinale. La couleur des intestins ne présente cependant aucune anomalie de couleur. Noter sur la photo de gauche la densité impressionnante de parasites.

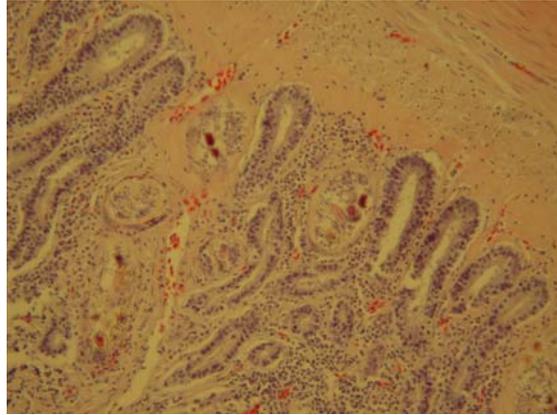


Photo 11: Coupe histologique de l'iléon d'un des Eiders, coloration HE, objectif 40. Noter les coupes de *Profilocollis botulus* entourées d'une réaction inflammatoire très localisée (villosités voisines indemnes)

La bactériologie n'a pas permis d'isoler de bactérie pathogène. 6 foies n'ont donné aucune culture bactérienne, et un foie présentait une faible quantité de *Streptococcus sp.* Dans le cloaque, les bactéries suivantes ont été isolées: *Escherichia coli* (4x), *Plesiomonas shigelloides* (1x), *Streptococcus sp.* (2x), *Lactobacillus sp.* (1x). A partir d'un cloaque, une petite quantité d'*Aspergillus fumigatus* a été isolée.

Dans un certain nombre de cas, les calques de différents organes présentaient des bacilles polymorphes. Ces bactéries se rapprochent vraisemblablement du type *Clostridium*, et sont très probablement le résultat d'un phénomène post-mortem. Dans le tube digestif lui-même, les étalements ont également révélé toutes sortes de bactéries (coloration Hemacolor)

Les grandes lignes des observations nécroscopiques sont donc une cachexie, une très forte infestation à *Profilocollis botulus*, une infestation à *Amidostomum acutum* dans la couche de Koilin du gésier et une infestation par des trématodes dans la bourse de Fabricius. En outre, notons l'accumulation de Fer dans les macrophages du foie et de la rate. Aucune évidence d'infection virale ou bactérienne n'a été établie. Les animaux sont très vraisemblablement "morts de faim".

L'accumulation de fer dans les macrophages est une des premières conséquences d'une hémolyse accrue, mais aussi une des premières phases de la réaction immunitaire non spécifique lors d'une infection bactérienne ou virale aiguë. En l'absence de traces d'infection, on peut donc conclure à une hémolyse. Celle-ci peut cependant être due aux phénomènes inflammatoires induits par l'infestation parasitaire.

Notons qu'une forte corrélation ($R^2 = 0,92$) a été trouvée entre la masse corporelle et la masse du foie. Cela tend à soutenir l'idée que le foie subit une atrophie lors de phases de famine. La densité cellulaire moyenne mesurée dans les foies est de 15,1 cellules/diamètre de champ (objectif 40X). Cette valeur devrait être comparée à celles obtenues chez des animaux

sains pour évaluer la pertinence du paramètre "densité cellulaire" dans la description d'une atrophie hépatique.

En conclusion, si l'on compare ces résultats avec les données récoltées lors des hivers précédents, il semble que la même conclusion s'impose: les animaux souffrent d'un état hypoénergétique lié à une ingestion insuffisante de proies dans lequel l'infection parasitaire a certainement un rôle à jouer. En particulier, il est possible que l'influence des parasites gastriques ait été sous-estimée (rôle émétisant, anorexigène...). En revanche, il semblerait que les trématodes ne génèrent pas une réaction importante chez l'hôte. Le rôle de *Profilocollis botulus*, quant à lui, reste très énigmatique, étant donné que certains canards sains ont également été retrouvés avec de très fortes charges parasitaires, et que la réaction qu'ils génèrent chez l'hôte reste toujours très locale... Il est pourtant difficile d'imaginer, au vu des charges parasitaires considérables, que ces parasites ne contribuent pas sensiblement à l'état hypoénergétique.

CHAPITRE 3 : DONNER DES REPONSES

Une fois toutes les données descriptives rassemblées, la dernière phase du raisonnement consiste à élaborer une réponse à la question initiale ou au moins à donner une orientation à cette réponse. C'est la phase analytique. Il est souvent difficile, en une seule mission, de comprendre intégralement certains problèmes. Bien souvent, chaque mission soulève de nouvelles questions, et permet la mise en place de nouvelles recherches pour compléter la compréhension du problème. Parfois, un suivi au long terme est nécessaire pour mieux décrire les différents phénomènes en jeu et ainsi replier l'éventail des hypothèses autour d'un nombre plus limité de théories.

Pour chaque hypothèse, nous présenterons dans ce chapitre un argumentaire en faveur ou en défaveur de celle-ci. Chaque argumentaire est basé sur les données épidémiologiques, cliniques et lésionnelles.

A. CAS DES SPATULES

A.1. Elimination d'hypothèses

A.1.1. Hypothèse d'un problème alimentaire

Tableau épidémiologique: Seuls des mortalités aiguës ont été observées. Cela ne correspond pas à ce que l'on attendrait en cas de problèmes alimentaires, qu'ils soient qualitatifs ou quantitatifs.

Tableau clinique: Le comportement alimentaire des spatules observées semblait normal. Le comportement reproducteur a également été observé: il s'agit d'un des premiers comportements qui se voit altéré par une alimentation défectueuse.

Tableau lésionnel: La seule autopsie de spatule qu'il nous a été possible de réaliser a tout de même révélé un état de nutrition plus que suffisant. Cela exclut donc tout problème alimentaire quantitatif. La bonne condition de l'animal semble exclure aussi un problème qualitatif. De plus, les crevettes trouvées dans son estomac sont connues pour être une très bonne source alimentaire.

Il est donc très peu probable que les mortalités observées sur le PNBA en mai 2002 soient dues à un problème alimentaire. Il a été suggéré que la pêche intensive puisse avoir un effet néfaste sur les chaînes alimentaires. Cette étude n'exclut pas cette théorie, car il est tout à fait possible que les stocks halieutiques soient en voie de déclin, par atteinte du pool reproducteur. Il est cependant possible de dire qu'à l'heure actuelle, les spatules visitant le Banc d'Arguin ne souffrent pas d'une pénurie de proies, et que les proies qu'elles capturent semblent de qualité adéquate. En outre, les seules morts observées ne sont pas nécessairement représentatives des morts des années précédentes.

A.1.2. Hypothèse d'un problème lié au stress

Tableau épidémiologique: les mortalités aiguës sont compatibles avec un stress aigu. Les traces de chacal retrouvées sur l'Île de Nair sont en elles-mêmes la preuve d'un facteur de stress suffisant pour provoquer le départ définitif des spatules de la colonie.

Tableau clinique: Aucun élément clinique observé en cette faveur.

Tableau lésionnel: Les animaux observés sur l'Île de Nair le 31 mai 2002 étaient trop endommagés pour pouvoir reconnaître et observer les organes.

L'hypothèse du stress est donc très probable. Il s'agirait d'un stress aigu, et des répercussions classiques (Mentionnées dans le chapitre précédent) de ce stress sur la population.

A.1.3. Hypothèse d'un problème traumatique.

Tableau épidémiologique: Dans le cas des oiseaux de Nair (observations du 31 mai 2002) Les animaux les moins mobiles ont été touchés, et les mortalités ont suivi un schéma suraigu, ce qui est caractéristique d'un traumatisme lié à la prédation.

Tableau clinique: Aucun animal n'a pu être retrouvé vivant

Tableau lésionnel: Bien que desséchés pour la plupart, les oiseaux trouvés morts sur l'île de Nair portaient des traces évidentes de prédation. L'état même de certains cadavres, déchiquetés, est fortement en faveur de l'hypothèse de prédation. Les traces de chacal sur le sable sont une preuve supplémentaire. Une question demeure: pourquoi les chacals habitant sur une île iraient-ils chasser les spatules sur une autre île? Il pourrait en fait s'agir là d'une stratégie de chasse intéressante. Sur une petite île, les chacals ne peuvent pas s'installer si les spatules y sont déjà, sous peine de les faire fuir. Il est donc plus efficace de s'installer sur une île voisine et de pénétrer sur les îles habitées par des spatules pour la chasse. Sur les plus grandes îles comme Cheddar, la cohabitation reste possible car chacals et spatules sont installés suffisamment loin les uns des autres.

En conclusion, l'hypothèse de la prédation se place parmi les plus probables concernant les morts constatées le 31 mai 2002 sur Nair.

A.1.4. Hypothèse d'une intoxication

Tableau épidémiologique: Les données sur les mortalités des années précédentes sont assez floues, et on dispose également de très peu d'information sur l'état de pollution du Banc d'Arguin (recherches en cours). L'hypothèse d'intoxication ne peut donc pas être exclue. En ce qui concerne les morts observées le 31 mai 2002, cette hypothèse semble en revanche fort peu probable (Cf. ci-dessus)

Tableau clinique: aucun symptôme caractéristique d'une intoxication particulière n'a été relevé.

Tableau lésionnel: les lésions observées à l'autopsie des oiseaux de Nair sont principalement dominées par l'état de dégradation physique des cadavres. Les concentrations élevées en fer dans les foies des défunts acteurs du réseau trophique sont en revanche un point intéressant, compte tenu de la teneur élevée du milieu en fer. Cette trouvaille permet donc d'appuyer la pertinence de l'hypothèse d'intoxication au fer, mais ne fournit pas une explication vraisemblable pour les morts qui ont été observées.

Notons qu'aucune source de toxiques organiques (pesticides, effluents d'élevage...) n'a été trouvée aux alentours du parc. Si la thèse de l'intoxication doit être approfondie, il s'agira de chercher en priorité des toxiques minéraux ou des toxines dont le mode d'action ne génère pas de lésions spécifiques.

A.1.5. Hypothèse d'une maladie infectieuse

Le manque de cadavres exploitables ne nous permet pas de tirer de conclusion sur cette hypothèse. Le tableau épidémiologique et le tableau clinique ne sont pas suffisamment connus pour orienter en faveur ou en défaveur de cette hypothèse. Les autopsies complètes d'oiseaux effectuées sur le banc d'Arguin ne fournissent aucun élément en la faveur de l'hypothèse infectieuse.

A.1.6. Hypothèse parasitaire

Hypothèse parasitaire: Il n'a pas été possible de vérifier cette hypothèse non plus sur les oiseaux de l'île de Nair. Des échantillons fécaux ou, mieux, des cadavres supplémentaires devront être étudiés. L'oiseau BZ1 présentait une forte infestation par des nématodes. Ce type de trouvaille est assez fréquent chez des animaux sauvages.

A.2. conclusion

Il semble très probable que les mortalités massives qui ont été observées pendant la mission de mai-juin 2002 soient dues à l'intrusion d'un ou plusieurs chacals sur l'Île de Nair. Il n'existe pas de terrier de chacal sur Nair, mais il avait déjà été suggéré que les chacals puissent nager d'île en île si la faim les y poussait. Les chacals causent des morts par les proies qu'ils tuent, mais ils sont aussi la cause de la mort de nombreux autres individus (oisillons, oeufs) qui sont abandonnés par leurs parents et ne peuvent pas survivre seuls.

La question qui se pose est donc de comprendre pourquoi ces mortalités n'ont été observées que depuis 5 ans, et pas avant. Pour répondre à cette question, il est important de réaliser qu'il existe peut-être une cause de mortalité qui n'a pas été observée lors de notre mission. La prédation a certes causé une forte chute de l'efficacité de reproduction en 2002, mais peut-on en déduire que la même chose s'est passée les années précédentes? Il n'a pas été fait mention les années précédentes de traces évidentes de prédation sur les cadavres, mais il y avait bel et bien un problème de désertion des nids et des traces de chacal... Cependant, le manque de précision de ces informations ne nous permet pas de les considérer comme une source fiable.

Chez les animaux autopsiés avant le 31 mai 2002 sur le PNBA, plusieurs hypothèses de mort n'ont pas pu être exclues. Des points intéressants tels que la concentration en fer dans les tissus des oiseaux et des animaux plus bas dans leur chaîne alimentaire mériteraient d'être approfondis. Des informations devraient prochainement être disponibles sur l'état de pollution du PNBA et l'état des stocks halieutiques. Ces informations seront précieuses pour tenter de trouver la cause des mortalités rapportées chaque année depuis 5 ans. Pour le moment, il n'est possible que de donner une orientation à chaque hypothèse.

Alimentation: Problème de défaut quantitatif plus probable

Stress: Aigu plus probable

Traumatisme: Prédation plus probable

Intoxication: Toxiques minéraux ou toxines plus probables

Maladie infectieuse: Maladie saisonnière plus probable

Parasitisme: Aucune information ne permet de tester cette hypothèse

Un suivi annuel des colonies devrait être poursuivi, tout en portant une attention particulière à chaque cadavre de spatule trouvé dans un état de fraîcheur permettant d'en tirer des renseignements.

B. CAS DES EIDERS

Nous passerons ici encore en revue les différentes hypothèses, afin de juger la probabilité de chacune d'entre elles. Cette démarche nous permettra de classer ces différentes hypothèses par ordre décroissant de probabilité.

B.1. Elimination d'hypothèses

B.1.1. Hypothèse d'un problème alimentaire

Tableau épidémiologique: L'incidence maximale des morts en hiver, le fait que le succès de reproduction rapporte soit faible, sont compatibles avec cette hypothèse

Tableau clinique: des canards ont été observés en train de vomir, ou avec de la diarrhée. Cela semble peu compatible avec l'hypothèse alimentaire quantitative, mais peut être compatible avec l'hypothèse qualitative.

Tableau lésionnel: la cachexie est très compatible avec l'hypothèse alimentaire.

L'hypothèse alimentaire se place donc dans les premières à considérer.

B.1.2. Hypothèse du Stress

Aucun élément ne permet de soupçonner une telle origine aux morts observées. Cette hypothèse est à placer dans les moins probables

B.1.3. Hypothèse du trauma

Aucun animal autopsié ne présentait de traces de traumatisme, ce qui exclut l'hypothèse traumatique.

B.1.4. Intoxication

Tableau épidémiologique: Il est difficile de tester l'hypothèse toxicologique de façon générale, chaque toxique ayant un mode d'action très particulier. Tous les ages sont également touchés, et il existe une saisonnalité marquée.

Tableau clinique: vomissement et diarrhée compatibles avec une intoxication. Pas de traces de mazoutage.

Tableau lésionnel: Le fort amaigrissement serait compatible avec une intoxication chronique, mais aucun appareil ne présente de réaction nécrotique, dégénérative ou inflammatoire spécifique, si ce n'est l'inflammation de la sous-muqueuse intestinale au contact direct des parasites. Le tableau lésionnel est bien plus marqué par des phénomènes atrophiques.

Cette hypothèse ne peut donc pas être exclue (il est exceptionnel de pouvoir exclure l'hypothèse d'intoxication en général), mais le fait que d'autres hypothèses soient soutenues par les résultats fait de cette hypothèse un second choix.

B.1.5. Maladie infectieuse

Tableau épidémiologique: pourrait être compatible avec une maladie d'hiver

Tableau clinique: pourrait être compatible avec un choléra par exemple (diarrhée liquide et amaigrissement)

Tableau lésionnel: l'absence de micro-organisme pathogène à l'examen microscopique et bactériologique permet d'invalider la thèse de l'infection microbienne.

B.1.6. Parasitisme

Tableau épidémiologique: compatible

Tableau clinique: vomissements et diarrhées tout à fait évocateurs

Tableau lésionnel: Très en faveur d'un rôle des parasites dans la dégradation de l'état de santé Cependant, l'histologie a montré que la réaction de l'hôte n'est pas aussi forte qu'on pourrait l'attendre. Les parasites seuls ne peuvent pas suffire à expliquer les mortalités. De plus, il a été avancé que le rôle des parasites acanthocéphales aurait été surestimé par rapport à celui des parasites de l'estomac *Amidostomum acutum* dans certains cas. Pourtant, aucun des animaux autopsiés à l'université d'Utrecht ne présentait de sérieuses lésions de l'estomac, même chez les plus infestés par les vers.

Cette hypothèse ne peut donc certainement pas être exclue, mais ne peut pas non plus être avancée avec certitude comme la cause primaire de la mort des Eiders.

B.2. Conclusion

Il semble que les deux hypothèses les plus crédibles soient l'hypothèse alimentaire et l'hypothèse parasitaire. Cependant, la cachexie et les phénomènes atrophiques qui dominent le tableau lésionnel sont en faveur d'un rôle prédominant du défaut d'alimentation. Les mesures qualitatives faites sur les aliments les années précédentes tendent également à démontrer un défaut qualitatif de l'aliment. Les hypothèses peuvent donc être classées par ordre décroissant de probabilité comme suit:

- 1) Alimentation (quantitatif et/ou qualitatif)
- 2) Parasitisme
- 3) Intoxication
- 4) Maladie infectieuse, Stress, Trauma

CONCLUSION

Dans les deux exemples qui ont été développés, des informations importantes ont été recueillies grâce à une approche multidisciplinaire des problèmes posés, permettant d'exclure un certain nombre d'hypothèses, ou tout du moins de classer les différentes hypothèses par ordre de probabilité. Même si dans ces deux cas il n'a pas été possible d'arriver à un diagnostic de certitude, les résultats des différents tests ont mis en évidence des points intéressants pour de futures recherches, mais aussi des points améliorables dans le système de surveillance des populations. Aussi, pour chaque cas, les résultats obtenus sont-ils suffisants pour commencer à prendre des mesures.

Dans le cas des Eiders, le rôle important du manque d'aliment jouera peut-être en faveur du passage d'une loi de renforcement de la limitation de la pêche dans la Mer des Wadden. En effet, même si l'espèce n'est pas menacée, il existe en Hollande une forte préoccupation quand à l'impact de la pêche sur les écosystèmes naturels. Le réseau de surveillance déjà en place a été enrichi, avec l'intervention de nouveaux acteurs (vétérinaires en particulier) permettant de faire des nécropsies plus poussées que ce qui avait été fait auparavant. Le suivi rapproché des morts dans la Mer des Wadden a même permis de découvrir un nouveau type d'affection des Eiders, extrêmement intrigant et jamais décrit auparavant chez des oiseaux sauvages: Depuis l'hiver 2001/2002, des Eiders sont régulièrement retrouvés avec la peau de la tête plus ou moins complètement disparue, laissant voir le crane ensanglanté ou nécrotique. Comme c'est souvent le cas, l'étude rapprochée d'une population d'oiseaux a là encore soulevé de nouvelles questions, qui feront à leur tour le sujet de recherches.

Dans le cas des spatules, un protocole d'autopsie de tout oiseau trouvé mort sur le Banc d'Arguin a été rédigé à l'intention du personnel du parc. Ce dernier a également reçu pendant notre mission une formation pour l'autopsie des oiseaux. Associées à la surveillance directe et régulière des oiseaux par les patrouilles du parc, les missions telles que celle réalisée en mai 2002 seront renouvelées. La visite des scientifiques sur le PNBA a aussi eu pour avantage de resserrer les liens entre les structures locales et les différentes institutions néerlandaises impliquées dans le projet spatules (Université d'Utrecht, Natuurmonumenten, WIWO...). A l'avenir, les administratifs du parc savent qui contacter en cas de mortalités massives d'oiseaux. Le protocole fourni au parc inclut également une liste de prélèvements qui doivent être faits sur les oiseaux morts (organes, fèces, plumes...) ainsi que leur mode de conservation (Formol, alcool, Glycerine-alcool...). En outre, un set complet d'instruments et de produits nécessaires pour la réalisation des autopsies a été laissé sur place.

En revanche, les décisions en termes de conservation sont parfois plus difficiles à prendre à la suite de missions de terrain. Comme nous l'avons vu, les informations sont rarement complètes, et les problèmes connexes peuvent être très importants. Comment justifier la limitation de la pêche en Mauritanie, alors qu'il s'agit de la ressource principale du pays? Il est aisé de comprendre que sans arguments solides, une telle proposition ne peut pas être acceptée. Si les mines de fer s'avèrent dangereuses pour les oiseaux, que ce soit par la charge de fer qu'elles déversent dans l'environnement ou par le biais des produits chimiques utilisés pour l'extraction, comment donner du poids à une population d'oiseaux sauvages face à une des seules ressources minérales exploitées dans un des pays les plus pauvres de

l'Afrique Occidentale? De plus, le pays concerné n'est pas toujours le seul à pouvoir apporter des solutions. Il est bien connu que la pêche au large de la Mauritanie est pratiquée par des flottes internationales. C'est alors à une échelle globale qu'il faut agir, et responsabiliser les différents états face aux conséquences écologiques de leur laxisme. Et quand bien même des lois existent, le contrôle de leur application est un tout autre problème...

Ainsi, il pourrait sembler décourageant de vouloir s'opposer aux menaces pesant sur une espèce animale. Pourtant, l'histoire récente a montré que de tels projets pouvaient être menés à bien, avec de véritables résultats. L'intérêt croissant du monde pour les problèmes d'environnement a permis de dégager des fonds importants, que ce soit par les états ou par le biais d'Organisations Non Gouvernementales (type WWF). On pourra citer l'exemple des Tamarins-Lions au Brésil, dont le statut de conservation était très alarmant il y a 20 ans, mais dont les effectifs sont de nouveau en croissance à l'heure actuelle.

A condition de tenir compte des intérêts de chacun, il est donc possible dans certains cas de trouver une solution aux problèmes de conservation. Des initiatives intéressantes telles que la valorisation de l'écotourisme, ou encore la mise en place d'aides à la conservation du patrimoine naturel ont ainsi vu le jour un peu partout dans le monde.

Petit à petit, l'écologie devient un véritable enjeu global et les scientifiques, y compris les vétérinaires, ont et auront un rôle central à jouer dans ce processus. Face aux polémiques entre fatalisme, laxisme et alarmisme, ils sont en mesure d'apporter des éléments de réponse objectifs pour aider à prendre les décisions qui définiront dans le futur les relations entre les sociétés humaines et leur environnement naturel.

NE PAS
CONSERVER CETTE
PAGE :
LA REMPLACER
PAR LA
PHOTOCOPIE DE
L'AGREMENT
ADMINISTRATIF

REFERENCES

LITTERATURE

- ANDRE, J.M., 1997. Problematic and methodological approach of the study of the bioaccumulation of trace elements in delphinids. *In* T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL. Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 39-48.
- AVERBECK, C., 1990. Nonylphenol in der Meeresumwelt. *Seevögel* **11** (4): 44.
- BAPTIST, H.J.M., 1988. Vogelconcentraties in voordelta tijdens en voorafgaande aan het “Borcea incident”, december 1987-januari 1988. *Sula* **2**: 21-23.
- BIJLSMA, R.G., 1990. Predation by large falcons on wintering waders on the Banc d’Arguin, Mauritania. *Ardea* **78**: 75-82
- BOER, P., MONSEES, G.R., 1967. Avifaunistisch overzicht van het Balgzand en enkele omliggende terreinen. *Limosa* **40**: 188-205.
- BOER, P., Van BRENKELLEN, W., MONSEES, G.R., MULDER, T., Van der VLIES, K., 1970. Het Balgzand, bedreigd gebied. *Wet. Meded. KNNV* **No.86**, Hoogwoud.
- BORGSTEEDE, F.H.M. 2001. Common Eiders and parasites – Are parasites the cause of mortality of Common Eiders in the Wadden sea? *Wadden Sea Newsletter* 2001- **No.1**.
- BOUQUEGNEAU, J.M., DEBACKER, V., GOBERT, S. 1997. Biological oceanography and marine food webs: role of marine mammals and seabirds. *In* T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL. Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 15-22.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., 1989. Beached Bird Surveys in the Netherlands 1915-1988; Seabirds mortality in the southern North Sea since the early days of Oil Pollution. *Techn. Rapport Vogelbescherming* **1**, Werkgroep Nordzee, Amsterdam 322pp.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., 1994. Verstrikkingen van zeevogels in plastic en vistuig aan de nederlandse kust, 1990-93. *Sula* **8**: 228-229.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., 1997a. Ecologisch profiel van Eidereend *Somateria mollissima*. RIKZ-werkdocument 96.146x, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Texel, 125pp.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., 1997b. Olievervuiling en olieslachtoffers langs de Nederlandse kust, 1969-97: signalen van een schonere zee. *Sula* **11(2)** special issue: 41-156.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., 2001. Eider mortality in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000. *Wadden Sea Newsletter* 2001- **No.1**.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., BARREVELD H., DAHLMANN, G. et FRANEKER, J.A., 1999. Seabirds in the North Sea demobilised and killed by polyisobutylene (C₄H₈)_n. *Marine Pollution Bulletin* **38**: 1171-1176.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., ENS, B.J., HEG, D., HULSCHER, J., Van Der MEER, J., SMIT C.J., 1996. Oyster tcher winter mortality in the Netherlands: the effect of severe weather and food supply. *Ardea* **84a**: 469-492.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., HART, S., SANDSTRA, H.S., 1988. Zeevogelsterfte na olie lekkage door de ertscarrier MS Borcea voor de Zeeuwse kust januari 1988. *Sula* **2**: 1-12.
- CAMPHUYSEN, K.J.C., HEUBECK, M., 2001. Marine oil pollution and beached birds surveys: the development of a sensitive monitoring instrument. *Environmental pollution* **112**: 443-461.

- CAMPHUYSEN, K.J.C., Van DIJK, J., 1983. Zee- en kustvogels langs de nederlandse kust, 1974-79. *Limosa* **56**: 81-230.
- CARATI, M.A.F., DORRESTEIN, G.M. 2001. Some aspects of iron in fish. These de doctorat veterinaire, Utrecht university, Faculty of Veterinary Medecine, Department of Veterinary Pathology, Utrecht, the Netherlands, 21 pp.
- CHRISTENSEN, T.K., 2002. A new outbreak of avian pasteurellosis amongst breeding Eiders *Somateria mollissima* in Denmark. Abstract of oral presentation at the Eider Specialist Group Meeting, 17-21 april 2002, Roosta, Estonia.
- CLARK, G.M., O'MEARA, D., Van WELDEN, J.M., 1958. An epizootic among eider ducks involving an acanthocephalid worm. *J. Wildl. Manage.* **22(2)**: 204-205.
- COIGNOUL, F., JAUGNAUX, T. 1997. Basic concepts of veterinary pathology. *In* T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 109-115.
- De MIRANDA, J.F., 1968. Telling van de dode vogels op Terschelling, 3-4 januari 1968. *Tjiftjaf* **1968(2)**: 13.
- DEKKER, R. 2001. Food situation for Common Eiders in the Western Dutch Wadden Sea in 1999/2000 estimated on long-term macrobenthos monitoring data. *Wadden Sea Newsletter* 2001- **No.1**.
- Del HOYO, J., ELIOTT, A., SARGATAL, J., 1992. Handbook of the birds of the world. Lynx Editions. 696pp.
- DIJKSEN, L.J. et KOKS, B.J. 2001. The breeding season in 2000 for Common Eiders in the Dutch Wadden region. *Wadden Sea Newsletter* 2001- **No.1**.
- DORRESTEIN, G.M., Van der HAGE, M. 1997. Marine bird necropsy findings. *In* T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 151-166.
- ENGELLEN, K.A.M., 1987a. Olieslachtoffers in het Waddendistrict, januari-februari 1987. *Sula* **1**: 38-43.
- ENGELLEN, K.A.M., 1987b. Zeevogels op de waddeneilanden het slachtoffer van lijmachtige substantie. *Sula* **1**: 112-113.
- ENS B. J., PIERSMA T., WOLFF W. J., ZWARTS L., 1990. Problemes rencontres par les limicoles migrant du Banc d'Arguin en Mauritanie vers leurs zones de reproduction au printemps., *Ardea* **78**: 1-16.
- FLEET, D.M. 2001. Numbers of Common Eider beached on the German North Sea coast during the mass mortality in the winter 1999/2000. *Wadden Sea Newsletter* 2001- **No.1**.
- FLEET, D.M., GAUS, S., HARTWIG, E., REINEKING, B. et DIECKHOFF, M.S., 1999. Pallas-Havarie und Seevögelsterben dominieren Spülsaumkontrollen im Winter 1998/99. *Seevögel* **20(3)**: 79-84.
- FURNESS, R.W., CAMPHUYSEN, K.J.C., 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES J. Mar. Sc.* **54**: 726-737.
- GOWTHORPE, P. 1993. Une visite au Parc National du Banc d'Arguin. Itinéraires – Presentation des principales ressources naturelles. Document edite par le Conseil Scientifique du Parc National du Banc d'Arguin, 193pp.
- GREGORY, R.D., NOBLE, D.G., GRANSWICK, P.A., CAMPBELL, L.H., REHFISH, M.M., BAILLIE, S.R. 2001. The state of the UK's bird 2000. RSPB, BTO and WWT, Sandy.
- GRENQUIST, P., 1970. Väkäkärsämatujen aiheuttamasta haahkojen kuolleisuudesta. *Suomen Riista* **22**: 24-34.

- GRZIMEK, R., 1973. Het Wereld Der Dieren, 1973, Het Spectrum B.V. Utrecht-Antwerpen.
- HARIO, M., LEHTONEN, J.T., HOLLMEN, T., 1995. Väkäkärsämodot haahkan kuolevuustekijänä epäilevä näkökanta. Suomen Riista **41**: 21-26.
- JOOSSSE, R., 1999. Smurrie-slachtoffers op de Deltakust. Vogelnieuws **12(1)**: p.13.
- JORIS, C.R. 1997. Ecotoxicology of stable pollutants – Organochlorines and heavy metals- in seabirds and marine mammals. In T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 51-59.
- KIRCHHOFF, K., 1982. Wassenvogelverluste durch die fischerei an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste. Vogelwelt **103**: 81-89.
- KLAASSEN M., 1990a. Short note on the possible occurrence of heat stress in roosting waders on the Banc d'Arguin, Mauritania. Ardea **78**: 63-65.
- KLAASSEN M., ENS B.J., 1990b. Is salt stress a problem for waders wintering on the Banc d'Arguin, Mauritania? Ardea **78**: 67-74.
- KOEMAN, J.H., 1971. Het voorkomen en de toxicologische betekenis van enkele chloorkoolwaterstoffen aan de Nederlandse kust in de periode 1965 tot 1970. Thèse de PhD, Université d'Utrecht.
- KOEMAN, J.H., BOTHOF, T., De VRIES, R., Van VELZEN-BALD, H., VOS, J.G., 1972. The impact of persistent pollutants on piscivorous and molluscivorous birds. TNO-News **12**: 561-569.
- KOEMAN, J.H., VEEN, J., BROUWER, E., HUISMAN-DE BROUWER, L., KOOLEN, J.L., 1968. Residues of chlorinated hydrocarbon insecticides in the North Sea environment. Helgol. Wiss. Meeresunters **17**: 375-380.
- KOFFIJBERG, K., BERREVOETS, C., WITTE, R. 2001. Numbers and distribution of wintering Common Eiders in the Dutch Wadden Sea in 2000. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- KUIKEN, T. 2001. Pathology of Common Eiders in the Dutch Wadden Sea in December 1999. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- KUYKEN, E., ZEGERS, P.M., 1968. De stookpietentelling 1968. Amoeba **44**: 153-158.
- LANCELOT, C., ROUSSEAU, V., BILLEN, G., Van EECKHOUT, D. 1997. Coastal eutrophication of the southern bight of the North Sea: Assessment and modelling. In T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 27-38.
- LEMSTRA, K., 1968. Stookpietentelling 24-25 februari 1968. Scharrepiet **2(2)**: 3-4.
- LEOPOLD, M.F., KATS, R.K.H., ENS, B.J. 2001. Diet (preferences) of Common Eiders *Somateria mollissima*. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- LIAT, L.B., PIKE, A.W., 1980. The incidence and distribution of *Proflicollis botulus* (Acanthocephala), in the eider duck, *Somateria mollissima*, and its intermediate host the shore crab, *Carcinus maneus*, in north east Scotland. J. Zool., Lond. **190**: 39-51.
- MOOSTER, R., 1973. De vogels van Schiermonnikoog. Wet. Meded. KNNV **nr 95**, 84pp.
- MULDER, Th., 1976. Hardnetten en eidereenden. Waddenbull. **8(4)**: 184-186.
- NEHLS, G., 2001. Food selection by Eiders – Why quality matters. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- NEHRWEIN, B. 2000. Biodiversity report: the Wadden Sea. Report, Aristotle University of Thessaloniki, School of Biology, Department of Zoology, 12pp.
- PERSSON, L., BORG, K.; FÄLT, H., 1974. On the occurrence of endoparasites in Eider Ducks in Sweden. Viltrevy **9(1)**: 1-24.

- PIERSMA, T., KAMPHUYSEN, K. 2001. What can peak mortalities of Eiders tell us about the state of the Dutch Wadden Sea ecosystem? Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- PLATTEEUW, M., 1987. Olieslachtoffers in Nederland in vroeger tijd/ een nieuwe presentatie van oude tellingen. *Sula* **12**: 89-102.
- RAGA, J.A. 1997. Parasitology of marine birds. In T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 91-108.
- REINEKING, B., 1998. Brand aan bord van het vrachtschip *Pallas*: opnieuw een olie-incident in de Noordzee. *Sula* **12**: 105-109.
- ROUDYBUSH, T.E., 1997. Nutrition. In ALTMAN, R.B., CLUBB, S.L., DORRESTEIN, G.M., QUESENBERRY, K.E., Avian Medicine and Surgery. Saunders USA, Philadelphia.
- ROZEMIJER M.J.C., BOOIJ, K., SWENNEN, C., BOON, J.P., 1992. Molecular features of environmental contaminants causing disruption of the plumage of sea-birds. NIOZ BEWON report no. 43, Netherl. Inst. Sea Res., Texel, 27pp.
- SCHAFFER, N., GALLO-ORSI, U. 2001. European Union action plans for eight priority bird species. Office for Official Publications of the European Community, Luxembourg.
- KOKS, HUSTINGS, NIEDERSACHSEN, SCHLESWIG-HOLSTEIN, HALTERLEIN, SUDBECK, RASMUSSEN, THORUP. 1998. Breeding birds in the wadden sea in 1996. Results of a total survey in 1996 and numbers of colony breeding species between 1991 and 1996. Wadden sea Ecosystem, No. **10** – 2000.
- SCHEIFFARTH, G., KEMPF, N., POTEL, P. 2001. Numbers and distribution of Eider Ducks *Somateria mollissima* in the german Wadden Sea in winter 1999/2000: Fleeing the fate of death? Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- SEYS, J., MEIRE, P. 1997. Oil pollution and seabirds. In T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 61-66.
- SMAAL, A., CRAEYMEERSCH, J., KAMERMANS, P. 2001. Is food shortage the cause of Eider Duck mortality? Shellfish and crab abundance in the Dutch Wadden Sea 1994-1999. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- SWENNEN, C., 1976. Populatiestructuur en voedsel van de eidereend *Somateria Mollissima* in de Waddenzee. *Ardea* **64**: 311-371.
- SWENNEN, C., SMIT, T., 1991. Pasteurellosis among breeding Eiders *Somateria mollissima* in the Netherlands. *Wildfowl* **42**: 94-97.
- SWENNEN, C., SPAANS, A.L., 1968. De Vogels van Vlieland. Wet meded. KNNV nr. 75, Fryske Akademy, Leeuwarden 104pp.
- SWENNEN, C., Van Den BROEK, E., 1960. *Polymorphus botulus* als parasiet bij de eidereenden in de Waddenzee. *Ardea* **48**: 90-97.
- TANIS J.J.C., 1981a. Stookolievogel onderzoek in Nederland, 1962-1968, met aanvullende gegevens uit België. Unpubl. Report to North Sea Directorate, Rijswijk.
- TANIS, J.J.C., 1981b. Resultaten tellingen stookolievogels Nederlandse kust (Noordzee, Waddenzee, Zeeuwse wateren), augustus 1968 – december 1971. Unpubl. Report to North Sea Directorate.
- TANIS, J.J.C., MÖRZER BRUIJNS, M.F., 1962. Het onderzoek naar stookolievogels van 1958-1962. *Levende Nat.* **65**.
- THOMPSON, A.B., 1985a. *Profilicollis botulus* (Acanthocephala) abundance in the Eider duck (*Somateria mollissima*) on the Ythan estuary, Aberdeenshire. *Parasitology* **91**: 563-575.

- THOMPSON, A.B., 1985b. Analysis of *Proflicollis botulus* (Acanthocephala: Echinorhynchidae) burdens in the Shore Crab, *Carcinus Maneas*, J. Anim. Ecol. **54**: 595-604.
- TIMM, D., DAHLMANN, G., 1991. Investigations into the source of non-mineral oil in the feathers of seabirds. In Oil pollution, Beached Birds Surveys and Policy: towards a more effective approach of an old problem, CAMPHUYSEN, K.J.C, Van FRANEKER, J.A., Proc. Int. NZG/NSO workshop, 19 April 1991, Rijswijk, Sula **5** (special issue): 15-17.
- TOUTI, J., OUMELLOUK, F., BOWDEN, C.G.R., KIRKWOOD, J.K., SMITH, K.W. 1999. Mortality incident in northern bald ibis in Morocco in May 1996. 1999 FFI, Oryx, **33(2)**, pp. 160-167.
- Van den BERK, V.M, DIRKSEN, S., POOT, M.J.M. 2001. Mortality of Eiders in the Dutch Wadden sea 1999/2000: the search of the cause of mass mortality of Eiders in the Dutch Wadden Sea. Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- Van den BRINK, 1989. Oorzaak vogelsterfte voor de Nederlandse kust vastgesteld. Toegep. Wetensch. **5**: 21.
- Van Der HUT, 2000. Technisch Rapport Vogelbescherming 6, Biologie en Bescherming van de Lepelaar *Platalea leucorodia* (aanzet tot het beschermingsplan). 75pp.
- Van EERDEN, M.R., DUBBELDAM, W., MULLER, J., 1999. Sterfte van watervogels door visserij met staande netten in het IJsselmeer en Markermerre. RIZA rapport 99.060, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad, 42pp.
- VINDEVOGEL, H., DUCHATEL, J.P. 1997, Virus infections in feral birds, a general review. In T. JAUNIAUX, J.M. BOUQUEGNEAU, F. COIGNOUL, Marine Mammals, Seabirds and Pollution of Marine Systems. Presses de la Faculte de Medecine Veterinaire de l'Universite de Liege – B-4000 Liege Belgique, pp. 167-174.
- WERKMAN, G. 2001. Water quality and Common Eiders in the Dutch Wadden Sea – Is there a relationship between water quality and the mortality of Common Eiders in the winter of 1999/2000? Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- WOLFF W.J, SMIT C.J., 1990. The Banc d'Arguin, Mauritania, an environment for costal birds. Ardea **78**: 17-37.
- WOLFF, W.J. 2001. Preface of the Wadden Sea Newsletter 2001- **No.1**.
- ZERGERS, P.M., 1969. Stookolie-tellingen 6 en 7 april 1969. Aythya **7**: 3-8.
- ZERGERS, P.M., 1970. Olieslachtoffer telling 1969. Amoeba **46**: 4-14.
- ZOUN, P.E.F., 1991. Onderzoek naar de oorzaak van de vogelsterfte langs de Nederlandse kust gedurende december 1988 en januari 1989. CDI rapport nr. H121519, Lelystad, 55pp.
- ZOUN, P.E.F., BAARS, A.J., BOSHUIZEN, R.S., 1991a. A case of seabird mortality in the Netherlands caused by spillage of nonylphenol and vegetable oils, winter 1988/89. Sula **5(3)**: 101-103.
- ZOUN, P.E.F., BAARS, A.J., BOSHUIZEN, R.S., 1991b. A case of seabird mortality in the Netherlands during the winter 1988/89 caused by a spillage of nonylphenol and vegetable oils. In CAMPHUYSEN, K.J.C, Van FRANEKER, J.A., Oil pollution, Beached Birds Surveys and Policy: towards a more effective approach of an old problem, Proc. Int. NZG/NSO workshop, 19 April 1991, Rijswijk, Sula **5** (special issue): 47-48.
- ZWARTS L., 1985. De broedvogels van Terschelling. KNNV afd. Terschelling, Van Gorcum, Assen, 172pp.

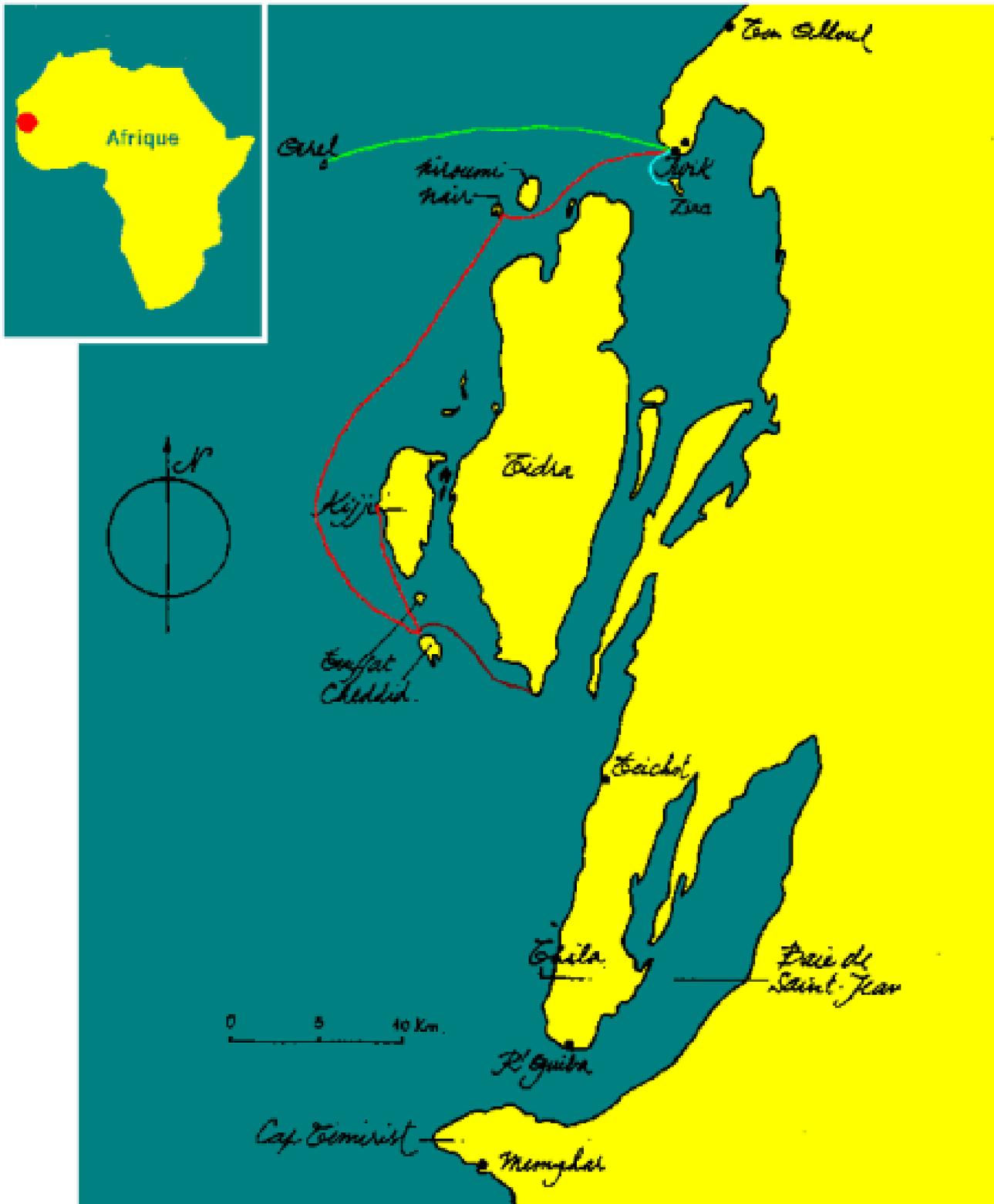
- ZWARTS L., BLOMBERT A.M., ENS B.J., HUPKES R., VAN SPANJE T.M., 1990. Why do waders reach high feeding densities on the intertidal flats of the Banc d'Arguin, Mauritania? *Ardea* **78**: 39-52.
- ZWEERES, K., 1965. Vogels vierden het "feest in de natuur" mee. *Het Vogeljaar* **13**: 553-558.

SITES INTERNET

1. ANONYME, 03/06/02,
Iron and Nitrate in a coastal upwelling ecosystem: how can we assess their effects on primary production over large time and space scales?
Iron regulation of coastal ecosystems
http://www.mbari.org/seminars/1998/sept24_johnson.html
2. ANONYME, 03/06/02,
Open ocean and deep water systems, Musing on the Monterey bay
<http://www.mbnms.nos.noaa.gov/Educate/newsletters/ecosystem2000/openoceans.html>
3. MICHAEL KORYAK, 03/06/02
Origins and ecosystem degradation impacts of acid mine drainage.
http://wmw.lrp.usace.army.mil/misc/AMD_Impacts.html
4. MICHAEL FRY, 06/06/02
Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals
<http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1995/Suppl-7/fry.html>
5. SALTON SEA RESEARCH MANAGEMENT COMMITTEE, 06/06/02
Salton Sea Research Management Committee request for proposals #2 to conduct investigations of the ecology and control of avian mortality at the Salton Sea as part of the Salton Sea Restoration Project, March 9, 1999, Study site.
<http://www.lc.usbr.gov/saltsea/sspart2.html>
6. ANONYME, 19/06/02
Case study critical natural capital: coastal wetlands: the Dutch Wadden Sea.
<http://www.c3ed.uvsq.fr/c3ed/Critinceng/Cpnetherlands.html>
7. ANONYME, 18/06/02
Taxonomy, species eider, common.
<http://fwie.fw.vt.edu/WWW/macsis/lists/M040071.htm>
8. KEES (C.J.) CAMPHUYSEN, 17/06/02
Introduction to the Eider duck *Somateria mollissima*.
<http://www.nioz.nl/en/deps/mee/projects/seabirds/eiderduc.htm>
9. VIRTUAL PUFFIN, 17/06/02
Common Eiders (*Somateria mollissima*)
<http://www.audubon.org/bird/puffin/virtual/eider.html>
10. OTTO OVERDIJK, 06/07/02
Project proposal
<http://home.wanadoo.nl/rene.t.vos/wiwo/maur2002/maur2002b.htm>
11. ANONYMOUS, 24/07/02
Passenger pigeon and Carolina Parakeet: Vanished Birds
<http://www.chattoogariver.org/Articles/2000S/Birds.htm>
12. COASTAL CONSERVATION ASSOCIATION FLORIDA, 03/08/02
CCA Florida - A History of Conservation
<http://www.cca-florida.com/chronology.htm>
13. NATURENET HOMEPAGE, 03/08/02

- Naturenet: The History of Conservation Legislation in the UK
<http://www.naturenet.net/status/history.html>
14. PNBA, 06/08/02
The Imraguen
<http://www.grain.org/gd/en/case-studies/cases/doc-word/na-abstract-mauritania-en.doc>
15. PORTAIL INTERNET DE LA MAURITANIE, 06/08/02
The Imraguen of the Banc d'Arguin
http://www.afrol.com/Countries/Mauritania/backgr_Imraguen.htm
16. ACTOS, 06/08/02
Conservation of endangered mammal species
www.fundacionareces.es/mamiferos.htm,
17. ROLPH OESCHGER, 24/07/02
Biodiversity report, The Wadden Sea
<http://www.biodiv.org/doc/case-studies/cs-ecofor-de-waddensea.pdf>
18. THE RAMSAR ARCHIVES, 24/07/02
8th Trilateral Conference on the Wadden Sea
http://www.ramsar.org/w.n.wadden_conf8.htm
19. UK MARINE SACS ENVIRONNEMENT, 23/07/02
No Title
http://www.ukmarinesac.org.uk/communities/biogenic-reefs/br5_4.htm

ANNEXE 1: PLAN DU BANC D'ARGUIN



N.B. : Les trajets en mer correspondent aux descriptions des itinéraires données en annexe 2, avec le même code-couleur.

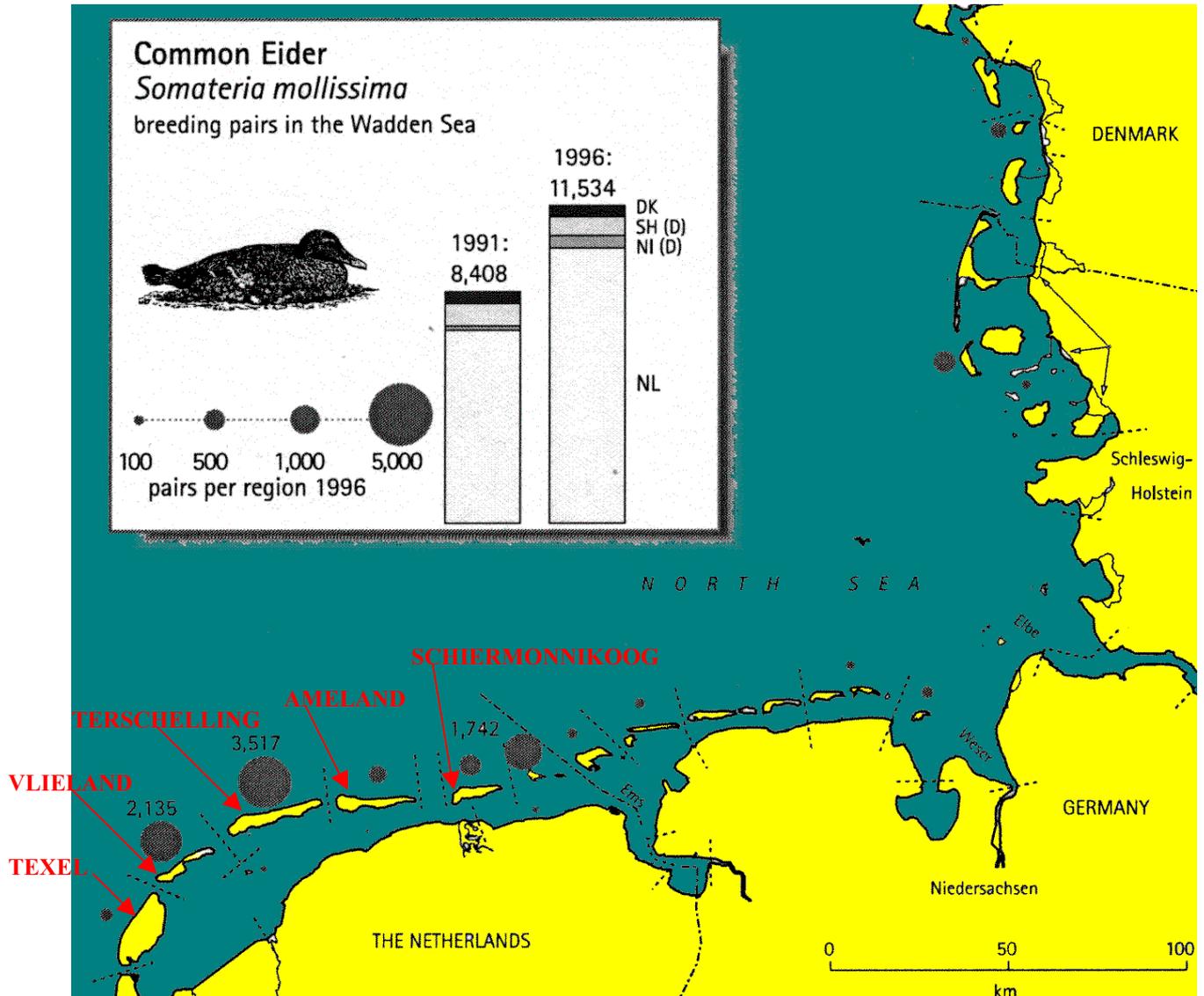
ANNEXE 2 : EMPLOI DU TEMPS, PRELEVEMENT ET COMPTAGES PENDANT LA MISSION SPATULE

Programme de la mission en Mauritanie	Echantillons	Comptages de spatules
14/05/2002. 15H30 Arrivee Noakchott Reglement des problemes de Cargo Installation a l'hotel, diner-discussion avec l'equipe de direction du parc		
15/05/2002. 16H30 Depart pour Iwik Voyage la journee, arrivee vers 23H00, nuit a Iwik		
16/05/2002. 10H00 Depart en Lanche pour Nair-Est Observation de la mangrove de Nair 13H30 Arrivee Nair Sur Nair observation d'une colonie au reposoir D'une colonie avec des reproducteurs Nuit a Nair	P1, P2, Z1, Z2	50 couples 236 individus 104 nids
17/05/2002. 08H30 Depart pour Cheddid 15H00 Arrivee Cheddid Observation du 1er groupe (Est) Observation du second groupe Nuit a Cheddid	BZ2 V2 _(1,2,3)	1200 individus 203 individus
18/05/2002. 10H00 Depart pour Kiji 12H50 Arrivee Kiji Pas de colonies de spatules! Nuit a Kiji	C1, V1 _(1,2) , V4 _(1,2,3) , P3, Z3, Z4	0 individus
19/05/2002. 12H00 Depart pour Iwik Navigation toute la journee 18H00 arrivee Iwik Nuit Iwik	GF1, P4, P5, P6	
20/05/2002. Visite des falaises de Teichott	V3, BZ1	
21/05/2002. 9H00 Depart pour Arel 10H30 Arrivee a Arel Observation d'une colonie reproductrice de spatules 14H30 Depart pour Iwik 16H30 Arrivee Iwik Nuit a Iwik		170 couples dont 80 juveniles
22/05/2002. Depart en Canoe pour Zira Observation des colonies sur Zira Retour en Canoe Autopsie de la spatule L1 Nuit a Iwik	L1 OE1	272 couples, 8 oisillons dont 2 cadavres
23/05/2002. 09H20 Depart en lanche pour Nair 11H15 Arrivee Nair Observation d'un groupe au reposoir Observation d'un plus petit groupe de <i>P.l.balsaci</i> Observation d'une colonie reproductrice 14H00 depart pour Kiji, mais echouage... Nuit sur la Lanche	RZ1	22 individus 20 individus 130 nids, 25 oisillons
24/05/2002. 09H20 Desechouage, depart vers Cheddid 12H00 Arrivee a Cheddid Observation d'une premiere colonie de spatules Observation d'une seconde colonie de spatules 13H00 Depart pour Tidra-Sud 15H35 Arrivee Tidra-Sud, escale Nuit a Tidra-Sud	L2, L3 V6 _(1,2,3,4)	550 individus/ 18 subad. 1000 individus/ 250 subad. 8 individus
25/05/2002. 09H00 Depart pour Iwik 23H00 Arrivee Iwik Nuit a Iwik	V5	
26/05/2002. Depart pour Zira avec le Canoe Observation des colonies Redaction du protocole de necropsie Retour a Iwik, nuit a Iwik		150 nids, 400 individus
27/05/2002. 12H30 Depart en voiture pour Nouakchott 12H30 Etape a Tessot 18H00 Arrivee a Nouakchott Diner debriefing avec Jean Worms Nuit a Nouakchott	Z5	80 individus
29/05/2002. Journee a Nouakchott 23H30 Aeroport		
30/05/2002. 09H00 Arrivee a Amsterdam		

LEGENDE DES ECHANTILLONS

P= Vegetal, Z= Sable, BZ= Hironnelle,
V= Poisson, C= Crabe, GF= Meduse, L=
Spatule, OE= Coque, RZ= Barge,

ANNEXE 3 : CARTE DE LA MER DES WADDEN ET REPARTITION DES PRINCIPALES COLONIES D'EIDERS A DUVET



La mer des Wadden est limitée par le continent au sud et à l'est, et par les îles frisonnes (Texel, Vlieland, Terschelling, etc...) au nord et à l'ouest.

ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE DISSECTION ELABORE POUR LES EIDERS A DUVET

1. Write down lab NUMBER and DATE on the check list
2. Fill in SEX, KLEED, OLIE BEVUILING, BROEDVLEK, BIJZONDERHEDEN
3. Count wing feathers: SLAGPENNEN, ARMPENNEN, STAARTPENNEN
4. Put a sticker with lab number on the duck (beak)
5. Measure SNAVEL, KOP, TARSUS, VLEUGEL
6. Total WEIGHT of the duck
7. Prepare and identify 1 IRON ZIP BAG, 1 DNA ZIP BAG, 2 REGULAR PLASTIC BAGS, 2 SLIDES, 1 INTESTINE CONTENT POT, 1 SMALL CONTAINER FOR THE BURSA, 2 FORMALINE POTS, ALUMINIUM FOIL, TRASH BAG.
8. Open the skin on a medio-ventral line. Measure STERNUM
9. Put a piece of BREAST MUSCLE in ALUMINIUM.
10. Remove the sternum (OK) and the peritoneum
11. BACTERIOLOGY from the LIVER(OK)
12. Find the SPLEEN between the liver and the stomach
13. Make a smear from the SPLEEN on 2 slides
14. Put one half of the SPLEEN in FORMALINE 1, the other in IRON ZIP BAG
15. Remove THYROIDS and PARATHYROIDS. Put them in FORMALINE
16. Remove the HEART(OK), open it put sample in FORMALINE 2
17. Remove the gut + liver + stomach block. Cut the colon as close as possible to the cloaca
18. BACTERIOLOGY from the CLOACA
19. WET MOUNT of the CLOACA
20. MEASURE the BURSA
21. Put the BURSA in FORMALINE 2 in an INDIVIDUAL CONTAINER
22. Remove the lungs and trachea.
23. Make a SMEAR from the LUNGS
24. Open trachea and bronchi. Put a stripe of the RIGHT LUNG(OK) in FORMALINE 2
25. Remove the kidneys
26. Put a piece of the left KIDNEY's(OK) cranial lobe with oviduct and OVARIUM or TESTIS in FORMALINE 1 (OK), and another piece in IRON ZIP BAG
27. Remove the liver from the Gut + Stomach block. WEIGHT the LIVER
28. Put a piece of LIVER in FORMALINE 1, DNA ZIP BAG (OK), IRON ZIP BAG, ALUMINIUM.
29. Make the SMEAR from the LIVER on 2 slides
30. Remove STOMACH from the Gut block, and make a WET MOUNT
31. Rinse the STOMACH over the sieve. Put the stomach content in the STOMACH CONTENTS POT (OK). Put the STOMACH CONTENTS POT in a PLASTIC BAG.
32. DESCRIBE stomach contents precisely, specially presence or not of worms.
33. WEIGHT the STOMACH
34. PHOTO of the STOMACH
35. Put a stripe of the TRANSITION ZONE BETWEEN VENTRICULUS AND PROVENTRICULUS in FORMALINE 2.
36. Remove Koilin Layer.
37. PHOTO of the STOMACH without the Koilin Layer
38. Put the STOMACH in a PLASTIC BAG with the STOMACH CONTENTS POT.
39. Unfold the whole intestine. MEASURE DUODENUM, JEJUNUM, ILEUM, COLON, CAECA, left and right.
40. Put a piece of PANCREAS (OK) in FORMALINE 2
41. Open the whole intestine and rinse it over the sieve.
42. Put the INTESTINE CONTENT in the INTESTINE CONTENT POT and fill it to the top with ALCOHOL GLYCERINE.
43. DESCRIBE intestine content
44. Put a piece of the INTESTINE (around the ductus omphalo-entericum) in FORMALINE 2
45. Put the INTESTINE in a new PLASTIC BAG. Close the plastic bag with the other one.
46. Remove a TARSA BONE, twist it, make a SMEAR
47. Put the TARSA BONE in FORMALINE 2(OK)
48. Put all the REMAINS OF THE BODY in an identified TRASH BAG.

ANNEXE 5 : FICHE UTILISEE POUR NOTER LA CONDITION PHYSIQUE DES EIDERS A DUVET

ONDERHUIDS VET bij veervelden op borst (<i>subcutaneous fat,</i> <i>between feathers on breast</i>)	INGEWANDEN VET bij eindarm (<i>deposited fat around distal</i> <i>part of the gut</i>)	HTERING VAN BORSTSPIER (<i>emaciation of pectoral</i> <i>muscle</i>)
 <p>0 geen vet (no fat)</p>	<p>0 geen vet (no fat)</p>	 <p>0 zeer mager (strongly emaciated)</p>
 <p>1 iets vet (some fat)</p>	<p>1 iets vet ("sliertjes") (some fat ("strings"))</p>	 <p>1 mager (emaciated)</p>
 <p>2 vet (fat)</p>	<p>2 vet ("plakken") fat ("lumps")</p>	 <p>2 vrij mager (slightly emaciated)</p>
 <p>3 zeer vet (very fat)</p> <p>huid (skin) veerfollikel (feather follicle) onderhuids bindweefsel + vet (subcutaneous tissue + fat)</p>	<p>3 zeer vet (eindarm "ingepakt") (very fat; distal part of gut completely embedded in fat)</p>	 <p>3 niet mager (not emaciated)</p> <p>borstbeen (sternum) borstspier (pectoral muscle)</p>

Tous les participants au projet Eiders ont utilisé le même système de grading afin de pouvoir comparer les résultats.