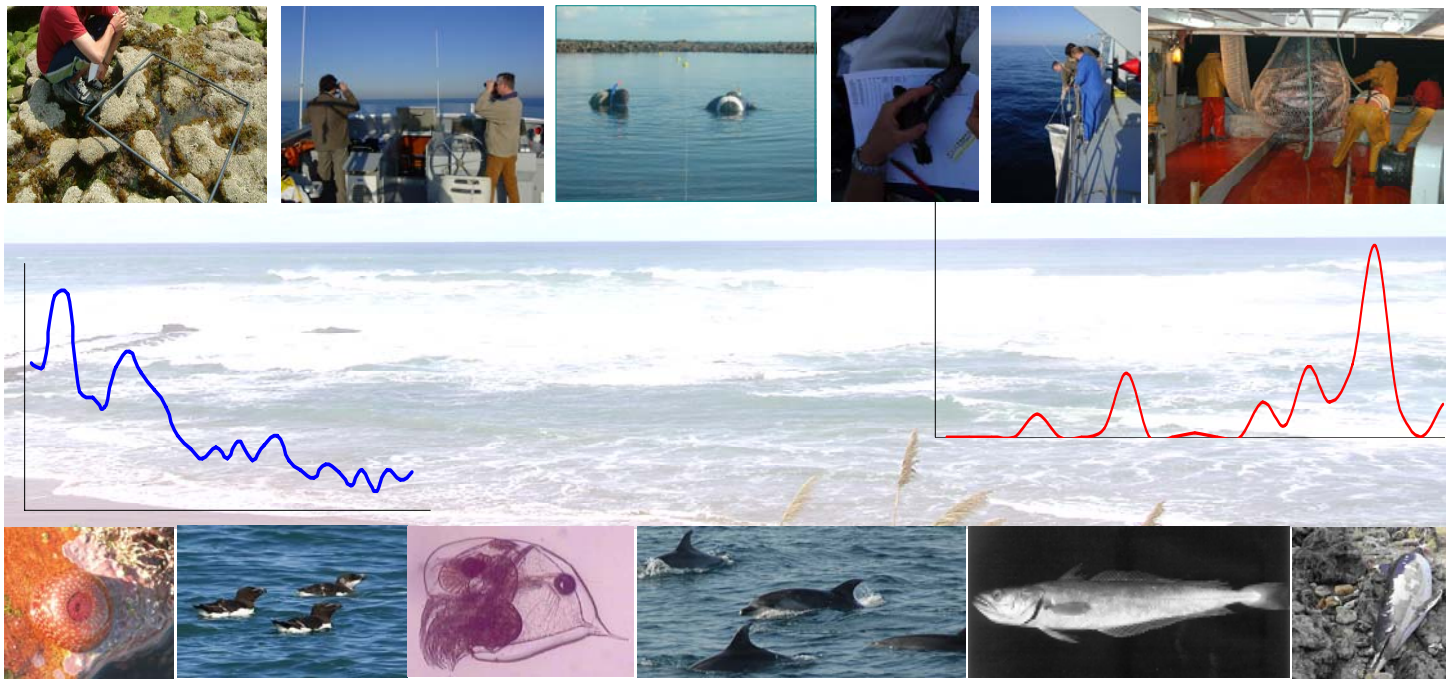
ERMMA

Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains

Programme régional

Environnement et ressources des milieux marins aquitains

RAPPORT D'ACTIVITE 2007 et BILAN DE LA PERIODE 2005-2007



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
SGAR Aquitaine

CONSEIL GENERAL DES LANDES

CONSEIL REGIONAL AQUITAINE

Décembre 2007

PROGRAMME REGIONAL
ENVIRONNEMENT ET RESSOURCES DES MILIEUX MARINS AQUITAINS

Le Programme régional « Environnement et ressources des milieux marins aquitains » constitue une démarche inter organismes et pluridisciplinaire comptant actuellement neuf participants principaux :

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Université de Pau et des Pays de l'Adour
UFR Côte Basque
Département d'Écologie

METEO FRANCE
Aquitaine

DOUANES FRANCAISES
Unités aéromaritimes

AFFAIRES MARITIMES
Vedettes A.E.C.

Centre de la mer
Côte Basque

LAPHY
Laboratoire d'Analyses des Prélèvements Hydrobiologiques

musée de la mer
Biarritz

ima
Institut des Milieux Aquatiques

Avec le partenariat de :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
SGAR Aquitaine

CONSEIL GENERAL DES LANDES

CONSEIL REGIONAL
AQUITAINE

PRINCIPALES ACTIONS ET RESULTATS EN 2007

Les actions effectuées par le programme régional « Environnement et ressources des milieux marins aquitains » (ERMMA) en 2007 :

• ont permis de développer les résultats acquis durant les années précédentes dans la continuité des objectifs généraux du programme

• ont été l'occasion d'acquérir de nouvelles données dans de nouveaux sites aquitains

• ont permis de finaliser la construction de la base de données pluridisciplinaires régionales et de la rendre accessible

• ont permis de faire connaître aux élus et au public les premiers résultats obtenus (communication dans la lettre de l'Observatoire Côte aquitaine, mise en ligne de la base de données, publications scientifique donnant une bonne validité aux travaux menés).

• ont donné des éléments scientifiques et techniques pour évaluer la pollution Prestige.

Base de données pluridisciplinaires régionales :

Une des principales actions finalisées en **2007** correspond à la réalisation de **la métabase** (cf. paragraphe sur la métabase de données). Elle prend en compte actuellement les principaux maillons des chaînes alimentaires (planctons, benthos, poissons, cétacés, oiseaux marins). Cette métabase permet de **stocker et gérer les données biologiques** brutes collectées lors des suivis environnementaux.

En 2007, la métabase de données sur les milieux marins compte **3 468 511 enregistrements**. L'importance de ces données pluridisciplinaires s'étendra encore au cours des mois à venir.

La structure de la métabase de données permet l'extension à d'autres organismes et l'intégration de nouvelles données. Cette métabase de données a été également mise en place dans un souci de **compatibilité avec d'autres bases de données** dans d'autres domaines (données géologiques de l'Observatoire de la Côte Aquitaine par exemple).

Après l'intégration d'extraits des bases de données biologiques pour test en 2006 celles ci ont été complétées en 2007 après validation du système d'exploitation.

Les données composant la base données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains portent en 2007 sur :

• Le suivi mensuel de la répartition de l'abondance ***en mer des populations d' Oiseaux marins*** ainsi que des ***espèces terrestres*** lors des migrations (cf. paragraphe oiseaux marins).

• Le suivi mensuel de la répartition de l'abondance ***des populations de Cétacés présentes en mer*** (cf. paragraphe cétacés).

• Les relevés des *échouages littoraux* ***de cétacés*** (cf. paragraphe cétacés).

• Les données sur les stocks des ***poissons*** pêchés (tonnages de poissons débarqués en criée) (cf. paragraphe poissons).

• Le suivi sur le ***Benthos marin*** (ensemble des organismes vivant sur le fond : anémones, étoiles de mer, crustacés, coquillages etc.) dans le secteur de référence de Guéthary. Le suivi des pêches à la senne de Socoa (***poissons benthiques***) est également intégré (cf. paragraphe Benthos animal et végétal).

• Le suivi sur le du ***peuplement planctonique*** (cf. paragraphe plancton).

Indicateurs		**Organismes collecteurs des données**	**Antériorité des données**	**Données intégrées en 2007**
suivi mensuel de la répartition de l'abondance ***en mer***	***Cétacés présents en mer*** (paragraphe cétacés)	*MNHN, UPPA, LAPHY*	1976 soit **32 ans**	144731
	Oiseaux marins et ***terrestres présents en mer*** (paragraphe oiseaux marins)	*MNHN, UPPA, LAPHY*		
Suivi des échouages sur le littoral (animaux vivants ou morts) (paragraphe cétacés)		*RNE – CRMM et ses acteurs locaux dont le CMCB*	1972 soit **37 ans**	2110
Poissons (données des tonnages de poissons débarqués en criée) (paragraphe poissons)		*IMA*	1980 soit **28 ans**	3312275
Suivis benthos animal et végétal	***Stations de référence*** (paragraphe Benthos)	*CMCB, Musée de la Mer*	2003 soit **5 ans**	7587
	Pêche à la senne (paragraphe Benthos)	*Musée de la Mer*	1999 soit **9 ans**	507
Plancton animal et végétal (paragraphe plancton)		*LAPHY*	2000 soit **7 ans**	1301
Total des données intégrées dans la *métabase de données sur les milieux marins aquitains*				**3 468 511 enregistrements**

rappel : CMCB=Centre de la Mer Côte Basque, CRMM = Centre de Recherche sur les Mammifères Marins, IMA = Institut des Milieux Aquatiques, LAPHY = Laboratoire de Prélèvements Hydrobiologiques, MNHN = Muséum National d'Histoire Naturelle, RNE = Réseau National d'Echouages, UPPA=Université de Pau et des Pays de l'Adour (UFR Sciences et Techniques d'Anglet, Département d'Ecologie).

D'autres données biologiques seront intégrées au fur et à mesure de l'actualisation des données de terrain et du développement de stations de suivis. C'est le cas des nouvelles données concernant le ***Benthos marin en milieux sableux*** (stations dans le département des Landes) (cf. paragraphe Benthos).

Cette base de données (cf. paragraphe sur la métabase de données) est **accessible via Internet** (la gestion des données s'effectuant sous internet en espace sécurisé) **(www.ermma.fr).**

Actualisation des données de terrain (informations de référence standardisées) :

L'acquisition de données de référence est développée pour permettre de suivre l'évolution des milieux et prévoir les changements à venir. L'actualisation de ces données de terrain est également nécessaire afin de disposer d'états de référence adéquats pour évaluer l'impact d'événements (pollutions, aménagements…). Ces données viennent compléter l'importance remarquable des données « anciennes » sur l'état écologique des milieux marins.

Au cours de l'année 2007, un grand nombre de prélèvements et **relevés de terrain** a été réalisé concernant :

- *Oiseaux marins* (cf. paragraphe oiseaux marins)

Ces relevés mensuels en mer permettant de suivre l'abondance et la répartition des oiseaux marins s'effectuent avec la coopération des Douanes Françaises. En 2007, neuf mois on été échantillonnés pour cause de travaux sur la vedette Garde-Côte des Douanes.
Ainsi **3 390 relevés** standardisés ont été réalisés **en 2007** ce qui amène à **11 800 observations d'oiseaux** géoréférencées (océanites, puffins, fous, sternes, goélands, pingouins…) depuis le début du programme ERMMA.

En parallèle du suivi des populations des oiseaux marins en mer, les colonies d'Océanite tempête (*Hydrobates pelagicus*) caractérisant les ressources en alevins de poissons marins et aussi de la pollution chimique sont suivies. Ainsi en 2007, le recensement (2 contrôles par an au moment de la reproduction) des deux seules colonies de cette espèce protégée en voie d'extinction en Aquitaine a été effectué.

- *Cétacés en mer* (cf. paragraphe cétacés)

Ces relevés sont effectués mensuellement en mer simultanément au suivi oiseaux. **En 2007**, **159 observations de cétacés** ont été référencées (Dauphin commun, Globicéphale noir, Grand Dauphin, Dauphin Bleu et blanc). Ces observations s'ajoutent au précédentes et portent à 500 le nombre d'observations de cétacés géoréférencés depuis le début du programme.

BILAN MISSIONS EN MER ERMMA	
Vecteur	**Garde-côte Douanes Françaises, DF43**
Nombre de missions en mer	**33 missions**
Secteurs privilégiés	Sud Landes (Gouf de Capbreton) Pyrénées Atlantiques
Echantillon réalisé	Plus de **12 480 relevés standardisés**
Mesures d'abondance	**500** observations de **cétacés** (53% Globicéphale noir, 39% Dauphin commun, 6% Grand Dauphin, 2% Dauphin Bleu et blanc)
	11 800 observations d'**oiseaux** (océanites, puffins, fous, sternes, goélands, pingouins…)
	Soit au total **12 300 animaux** géoréférencés

Bilan synthétique des mesures de l'abondance en mer des oiseaux marins et des cétacés (sur la vedette des Douanes Françaises DF43) effectuées dans le cadre de l'ERMMA (août 2004 - décembre 2007).

- *Echouages cétacés* (cf. paragraphe cétacés)

Dans le cadre du programme ERMMA, le Centre de la Mer Côte Basque et le CRMM fournissent les données sur les échouages collectées par le RNE (Réseau National d'Echouage). Ces données sont intégrées à la métabase de données.

- *Benthos* (cf. paragraphe benthos)

L'ERMMA propose de réaliser un suivi des biocénoses benthiques (ensemble des organismes vivant sur ou à proximité du fond : anémones, étoiles de mer, crustacés, coquillages etc.) des milieux littoraux (faciès rocheux et sableux).
En 2007, le **suivi** scientifique standardisé de la **station de référence** du cantonnement de pêche de Guéthary (département 64) a été effectué. Ce suivi, initié depuis 7 ans, permet de suivre la dynamique des peuplements de ce site de référence à la biodiversité remarquable. D'autres sites ont été également prospectés en 2006 sur le substrat assez méconnu de la Côte Basque entre le nord de Guéthary et l'Adour (pointe St Martin, platier rocheux du Basta à Biarritz et platier rocheux d'Erretegia à Bidart, les Viviers Basques d'Urrugne)..
Fort de son expérience, l'ERMMA étend ce type d'action à d'autres communes en particulier des Landes et Gironde afin d'avoir un suivi de la faune benthique étendu à différents milieux littoraux et sites naturels de l'Aquitaine (sableux, rocheux…). Ainsi, **en 2007** le site du **courant d'Huchet** (département 40) a été inventorié (cf. paragraphe benthos). **D'autres nouveaux sites seront prospectés et inventoriés en 2008** sur le substrat sableux des Landes afin d'y établir des stations de suivi de l'évolution des biocénoses dans ces milieux.
Toutes ces investigations sont essentielles en termes de connaissance de la biodiversité mais également de mesure de l'atteinte des milieux marins (émissaires de stations d'épuration, aménagements du littoral…).

- *Planctons* (cf. paragraphe plancton)

Les prélèvements du plancton de surface sont effectués au large à 20 km de la cote Landaise à l'aplomb du talus continental du canyon de Capbreton (43°37N, 1°43W, Z: - 600m env.). **En 2007**, **09 mois** ont été ainsi **échantillonnés**.
Dans le cadre du programme ERMMA, la priorité est mise sur le groupe taxonomique planctonique des Cladocères. En effet, ce groupe de crustacés possède des espèces aux préférences thermiques différentes. Parmi les espèces recensées actuellement deux sont non thermophiles et trois présentent des préférences pour les eaux plus chaudes. Ainsi, l'évolution mensuelle et pluriannuelle de la composition de ce groupe sera utilisée dans le cadre des objectifs généraux du programme ERMMA comme **indicatrice de changements océanoclimatiques**.

Développement de travaux en relation avec la Métabase de données :

La réponse à certaines questions ne peut être apportée que par le croisement de données de différentes origines

L'approche proposée par l'ERMMA permet d'avoir cette vision plus globale des écosystèmes marins et ainsi de mieux comprendre leurs fonctionnements et leurs dérèglements.

Quantification de l'influence des changements océano climatiques sur les peuplements marins (cf paragraphe II-A). Ces travaux ont été validés et publiés en **2007** par la revue scientifique de référence internationale « **Global Change Biology** » traitant des enjeux biologiques liés au problème du réchauffement climatique (Annexe VI b). Ces études montrent la relation importante entre les changements dans l'abondance des populations mesurés par différents suivis (poissons, oiseaux, cétacés…) et les modifications océanoclimatiques mesurées à l'échelle de l'Aquitaine.

Comparaison entre les données d'observations en mer des populations de cétacés obtenues sur les vedettes des Gardes Côtes par le MNHN et les relevés des échouages côtiers effectués par le RNE (cf paragraphe II-B). Cette étude vise à mieux comprendre les **facteurs (mortalité accidentelle par pêche ou causes naturelles) agissants sur les populations de cétacés** en Aquitaine. Les **résultats obtenus** sont très prometteurs et montrent une bonne concordance entre les pics d'échouages et l'abondance en mer des principales populations de cétacés. Les résultats de cette étude seront soumis pour publication dans une revue scientifique de référence courant 2008.

Dans son rôle de **veille écologique,** l'ERMMA alerte les autorités concernées sur les nuisances prévues liées à **l'invasion biologique des Goélands leucophées** dans le sud de l'Aquitaine à partir de l'Espagne. Ainsi la première étape nécessitait une étude de la répartition spatiale et temporelle des Goélands leucophées sur différents sites de la cote Basque tout au long du cycle annuel (recensement, comportements, cartographie sous Système d'Information Géographique). Cela a permis de comprendre les modalités d'exploitation des ressources du milieu par les goélands afin d'appréhender les **causes de leur explosion démographique et de proposer des moyens de gestion**. Ce suivi des populations a été poursuivi en **2007**.

En parallèle, des **actions de préservations** des colonies d'Océanites tempêtes afin de sauvegarder ces populations en danger ont été mises en place depuis 2006 (techniques de **limitation de la présence** de goélands sur les colonies d'Océanites ont été testées : l'effarouchement des goélands à l'aide d'un Laser MI-7 et une campagne de désherbage testée sur la Roche Ronde). En effet, les Goélands nouvellement installés sur les colonies de reproduction de l'Océanite (espèce au niveau maximum de protection) menacent de les faire disparaître par prédation. **En 2007**, les sites de ponte de goélands préalablement identifiés ont été équipés de pics répulsifs (Ecopic E6) afin de limiter l'installation des nids de Goéland leucophée (cf. paragraphe II-C).

Evaluation de l'impact de la pollution du Prestige :

L'**évaluation de l'impact du Prestige** quantifié dans le cadre du programme ERMMA a été publiée en **2007** (revue scientifique « **Ardeola** », cf Annexe VI c). l'importance de l'impact sur les **oiseaux marins** est estimée au final à 30240 individus en Aquitaine (cf. paragraphe III-B). Ces résultats ont également été présentés lors de colloques scientifiques et présentations publiques.

Concernant les **peuplements benthiques**, les années suivant le Prestige montrent une diminution de la richesse et de l'abondance de certaines espèces. Depuis 2005, une augmentation de la richesse spécifique semble indiquer la résilience de ces peuplements. **En 2007**, les valeurs de richesse spécifique sont proches de la situation antérieure à la pollution du Prestige (cf. paragraphe III-C). Un recul supplémentaire concernant ce suivi est nécessaire (d'un point de vue statistique).Une interaction avec les variations océano climatiques est cependant envisagée et sera examinée en 2008.

Concernant les **cétacés** aucun impact significatif n'apparaît (cf. paragraphe III-D). En effet, les années suivant l'accident pétrolier du « Prestige » ne montrent aucun accroissement des échouages en Aquitaine.

Communication auprès du public :

Cette communication a pris de nombreuses formes **en 2007** (cf. paragraphe IV): site Internet (www.ermma.fr), diffusion auprès du grand public et des médias (télévision, radio et presse), présentations auprès de collectivités et de scientifiques. Cet aspect continuera à s'intensifier au cours des prochains mois.

Cette communication s'est également faite en synergie avec **l'Observatoire de la Cote Aquitaine** sur support papier (lettre de l'OCA) ou via les sites internet.

Conclusion et perspectives

L'expérience méthodologique et les informations de terrain standardisées déjà acquises et en développement permettent de répondre à des questions précises tant sur le plan finalisé que fondamental sur l'évolution de l'environnement marin. Le programme pluridisciplinaire ERMMA dispose désormais dans cet objectif d'une métabase de données pluridisciplinaire sur les milieux marins aquitains. En **2007**, cette métabase en accroissement rassemble les données de différents suivis standardisés (**plus de 3 millions de données brutes**) présentant une grande antériorité (plus de 30 ans). Le programme pluridisciplinaire ERMMA présente également une réactivité indispensable pour comprendre les mécanismes écologiques mis en

jeux dans le cadre de l'évolution des milieux et peuplements marins en discriminant les actions de l'homme (aménagements, pollutions, pêches ...) de phénomènes plus globaux (climat ...).

Bilan des actions et des résultats acquis par le programme ERMMA au cours de la période 2005 – 2007.

Rédacteurs :
Castège Iker (CMCB), Hémery Georges (MNHN), Pautrizel Françoise (Musée de la Mer), Soulier Laurent (IMA), d'Elbée Jean (LAPHY).

Participants en 2007 :
Lalanne Yann (UFR Côte Basque), Scaviner Christelle (Musée de la Mer), Frank D'Amico (UPPA), Claude Mouchès (UPPA).

Moyens techniques en mer 2007 :
Douanes Françaises (Vedette Haïze Hegoa, St Jean de Luz),
Centre de Secours Principal du BAB (Pompiers).

Contact :

Georges HEMERY
MUSEUM NATIONAL d'HISTOIRE NATURELLE
Département d'Ecologie et Gestion de la Biodiversité - USM 0305
Station Maritime de Recherche
Plateau de la Petite Atalaye
64200 - Biarritz
tél. : 09 50 76 64 02
e-mail : *georges.hemery@univ-pau.f*

Iker CASTEGE
CENTRE DE LA MER CÔTE BASQUE
Plateau de la Petite Atalaye
64200 - Biarritz
tél. : 05.59.22.33.34
e-mail : *iker.castege@univ-pau.f*

SOMMAIRE

PRINCIPALES ACTIONS ET RESULTATS EN 2007

INTRODUCTION : *11*

I - METABASE DE DONNEES PLURIDISCIPLINAIRES SUR LES MILIEUX MARINS AQUITAINS *13*

A/ ARCHITECTURE DE LA METABASE DE DONNEES ENVIRONNEMENTALE **13**

B/ LES INDICATEURS BIOLOGIQUES DE LA METABASE DE DONNEES **16**
1 - LES OISEAUX MARINS ET TERRESTRES EN MER 20
2 - LES CETACES 24
3 - LES POISSONS 29
4 - LE PLANCTON 30
5 - LE BENTHOS ANIMAL ET VEGETAL 32

C/ LE S.I.G. BIOLOGIQUE MARIN AQUITAIN **38**

II – EXEMPLES DE CROISSEMENTS DE DONNEES AU SEIN DE LA METABASE PLURIDISCIPLINAIRE ET DE TRAVAUX EN COURS *39*

A/ IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES POPULATIONS .. **39**

B/ CROISEMENTS DONNEES CETACES **43**

C/ INVASION BIOLOGIQUE DES GOELANDS **47**

III – L'IMPACT DU PRESTIGE *53*

A/ LA GESTION DE LA CRISE DU PRESTIGE **54**

B/ ETUDE PLURIDISCIPLINAIRE SUR LES ARRIVEES D'HYDROCARBURES DU PRESTIGE ET L'IMPACT SUR LES OISEAUX MARINS **54**

C/ IMPACT DU PRESTIGE SUR LES BIOCENOSES BENTHIQUES **58**

D/ IMPACT DU PRESTIGE SUR LES CETACES **59**

IV – COMMUNICATION DES RESULTATS *60*

A / COMMUNICATION AUPRES DES COLLECTIVITES ET INSTITUTIONS ... **61**

B / COMMUNICATION AUPRES DU GRAND PUBLIC **62**

C / COMMUNICATION AUPRES DES SPECIALISTES, SCIENTIFIQUES ET FORMATIONS UNIVERSITAIRES **67**

CONCLUSION *69*

ANNEXES

INTRODUCTION :

Le programme régional « Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains » (ERMMA) se fonde sur les connaissances des milieux marins, le suivi et la compréhension de leurs évolutions temporelles. Il s'adresse au secteur compris depuis le littoral jusqu'à la limite de la zone économique exclusive française ZEE des 200 milles nautiques (360 km) au large de la Gironde, des Landes et des Pyrénées Atlantiques.

A l'initiative de la Station Maritime du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN, Dpt. Ecologie et Gestion de la Biodiversité), plusieurs institutions se sont regroupées pour mettre en place le programme ERMMA. Cette démarche inter organismes est gérée par le Centre de la Mer côte basque et compte actuellement 9 participants principaux :

• **Muséum National d'Histoire Naturelle** (MNHN, Station Maritime de Recherche à Biarritz, USM305 Département d'Ecologie et de Gestion de la Biodiversité)
• **Université de Pau et des Pays de l'Adour** (UFR Sciences et Techniques d'Anglet, département d'Ecologie)
• **Météo France** (Région Aquitaine et Station de Bayonne - Anglet - Biarritz)
• **Douanes Françaises**
• **Affaires Maritimes**
• **Institut des Milieux Aquatiques** (IMA)
• **Centre de la Mer côte basque**
• **Musée de la Mer** de Biarritz
• **Laboratoire de Prélèvements Hydrobiologiques** (LAPHY).

Ce programme repose sur les bases nationales de données acquises depuis plus de 30 ans et bénéficie de l'expérience scientifique et technique des ces différentes équipes.

Les actions du programme Régional ERMMA bénéficient du partenariat du Conseil Général des Landes de l'Etat par son Secrétariat Général aux Affaires Régionales aquitain ainsi que celui du Conseil Régional d'Aquitaine.

Le programme Régional ERMMA développe des actions suivant une double vocation :

• Développer des recherches fondamentales et des études appliquées sur les milieux marins.

• **Mettre en synergie** des travaux menés auparavant de manière indépendante par des organismes publics ou privés ainsi que des associations dans le domaine de la **connaissance** et de la gestion durable des milieux marins en Aquitaine.

L'ERMMA fournit ainsi des éléments techniques objectifs en vue de l'application des textes nationaux et communautaires sur la gestion des espèces, des milieux et de l'eau et de la définition des Aires Marines à Protéger AMP. L'ERMMA est donc un **outil de connaissances et d'expertises** qui doit permettre d'optimiser l'utilisation des moyens et compétences disponibles.

Le présent compte rendu montre les principaux travaux réalisés durant la première étape du programme 2005-2007. Ces actions s'appuient sur les résultats acquis durant les deux premières années et dans la continuité des objectifs généraux du programme.

Le premier objectif est la connexion de séries de données chronologiques pertinentes dispersées entre de multiples structures au sein d'une **métabase de données géoréférencées** sur le milieu marin aquitain. Cette métabase prend en compte les principaux maillons de la chaîne alimentaire (planctons, benthos, poissons, cétacés, oiseaux marins). Cette métabase de données permet de constituer un **Système d'Information Géographique** évolutif sur les milieux marins. Le **croisement de ces données** d'origines diverses permet également de répondre à de nombreuses questions en terme de recherches fondamentales et appliquées.

En parallèle et pour mettre à jour ces données de référence un grand nombre de prélèvements et **relevés de terrain** ont été réalisés en 2007.

Ces données régulièrement actualisées permettent de constituer des états de référence nécessaires à la quantification de l'impact d'évènements comme une pollution. C'est par exemple dans ce cas que le programme ERMMA a mené une étude pluridisciplinaire sur **l'évaluation de l'impact de la pollution du Prestige**.

Enfin, des **actions de communication** et de présentation des problèmes abordés et des résultats obtenus par l'ERMMA ont été effectuées sous diverses formes.

I - METABASE DE DONNEES PLURIDISCIPLINAIRES SUR LES MILIEUX MARINS AQUITAINS

La réalisation de la métabase est aujourd'hui effectuée. Cette métabase de données prend en compte actuellement les principaux maillons des chaînes alimentaires (planctons, benthos, poissons, cétacés, oiseaux marins). Cette métabase permet de stocker et gérer les données biologiques brutes collectées lors des suivis environnementaux.

En 2007, la métabase de données sur les milieux marins compte **3 468 511 enregistrements**. L'importance de ces données pluridisciplinaires s'étendra encore au cours des mois à venir au fur et à mesure de l'actualisation des données de terrain et du développement de stations de suivis.

Cette base de données est opérationnelle et **accessible via Internet** (la gestion des données s'effectuant sous internet en espace sécurisé) **(www.ermma.fr)**. La convivialité de l'espace visiteur de la métabase est en cours d'amélioration.

A/ ARCHITECTURE DE LA METABASE DE DONNEES ENVIRONNEMENTALE

Ce travail a été initié en 2006 en collaboration avec l'**IUP LAOSI** (Logistique, Activités Opérationnelles et Systèmes d'Information) de l'UFR (Unité de Formations et de Recherches) d'Anglet (participation de deux étudiants Josselin ROUILLARD et Etienne DUPUCH). La réalisation a ensuite été effectuée en 2007 par la société Ongionline société spécialisée dans la création et la gestion de sites web professionnels.

Une problématique essentielle de ce travail était de prévoir l'architecture de cette métabase de données afin quelle permette de connecter les différentes séries de données chronologiques sans changer fondamentalement les méthodes d'acquisition des relevés de chacun des organismes. L'important était donc que différentes sources de données, une fois validées, puissent être exploitées transversalement dans un seul système sans que les auteurs des données de base n'aient à modifier leur façon de faire. Tout cela évite une duplication pure et simple de données brutes disparates figurant dans les différentes sources d'informations.
Ces données sont initialement dispersées (entre organismes et géographiquement) et se présentent sous de multiples formes : documents papier, fichiers informatiques sous Word, tableur Excel, bases Access ou équivalents pour la plupart.

Cette métabase de données a été mise en place dans un souci notamment de compatibilité avec d'autres bases de données dans d'autres domaines actuellement en développement. Dans ce sens, une réunion a été tenue le 20 avril 2005 au Centre de la Mer Côte Basque avec un représentant du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minière) afin d'assurer la cohérence des formats de données et métadonnées de l'ERMMA (données biologiques) et les données géologiques de l'OCA (Observatoire de la Côte Aquitaine). Les données géoréférencées produites par l'ERMMA sont formatées selon des normes internationales, à l'instar de celle de l'OCA de façon à pouvoir être utilisées sur un SIG.

Le géoréférencement

Un aspect essentiel consiste à sélectionner et valider les informations pertinentes et fiables. Un point crucial de la sélection est la possibilité de les positionner géographiquement (**géoréférencement**) soit sous forme ponctuelle (« *station* »), soit sous forme de *zones* répertoriées et aux contours spatialement définis (communes, département, région, zones géographiques sélectionnées, point particulier...).
Les données intégrant la métabase doivent donc toutes posséder un positionnement géographique qui constitue le lien entre ces informations d'origines différentes.

Le format du positionnement géographique des différentes données constituant la métabase de données respecte les normes concernant le géoréférencement et en particulier la norme **ISO 6709**. L'acquisition de cette norme auprès de l'Organisation Internationale de Normalisation a donc été nécessaire. Cette normalisation du format concernant le géoréférencement doit permettre la comptabilité de la métabase de données aquitaine avec les autres bases de données nationales ou internationales conçues pour être interactives. Cela facilite le transfert vers les Systèmes d'Information Géographique.

Le Système de gestion de la métabase de données

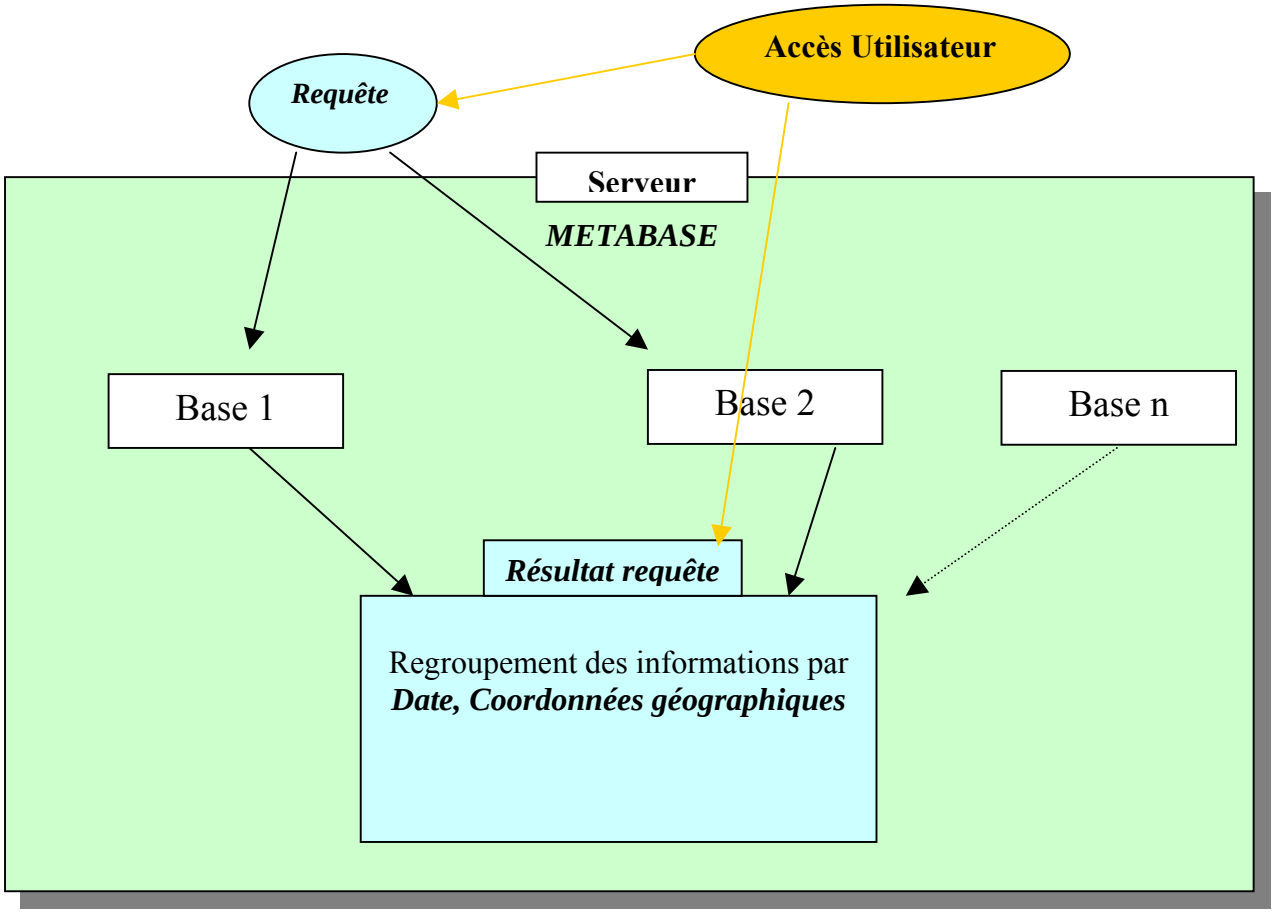


***Figure 1** : Structure de la métabase de données sur les milieux biologiques marins et océano-climatiques aquitains.*

Le deuxième aspect concerne l'implantation d'un système de gestion (SGBD) et d'un langage permettant des analyses pluridisciplinaires à la demande telles que des restitutions cartographiques par SIG ou de tests statistiques et de modélisations mathématiques par exemple.

La métabase permet donc en plus de stocker les données, d'assurer les performances maximales au niveau des requêtes d'interrogation, d'insertion, de suppression, de mise à jour. Le système de gestion des fichiers (SGF) permet ainsi d'effectuer les principales opérations (ou requêtes) :

• La *création* (ou *insertion*).

• La *modification* (ou *mise à jour*).

• La *destruction*.

• La *recherche (recherches de données simples et/ou croisées entre différentes base de données)*.

Les requêtes doivent ensuite s'exprimer simplement, rapidement et de manière fiable. Une bonne partie du travail sur les SGBD consiste à satisfaire ces besoins. Le résultat est ce que l'on appelle un *langage de requêtes*, et constitue à la fois un sujet majeur d'étude et une caractéristique essentielle de chaque SGBD. Le langage le plus répandu et le plus performant à l'heure actuelle est SQL (Structured Query Language), il a donc été sélectionné lors de la réalisation de la métabase de données.

Compte tenu de la grande hétérogénéité des bases de données la structuration de la métabase prévoit de laisser les bases distinctes tout en les recoupant par leurs champs communs lors des requêtes. Cette méthode permet de conserver toutes les données sur toutes les bases et de discerner chaque suivi avec ses variables propres.

Ce principe donne également la possibilité de rajouter une nouvelle base dans la métabase et ceux sans en perturber le fonctionnement à partir du moment où le nouveau suivi possède une date et des coordonnées géographiques (Figure 1).

La gestion de la métabase s'effectue sur un serveur (accessibilité *via* le site Internet www.ermma.fr) ce qui permet l'interrogation, la mise à jour et la sauvegarde de la métabase à distance.

L'utilisateur peut effectuer ainsi à distance des requêtes sur les données biologiques de son choix et également effectuer des requêtes croisées entre différents suivis biologiques (données disponibles pour le même secteur, pour la même période etc.) permettant ainsi les études pluridisciplinaires dans le cadre d'une vision plus large de l'écosystème. Cette gestion des données s'effectue dans un environnement sécurisé (Figure 2). Cependant, une partie avec des requêtes simplifiées présentant les données est accessible au public visitant le site internet.

Système de gestion permettant les sélections et croisements sur les données des bases de données biologiques.

Résultats des requêtes

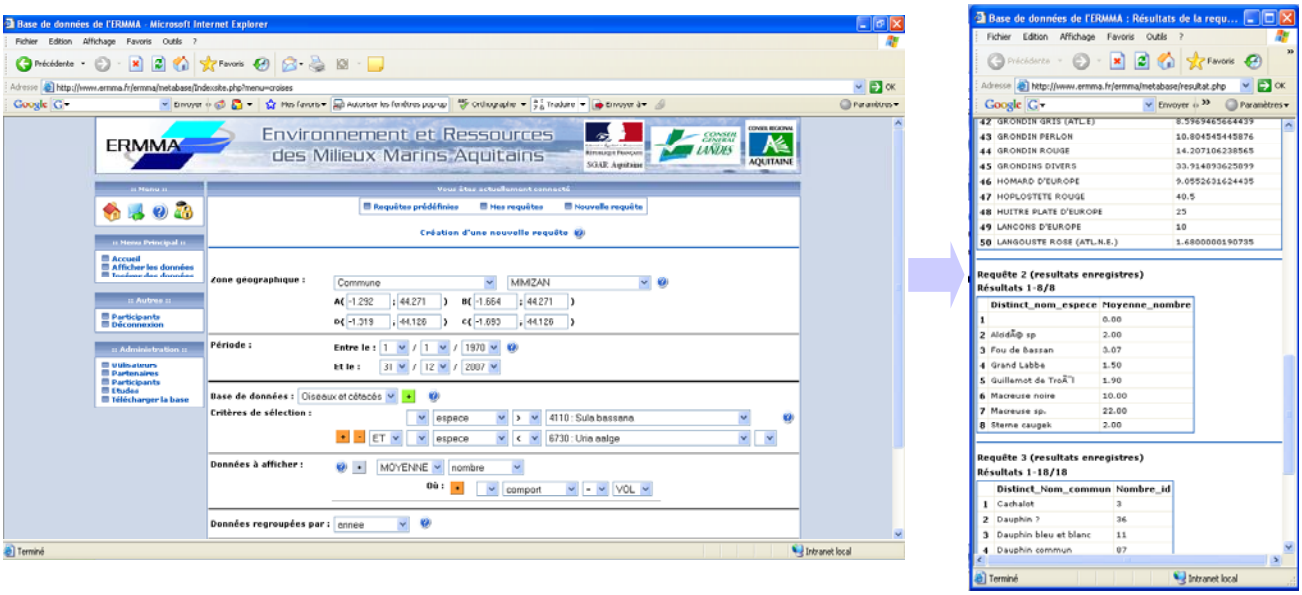


Figure 2 : *Système sécurisé de gestion des base de données permettant l'interrogation et le croisement entre les différents indicateurs biologiques.*

B/ LES INDICATEURS BIOLOGIQUES DE LA METABASE DE DONNEES

Afin de mieux définir les indicateurs biologiques une étude intitulée « Bilan sur les indicateurs et les programmes de suivis utilisés pour évaluer la qualité de l'environnement marin en région Aquitaine » a été conduite en 2005.
Ce travail mené par l'ERMMA en collaboration avec l'Université anglaise de Bournemouth (Master of Coastal Zone Management, Bournemouth University, UK) a permis de décrire les indicateurs biologiques actuellement utilisés et de recenser les suivis biologiques du milieu marin aquitain.
Les indicateurs biologiques intégrant la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains couvrent les principaux maillons des chaînes alimentaires (Figure 3, 5).

Après l'intégration d'extraits des bases de données biologiques pour test en 2006 celles ci ont été complétées en 2007 après validation du système d'exploitation. La métabase de données sur les milieux marins compte aujourd'hui 3 468 511 enregistrements.

L'importance des données « anciennes » sur l'état des milieux marins, en Aquitaine est considérable. Elles permettent de retracer leurs évolutions et sont nécessaires pour comprendre les mécanismes mis en jeu et donc pour faire des prévisions sur les changements à venir. L'importance de ces données pluridisciplinaires s'étendra encore au cours des mois à venir au fur et à mesure de leurs actualisations.

La base de données contient actuellement :

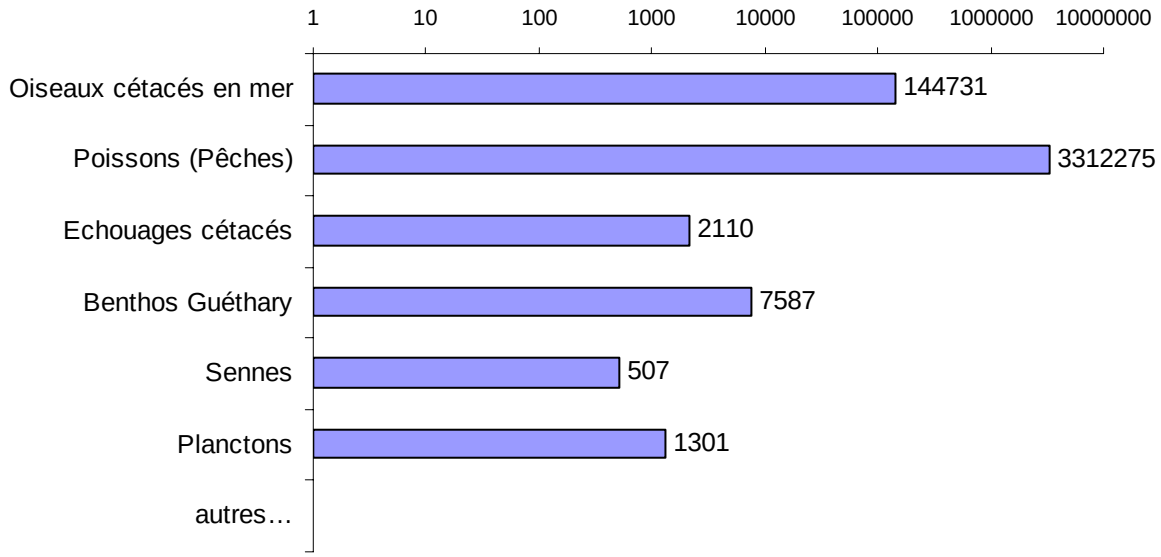


Figure 3: *Répartition des 3 468 511 enregistrements biologiques de la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins par suivis standardisés.*

• Les informations géoréférencées (échelle ponctuelle, GPS) du suivi sur la répartition spatio-temporelle des ***Oiseaux marins (et terrestres) en mer*** (50 espèces principales ; cf. paragraphe oiseaux marins).

• Les informations géoréférencées (échelle ponctuelle, GPS) du suivi sur la répartition spatio-temporelle des ***Cétacés en mer*** (4 espèces principales ; cf. paragraphe cétacés).

• Les relevés géoréférencés (à l'échelle du littoral de la commune) sur les ***échouages de cétacés*** (cf. paragraphe cétacés).

• Les données sur les stocks des ***poissons*** pêchés (tonnages de poissons débarqués en criée par secteurs et rectangles statistiques CIEM) (cf. paragraphe poisson).

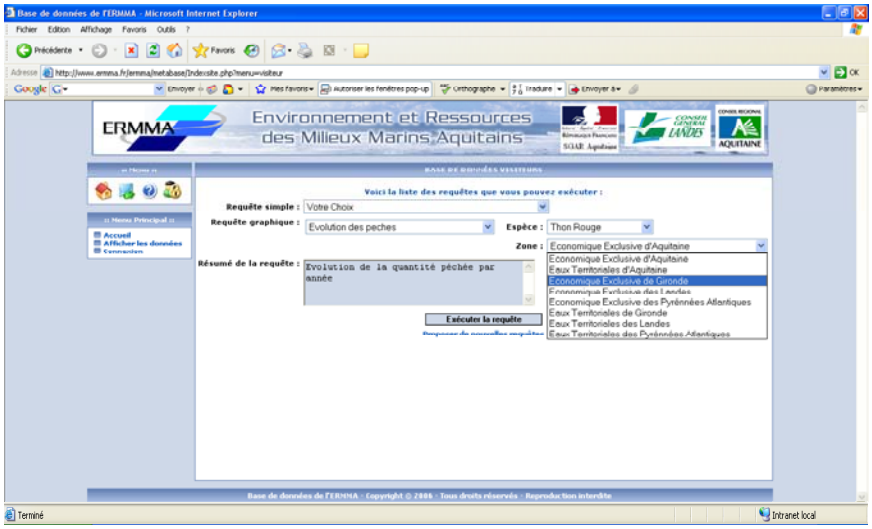
• L'inventaire écologique géoréférencé (échelle ponctuelle, GPS) sur le ***Benthos marin*** dans le secteur de référence de Guéthary. Le suivi des pêches à la senne de Socoa (***poissons benthiques***…) est également intégré (cf. paragraphe Benthos animal et végétal).

• Le suivi sur le du ***peuplement planctonique*** (échelle ponctuelle, GPS) (cf. plancton).

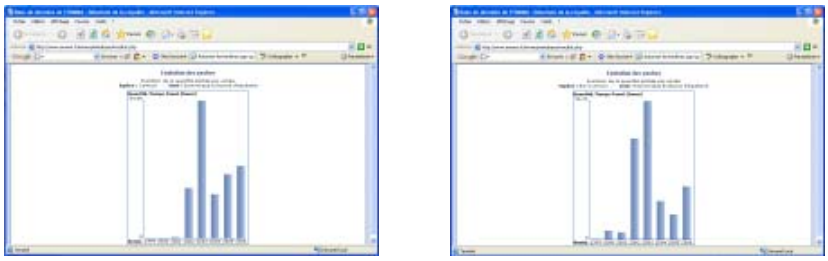
D'autres données biologiques seront intégrées au fur et à mesure de l'actualisation des données de terrain et du développement de stations de suivis. C'est le cas des nouvelles données concernant le ***Benthos marin en milieux sableux*** (stations dans le département des Landes) (cf. paragraphe Benthos animal et végétal).

Le programme ERMMA est composé à ce jour de neuf organismes mutualisant ainsi les compétences et données de ceux ci. La structure de la métabase de données permet cependant l'extension à d'autres organismes et l'intégration d'autres données.

Cette métabase de données a été également mise en place dans un souci de compatibilité avec d'autres bases de données dans d'autres domaines (géologique, climatique…).



Requêtes publiques permettant d'interroger la métabase de données sur les indicateurs biologiques marins et leurs évolutions.



Affichage par graphique ou tableau des résultats de la requête sélectionnée par le visiteur.

Figure 4*: Espace visiteur de la métabase de données permettant l'affichage de requêtes simplifiées présentant les données biologiques (www.ermma.fr).*

Un espace visiteur permettant l'affichage de requêtes simplifiées présentant les données biologiques de la métabase de données et leurs évolutions est également présent dans l'espace métabase (Figure 4) du site du programme ERMMA (www.ermma.fr). Cet espace visiteur est en cours d'amélioration afin de le rendre plus convivial et interactif.

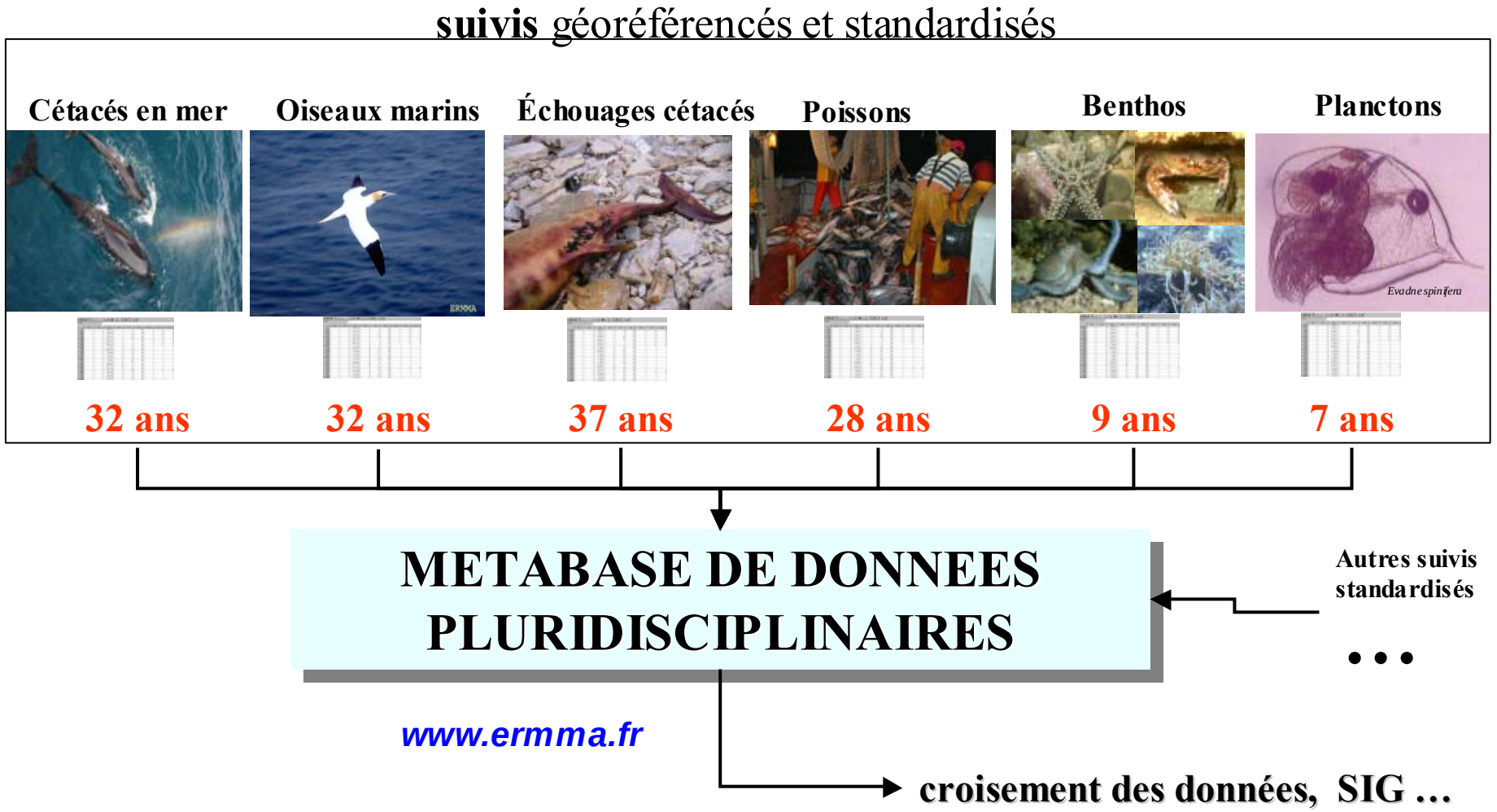


***Figure 5**: Nature et antériorité des relevés de principaux indicateurs biologiques intégrant la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains.*

1 - LES OISEAUX MARINS ET TERRESTRES EN MER

La métabase de données sur le milieu marin aquitain bénéficie des données issues du suivi des populations d'oiseaux marins et de cétacés initié en 1976 et piloté par le Muséum National d'Histoire Naturelle. Le LAPHY, le Centre de la Mer Côte Basque et l'UPPA (UFR Sciences et Techniques d'Anglet, Département d'Ecologie) participent également sur le terrain à ce suivi des populations marines.

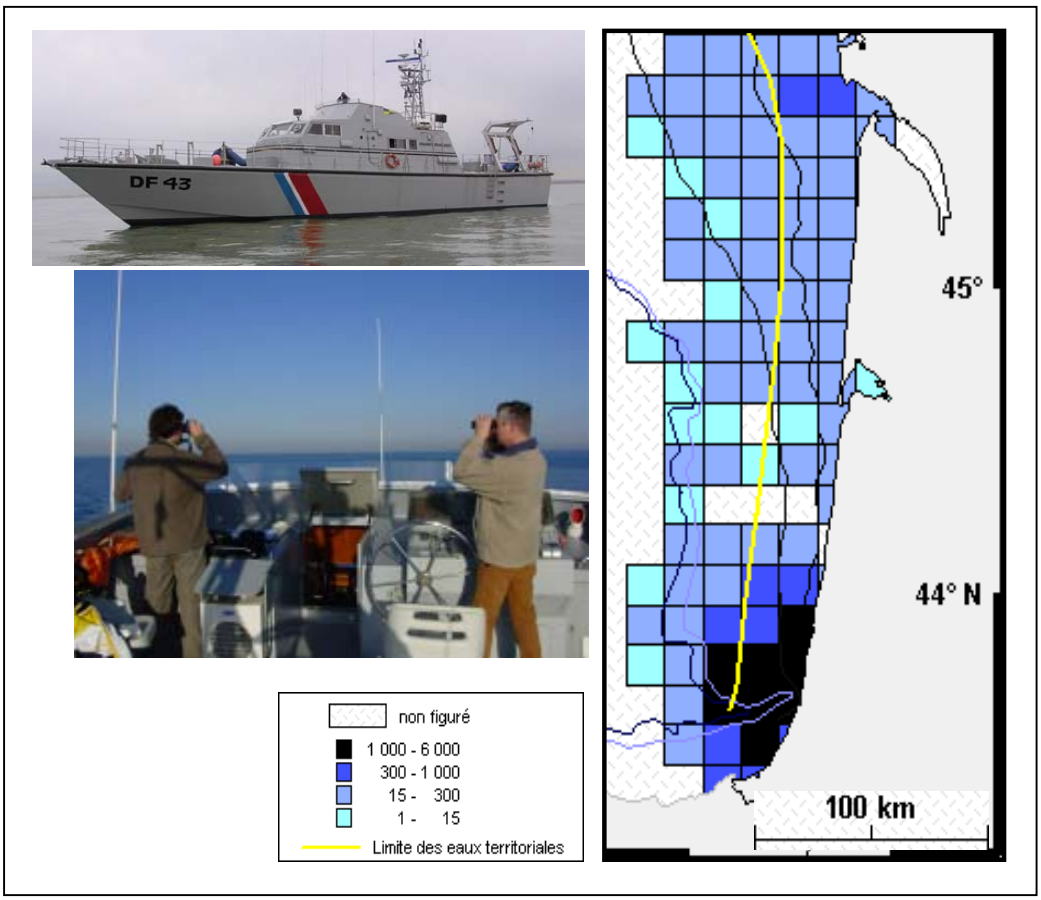


Figure 6: *Intensité de prospection depuis 1976 (en nombre de kilomètres parcourus dans chaque maille carrée de 8 milles nautiques de coté) effectués à bord de navires standardsdes Douanes Française et Affaires Maritimes (ici vedette des Douanes Françaises DF43, Bayonne) ; les prospections par avion effectuées ne sont pas figurées ici.*

Ce suivi met en œuvre des moyens matériels lourds en navires (Figure 6) et avions dans le cadre d'un accord national de coopération entre les Douanes Françaises et le Muséum National d'Histoire Naturelle.

Le protocole de recueil de données en mer est standardisé et utilise la méthode éprouvée des transects linéaires et repose sur la standardisation rigoureuse des conditions d'observations en mer. Cette méthodologie identique depuis 1976 permet ainsi la comparaison des données et le suivi de ces populations.

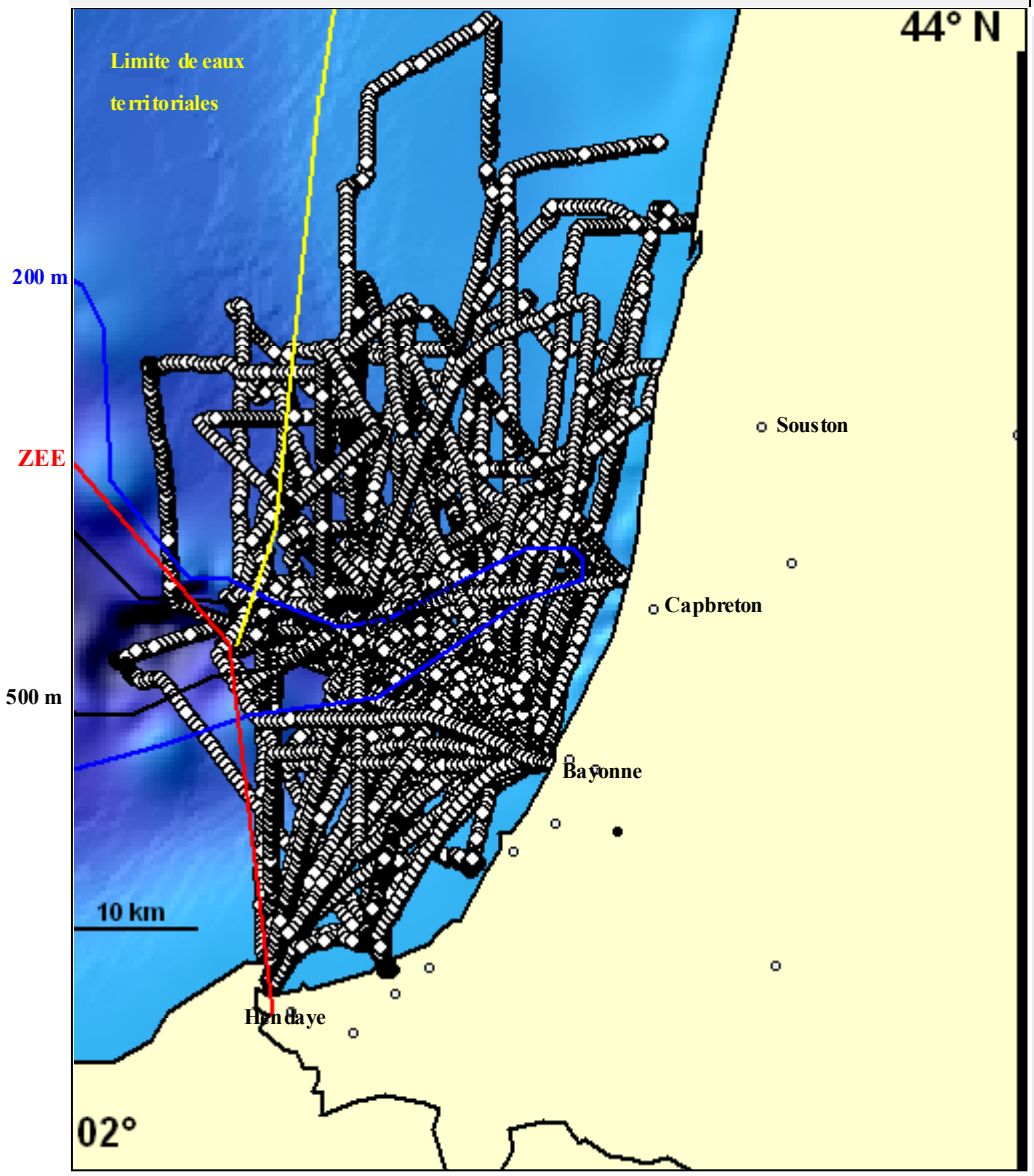
Ces relevés effectués mensuellement permettent de suivre l'évolution de l'abondance des oiseaux marins et des cétacés (**50 espèces** principales d'oiseaux marins et **4 espèces** principales de cétacés) ainsi que des espèces terrestres présentes au cours de leurs migrations.

Ces données sur les espèces fréquentant les eaux du Golfe de Gascogne sont mises à jour régulièrement.

Dans le cadre de l'ERMMA, **33 missions** ont été réalisées dans les conditions standardisées (Figure 7). Ainsi, depuis le début du programme et à ce jour, **12 480 relevés en mer** ont pu être effectués. Ces données viennent compléter les **137 600 relevés** effectués précédemment et qui sont désormais intégrés à la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains.

BILAN MISSIONS EN MER ERMMA

PARCOURS	*COMMENTAIRES*



Vecteur :
Garde-côte Douanes Françaises, DF43

Secteurs privilégiés :
sud Landes (Gouf de Capbreton)
Pyrénées Atlantiques

Nombre de missions :
33 missions

Echantillon réalisé:
Plus de **12 480 relevés standardisés**

Mesures d'abondance :

500 observations de **cétacés** (53% Globicéphale noir, 39% Dauphin commun, 6% Grand Dauphin, 2% Dauphin Bleu et blanc)

11800 observations d'**oiseaux** (océanites, puffins, fous, sternes, goélands, pingouins…)

Soit au total **12 300 animaux** géoréférencés

Figure 7 : *Bilan synthétique et trajets effectués lors des relevés standardisés réalisés sur le suivi de l'abondance en mer des oiseaux marins et des cétacés (sur la vedette des Douanes Françaises DF43) dans le cadre de l'ERMMA (août 2004 - décembre 2006).*

Depuis la mise en place du programme ERMMA, les échantillonnages aux abords du Gouf de Capbreton (Landes et Pyrénées Atlantiques) ont été volontairement favorisés (Figure 7). En effet, le Gouf de Capbreton, unique en Europe, entaille profondément le plateau continental aquitain jusqu'à proximité du continent. Les phénomènes océanographiques particuliers qui en résultent déterminent des peuplements marins originaux (cf. par exemple la répartition du Globicéphale noir, Figure 13). Le sud du Golfe de Gascogne marque également la zone de transition entre les eaux tempérées froides boréales et les eaux tempérées chaudes méridionales. Ce mélange induit une importante biodiversité des écosystèmes, souvent méconnue en dehors des cercles scientifiques.

Ces données sont, après codage et validation, intégrées au **Système d'Information Géographique** (SIG MapInfo dans le cas présent) afin de réaliser des cartographies de l'abondance et de définir les zones biologiquement sensibles pour ces espèces (Figure 9).

En parallèle du suivi de l'évolution de l'abondance et de la répartition en mer des populations d'oiseaux marins et de cétacés, ont été choisis des indicateurs biologiques dont l'Océanite tempête (*Hydrobates pelagicus*) caractérisant les ressources en alevins de poissons marins et aussi de la pollution chimique. Les deux seules colonies de cette espèce protégée en voie d'extinction en Aquitaine sont suivies depuis 33 ans (Figure 8).

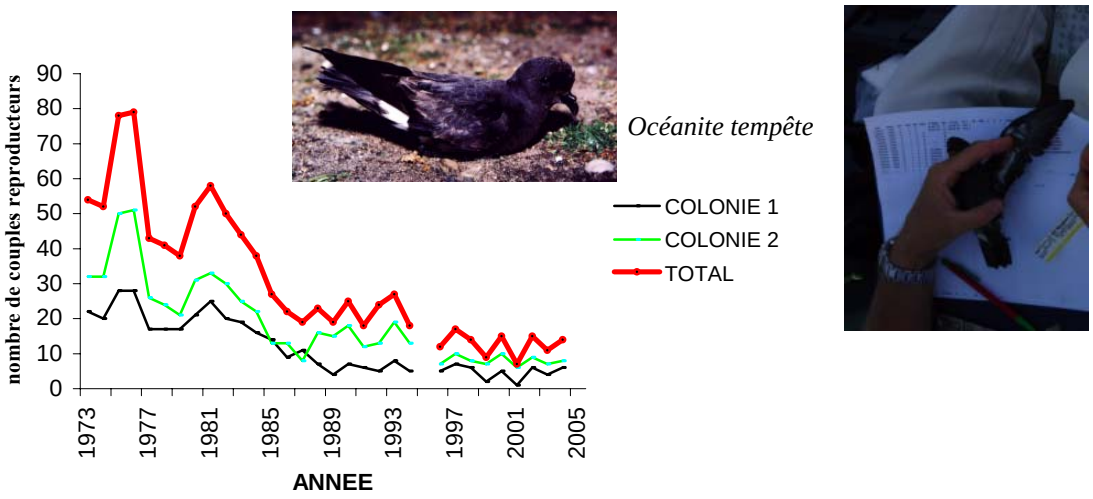
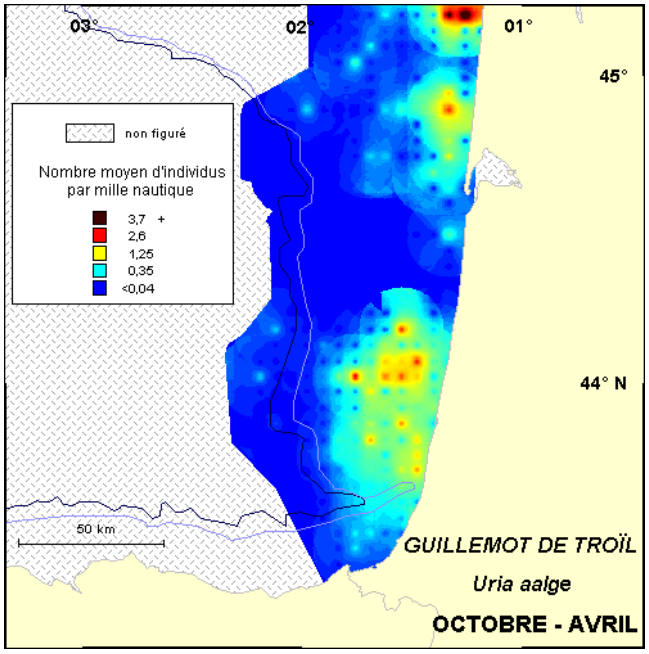


Figure 8: *Recensement, baguage, mesures biométriques et prélèvement sanguin (pour analyses génétiques) effectués sur les deux colonies d'Aquitaine d'Océanites tempêtes.*

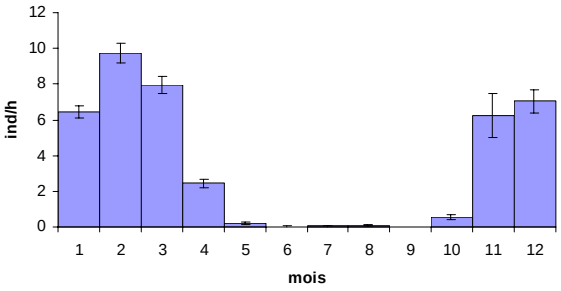
Dans le cadre de l'ERMMA, le recensement annuel (2 contrôles par an au moment de la reproduction) des populations d'Aquitaine a été effectué au cours des étés 2004, 2005, 2006 et 2007.
L'accès aux colonies d'études situées sur des îlots au large se fait grâce aux bateaux semi-rigides des CRS-MNS de Biarritz, des Sapeurs Pompiers du District Bayonne Anglet Biarritz, ainsi que l'hélicoptère de la Gendarmerie Nationale de la Brigade de Biarritz-Parme.

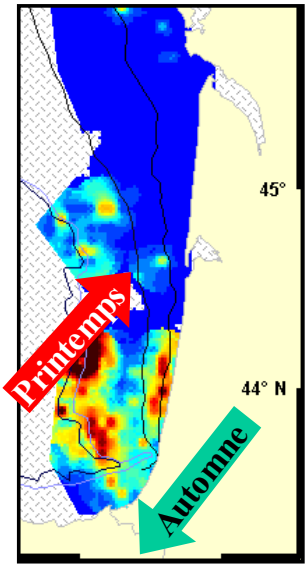
EXEMPLES DE RESULTATS



Alcidés en mer : Guillemot de Troïl (*Uria aalge)* et Pingouin torda (*Alca torda*)

a





Migration des passereaux

Alouette des champs

Pipit

Etc

b

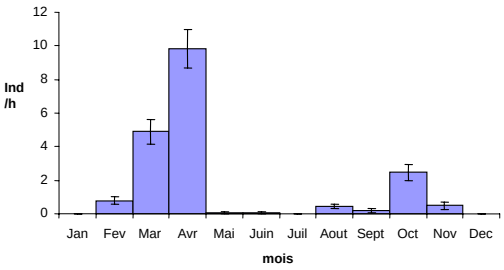


Figure 9: *a : exemple de la répartition géographique et du calendrier d'abondance d'une espèce d'oiseau marin à vaste répartition : le Guillemot de Troïl (hivernant d'octobre à avril). b : migration en mer des passereaux (février – juin) et calendrier d'abondance, les flèches indiquent la direction dominante des vols.*

2 - LES CETACES

● Suivi des échouages

Les références sur les cétacés échoués sont collectées par le RNE (Réseau National d'Echouage) présent sur les 5000 km de côtes de France.

Sous l'impulsion de la ville de La Rochelle et du Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris, a été fondé en 1972 le Centre de Recherche sur les Mammifères Marins (CRMM).

Depuis cette date, le CRMM collecte, centralise et traite les informations scientifiques relatives aux mammifères marins. Pour assurer la collecte des données, le RNE, créé et coordonné par le CRMM, a été mis en place sous la tutelle du Ministère chargé de l'environnement (MEDD). Les correspondants sont pour la plupart des associations ou des institutions participant bénévolement au réseau (Figure 10). Les membres du RNE sont titulaires nominativement d'une carte verte les autorisant à intervenir sur les mammifères marins qui sont des espèces protégées.

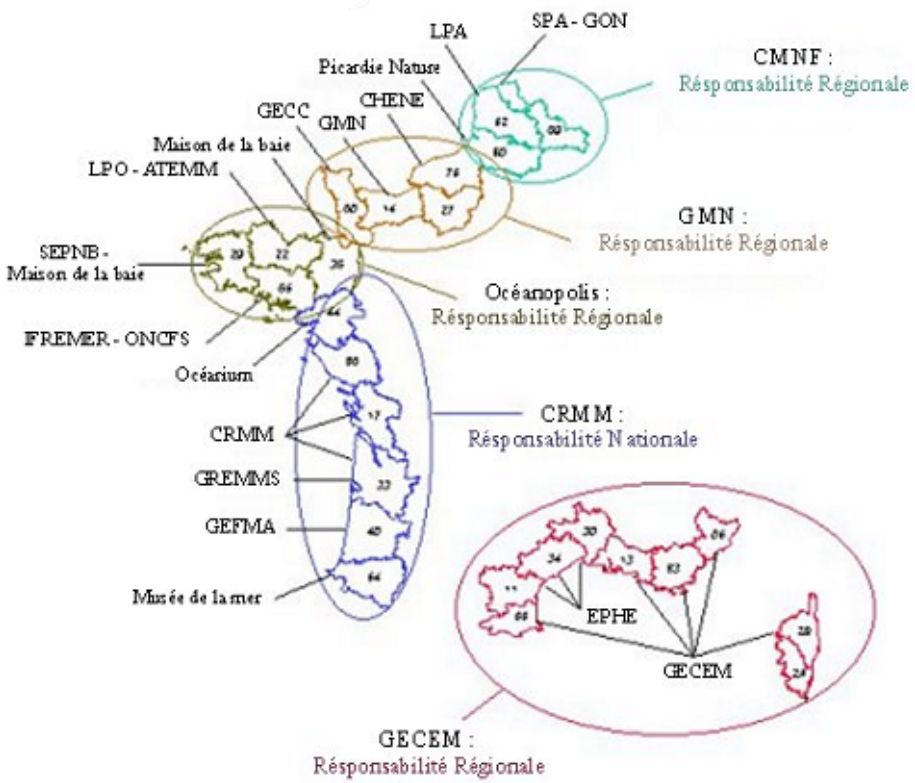


Figure 10: *Organisation du Réseau National d'Echouage et organismes participants sur les côtes de France.*

En Aquitaine, Le CRMM intervient directement sur les gros animaux ou lors d'échouages en masse. Les principaux collaborateurs du réseau sont la Réserve Naturelle du Banc d'Arguin en Gironde, le GEFMA et l'ONCFS dans les Landes, le Musée de la Mer de Biarritz et l'ONCFS dans les Pyrénées Atlantiques.

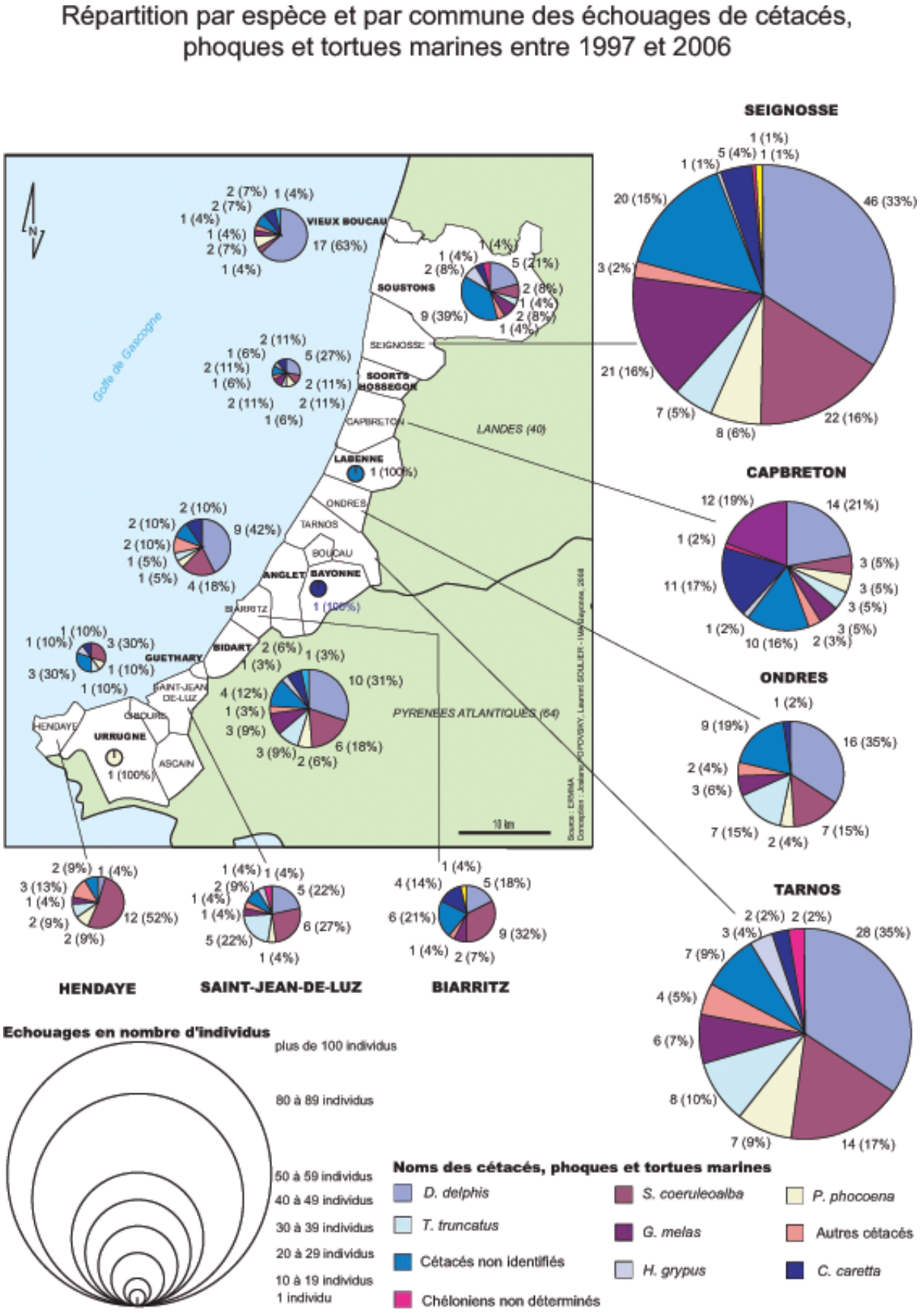


Figure 11: *Exemple de résultat sur le suivi des échouages de cétacés : proportions des différentes espèces échouées en Aquitaine depuis 1972.*

Ces données permettent notamment de suivre l'évolution des échouages espèce par espèce au fil des mois et des années (Figure 12).

Les principales espèces (Figure 11) représentées sont le Dauphin commun (*Delphinus delphis*), le Globicéphale noir (*Globicephala melas*), le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le Marsouin commun (*Phocoena phocoena)* et le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*). De plus, des espèces rares en France ont été répertoriées sur les côtes aquitaines, comme plusieurs espèces de baleines à bec, Ziphius (*Ziphius cavirostris*), Mésoplodon de Blainville (*Mesoplodon bidens*) et Mésoplodon de Gervais (*Mesoplodon densirostris*), des cachalots, le Grand cachalot (*Physeter macrocephalus*) et le Cachalot pygmée (*Kogia breviceps*). Des spécificités géographiques du golfe de Gascogne, comme le Gouf de Capbreton ou le Canyon du Cap Ferret, pourraient expliquer ces présences.

Les cétacés représentent la grande majorité des échouages, les tortues et les phoques étant présents en nombre beaucoup plus faible.

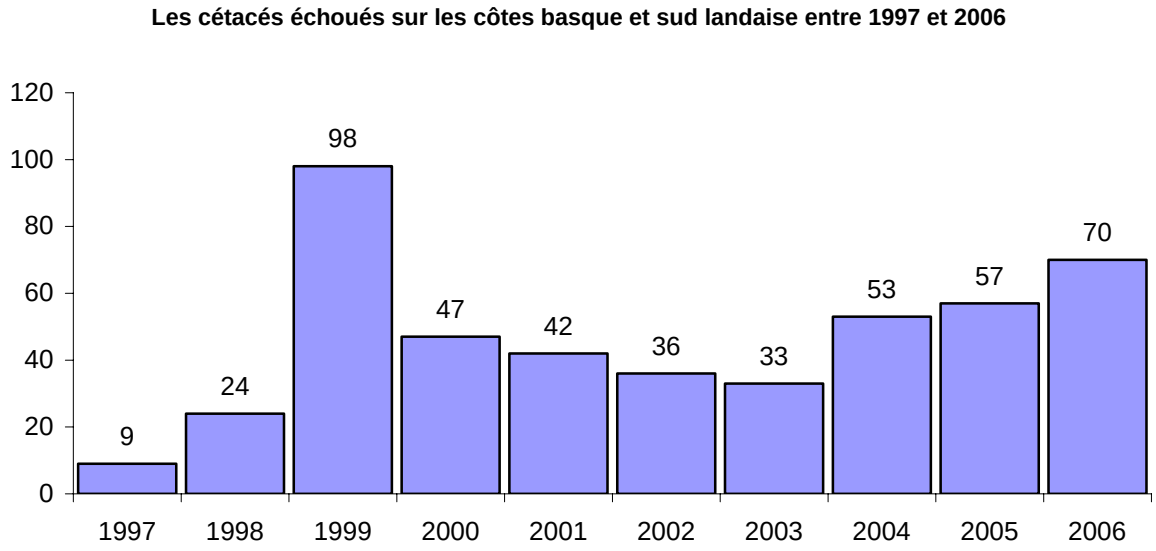


Figure 12: *Exemple de résultat sur le suivi des échouages de cétacés : évolution de l'abondance des échouages des cétacés de 1997 à 2006.*

Le nombre d'échouage de cétacés sur les côtes basque et sud landaise est assez homogène depuis les années 2000 avec environ une cinquante d'échouages annuel. Toutefois, on peut noter une tendance à la hausse depuis 2003 sans toutefois atteindre le pic de 1999 (98 échouages). Les causes d'échouages sont multiples, des captures accidentelles aux maladies ou au choc avec les navires.

Dans le cadre du programme ERMMA, le Centre de la Mer Côte Basque et le CRMM fournissent les données sur les échouages qui permettent le développement des programmes de recherche du programme sur les causes principales de l'évolution des populations par la corrélation de données pluridisciplinaires (suivi de l'abondance des cétacés en mer, conditions météorologiques et océano-climatiques, évolution des stocks de poissons…).

● Suivi des populations en mer

Le suivi en mer des populations de cétacés se fait dans le cadre du suivi général oiseaux et mammifères marins (cf. paragraphe oiseaux marins) mis en place depuis 1976 par le Muséum National d'Histoire Naturelle grâce aux moyens aéronavals des Douanes Françaises et des Affaires Maritimes.

EXEMPLES DE RESULTAT

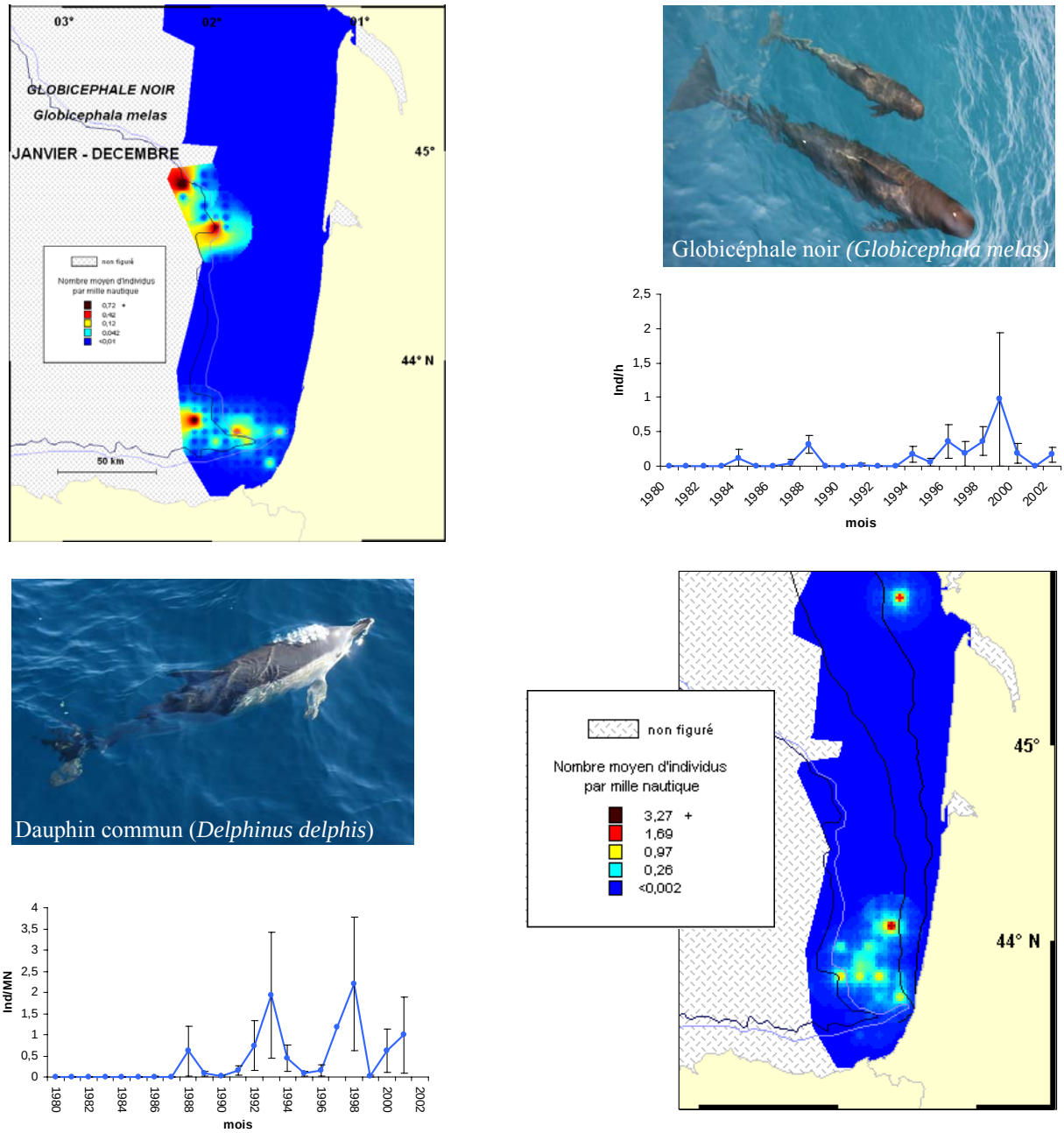


Figure 13: *Répartition (Janvier-Décembre) et évolution de l'abondance de deux espèces abondantes en mer dans le sud du Golfe de Gascogne : le Globicéphale noir* (*Globicephala melas*) *et le Dauphin commun* (*Delphinus delphis*).

Les données obtenues depuis près de 30 ans dans ces conditions standardisées participent à l'enrichissement de la ***base de données pluridisciplinaires*** (métabase) sur le milieu marin aquitain.

Ces informations, régulièrement mises à jour, permettent un ***suivi en mer des populations*** de cétacés fréquentant les eaux d'Aquitaine (***cartographies*** et évolution de l'***abondance***) ainsi que la définition de ***zones sensibles*** pour ces espèces (Figure 13).

Parmi les cétacés, quatre espèces sont régulièrement (Figure 14) observées avec dans l'ordre d'abondance, le Dauphin commun (*Delphinus delphis*), le Globicéphale noir (*Globicephala melas*), le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) et le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*).

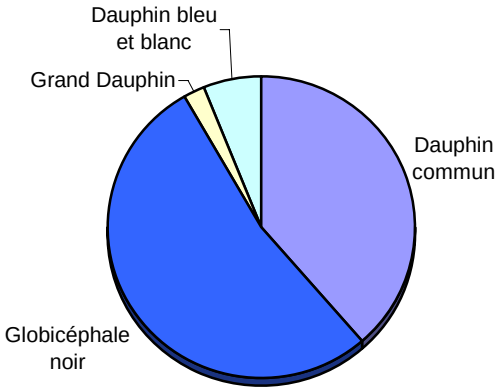


Figure 14: *proportion des principales espèces de cétacés observées en Aquitaine dans le cadre du suivi de l'abondance en mer.*

Depuis août 2004, 33 opérations de mesures en mer ont été effectuées :

- *18 août 2004*
- *22 septembre 2004*
- *02 novembre 2004*
- *03 décembre 2004*
- *08 décembre 2004*
- *12 janvier 2005*
- *14 mars 2005*
- *14 avril 2005*
- *04 août 2005*
- *15 septembre 2005*
- *18 octobre 2005*
- *21 novembre 2005*
- *16 décembre 2005*
- *13 janvier 2006*
- *24 février 2006*
- *20 mars 2006*
- *28 avril 2006*
- *15 mai 2006*
- *27 juin 2006*
- *25 juillet 2006*
- *29 septembre 2006*
- *17 octobre 2006*
- *20 novembre 2006*
- *18 décembre 2006*
- *30 janvier 2007*
- *03 avril 2007*
- *10 mai 2007*
- *22 juin 2007*
- *09 juillet 2007*
- *06 septembre 2007*
- *29 octobre 2007*
- *23 novembre 2007*
- *12 décembre 2007*

Plus généralement, la corrélation entre ces informations de la métabase de données (mesures de l'abondance des cétacés en mer, suivi des échouages, conditions météorologiques et océano-

climatique…) permet le développement des ***programmes de recherche*** du programme sur les ***causes principales de l'évolution des peuplements.*** Par exemple une augmentation des échouages correspond-elle à un accroissement de la mortalité (impact des filets maillants, maladies…) ou à une augmentation de l'abondance en mer avec une mortalité identique ? (cf. paragraphe II -B). Ces informations permettent également de définir les zones marines biologiquement sensibles pour ces différentes espèces.

3 - LES POISSONS

Les changements des milieux marins sont d'ordre environnemental mais les actions anthropiques n'y sont pas étrangères.
Les tonnages débarqués par la pêche artisanale et côtière des quartiers maritimes de Marennes-Oléron à Bayonne sont utilisés comme une première indication des niveaux de stocks de poissons exploités commercialement en Aquitaine (Figure 15).

Figure 15: *Chalutier en effort de pêche. Les tonnages débarqués sont utilisés comme indication des niveaux des stocks.*

Grâce à son expérience dans le suivi et l'analyse des statistiques halieutiques, l'IMA (chargé du volet ressources vivantes de l'AGLIA) proposera des analyses halieutiques permettant de mettre en évidence l'évolution des stocks de poissons et les modifications du milieu naturel au travers des activités humaines qui s'y concentrent.

Les séries statistiques fournies par l'IMA permettent de travailler à une échelle temporelle large (décennales).

L'objectif est donc de corréler au sein de la métabase pluridisciplinaire de l'ERMMA, l'évolution des stocks de poissons, des principaux indicateurs biologiques sélectionnés (planctons, benthos, oiseaux et cétacés) avec l'évolution des milieux physiques. Cette approche permettra de mieux comprendre les causes principales de l'évolution des peuplements (cf. paragraphe II-A).
Le secteur visé par le programme couvrira en premier la zone sud du golfe de Gascogne, au droit du littoral de la Région Aquitaine (secteurs et rectangles statistiques CIEM 8B et une partie du 8C littoral basque et espagnol, Figure 16).

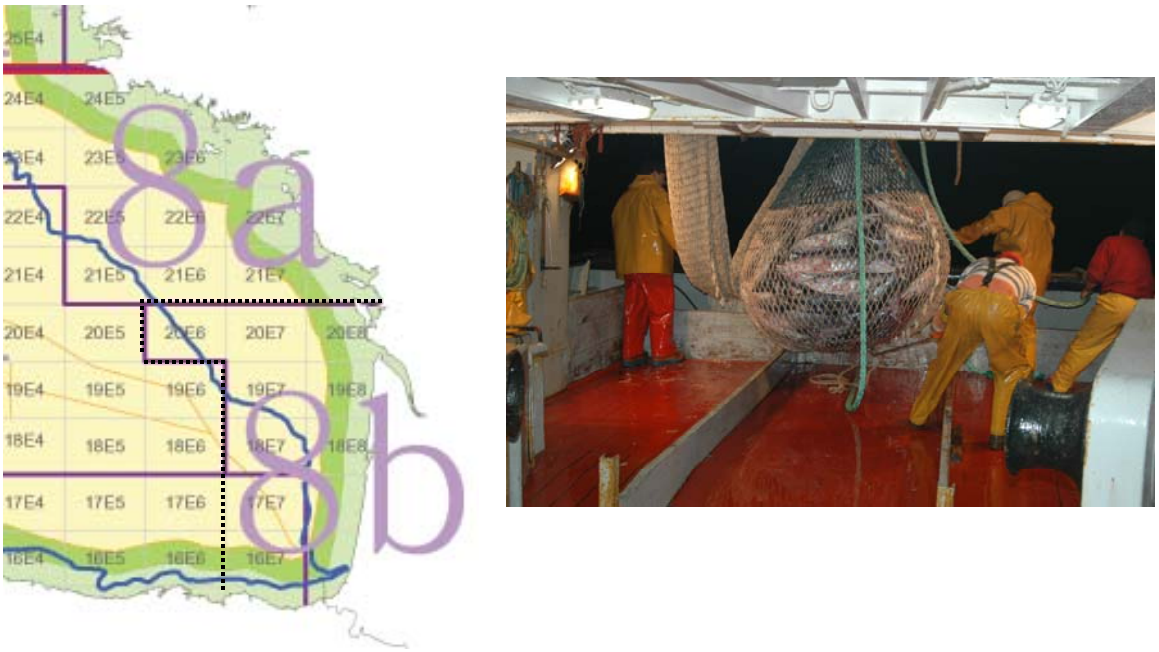


Figure 16: *Secteurs et rectangles statistiques CIEM (Conseil International pour l'Exploration de la Mer) sélectionnés pour les données des pêches par le programme ERMMA rectangles statistiques 20E6 ; 20E7 ; 20E8 ; 19E7 ; 19E8 ; 18E7 ; 18E8 ; 17E7 ; 17E8 ; 16E7 et 16E8).*

4 - LE PLANCTON

Simultanément au suivi des populations d'oiseaux et mammifères marins auquel il participe, le LAPHY (Laboratoire d'Analyses des Prélèvements Hydrobiologiques) a initié en 2000 un suivi mensuel du zooplancton sur une station d'échantillonnage (43°37N, 1°43W, Z: - 600m env.) située au dessus du talus du canyon de Capbreton sur une profondeur de 600m (Figure 17).

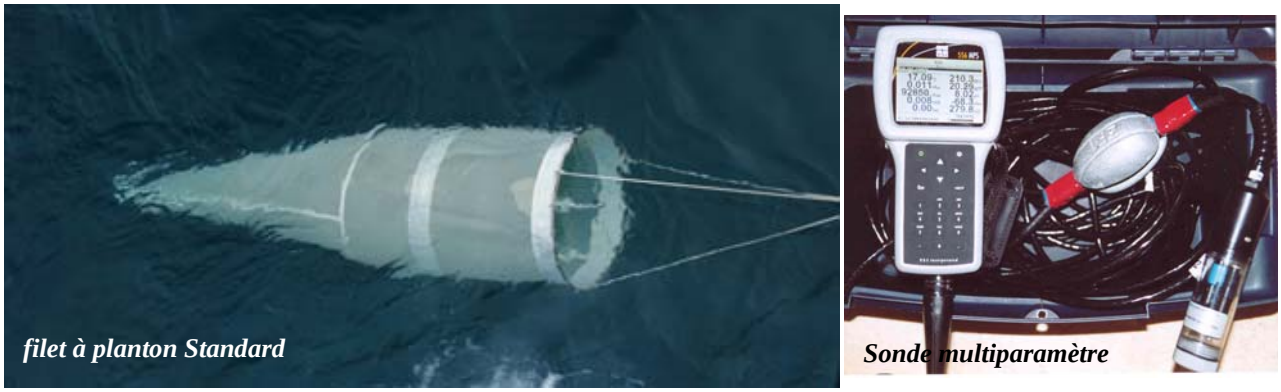


Figure 17: *Échantillon mensuel effectué sur la vedette des Douanes Françaises DF43 au large de Capbreton (trait horizontal de surface, filet à planton Standard WP2 200µm VDM). Un suivi de l'hydrologie de surface (température, salinité, O_2 dissous, conductivité et pH) de cette station est également réalisé à l'aide d'une sonde multiparamètre (Sonde YSI 556 MPS).*

L'objectif de cette action est de constituer une série à long terme de données mensuelles permettant de mettre en évidence les modifications temporelles de l'abondance, de la diversité et de la composition du zooplancton, base des chaînes alimentaires. Le point d'échantillonnage a été également choisi dans ce sens suffisamment éloigné des côtes pour éviter d'éventuels effets anthropiques.

En complément, un suivi de l'hydrologie de surface de cette station de référence par des mesures standards de température, salinité, O_2 dissous, conductivité et pH est initié en 2004.

Les premiers résultats montrent que les œufs et larves de poissons sont présents toute l'année (28 taxa d'œufs et 46 taxa larvaires ont déjà été déterminés) avec des variations temporelles des **abondances** et de la **richesse spécifique** (minima hivernaux et maxima au printemps) (Figure 18).

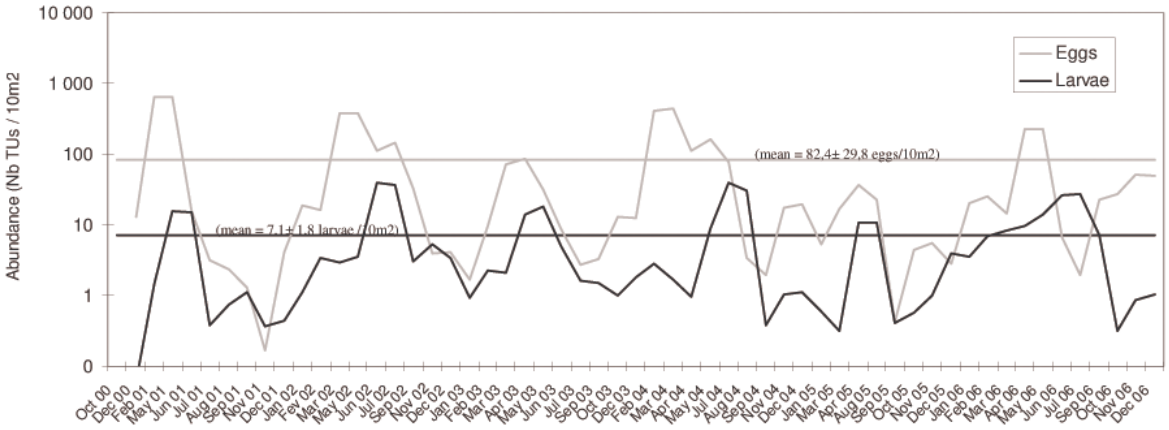


Figure 18: *Exemple de résultat sur l'évolution de l'abondance des œufs et larves de poissons entre 2000 et 2006 (position des prélèvements : 43°37N, 1°43W).*

Dans le cadre du programme ERMMA, la priorité est mise sur le groupe taxonomique des Cladocères. En effet, ce groupe possède des espèces aux préférences thermiques différentes.
Parmi les espèces recensées actuellement deux sont non thermophiles (*Evadne nordmanni et Podon intermedius*) et trois présentent des préférences pour les eaux plus chaudes (*Evadne spinifera, Penilia avirostris et Pseudevadne tergestina*).

Ainsi, l'évolution des espèces constituant ce groupe sera utilisée dans le cadre des objectifs généraux du programme ERMMA comme **indicatrice de changements océanoclimatiques**.
Cette banque de données sur le plancton peut permettre également de détecter la présence d'espèces normalement absentes de la zone comme par exemple une postlarve de Motelle moucheté (*Gaidropsarus viscayensis)* collectée en mars 2004.

Depuis la mise en place du programme ERMMA, 33 prélèvements on été réalisés (*18 août 2004, 14 mars 2005, 22 septembre 2004, 14 avril 2005, 02 novembre 2004, 04 août 2005, 03 décembre 2004, 15 septembre 2005, 08 décembre 2004, 18 octobre 2005, 12 janvier 2005, 21 novembre 2005, 16 décembre 2005, 13 janvier 2006, 24 février 2006, 20 mars 2006, 28 avril 2006, 15 mai 2006, 27 juin 2006, 25 juillet 2006, 29 septembre 2006, 17 octobre 2006, 20 novembre 2006, 18 décembre 2006, 30*

janvier 2007, 03 avril 2007, 10 mai 2007, 22 juin 2007, 09 juillet 2007, 06 septembre 2007, 29 octobre 2007, 23 novembre 2007, 12 décembre 2007). Ces prélèvements sont intégrés à la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains.

5 - LE BENTHOS ANIMAL ET VEGETAL

Les biocénoses benthiques constitues l'ensemble des organismes vivant sur ou à proximité du fond : anémones, étoiles de mer, crustacés, coquillages etc.
L'ERMMA propose de réaliser un suivi faunistique et floristique saisonnier des milieux littoraux (faciès rocheux et sableux), sur l'estran et dans la frange infra littorale (limite de basse mer) et jusqu'à 15 mètres de profondeur.

Le programme dressera de manière régulière les inventaires faunistiques et floristiques de stations représentatives des estrans aquitains et de l'espace maritime proche afin de permettre une approche de l'évolution qualitative et quantitative des peuplements.

Ces peuplements sont a priori un bon indicateur de l'atteinte des milieux marins en cas de pollutions ou plus immédiatement des rejets en mer de stations d'épuration et d'aménagements du littoral.
Ces données devront être incluses dans la vision globale des milieux benthiques.
Depuis 7 ans sous l'impulsion du Musée de la Mer de Biarritz et de la mairie de Guéthary (département 64), un programme de suivi du cantonnement de pêche de Guéthary est conduit par des étudiants stagiaires. Depuis 5 ans, la méthode d'observation a été standardisée pour assurer une comparaison correcte des résultats. Ce cantonnement de pêche préserve les biocénoses sur l'estran rocheux de la commune. La biodiversité de ce site est remarquable. Afin d'étudier sa dynamique, La macrofaune benthique (animaux inféodés au fond de la mer) fait l'objet d'un suivi scientifique standardisé.

Le cantonnement de pêche interdit toutes pratiques de pêches (cueillette ou chasse sous-marine) et toutes perturbations des écosystèmes (déplacement de blocs) ce qui préserve les biocénoses de l'estran rocheux de la commune. La biodiversité de ce site est remarquable avec près de 70 espèces benthiques dénombrées et la zone est par ailleurs classée en Zone Nationale d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Afin d'étudier sa dynamique, La macrofaune benthique fait l'objet d'un suivi scientifique annuel standardisé.

La méthode d'échantillonnage des quadrats permet un recensement fiable et est facilement utilisable. Des quadrats de 4 m sur 4m sont réalisés, un GPS est utilisé pour localiser les stations, les espèces observées sont identifiées et dénombrées. Vingt stations sont échantillonnées dans la zone de Guéthary (Pyrénées Atlantiques) et ses alentours (Figure 19) les milieux immergés sont échantillonnés par plongées .

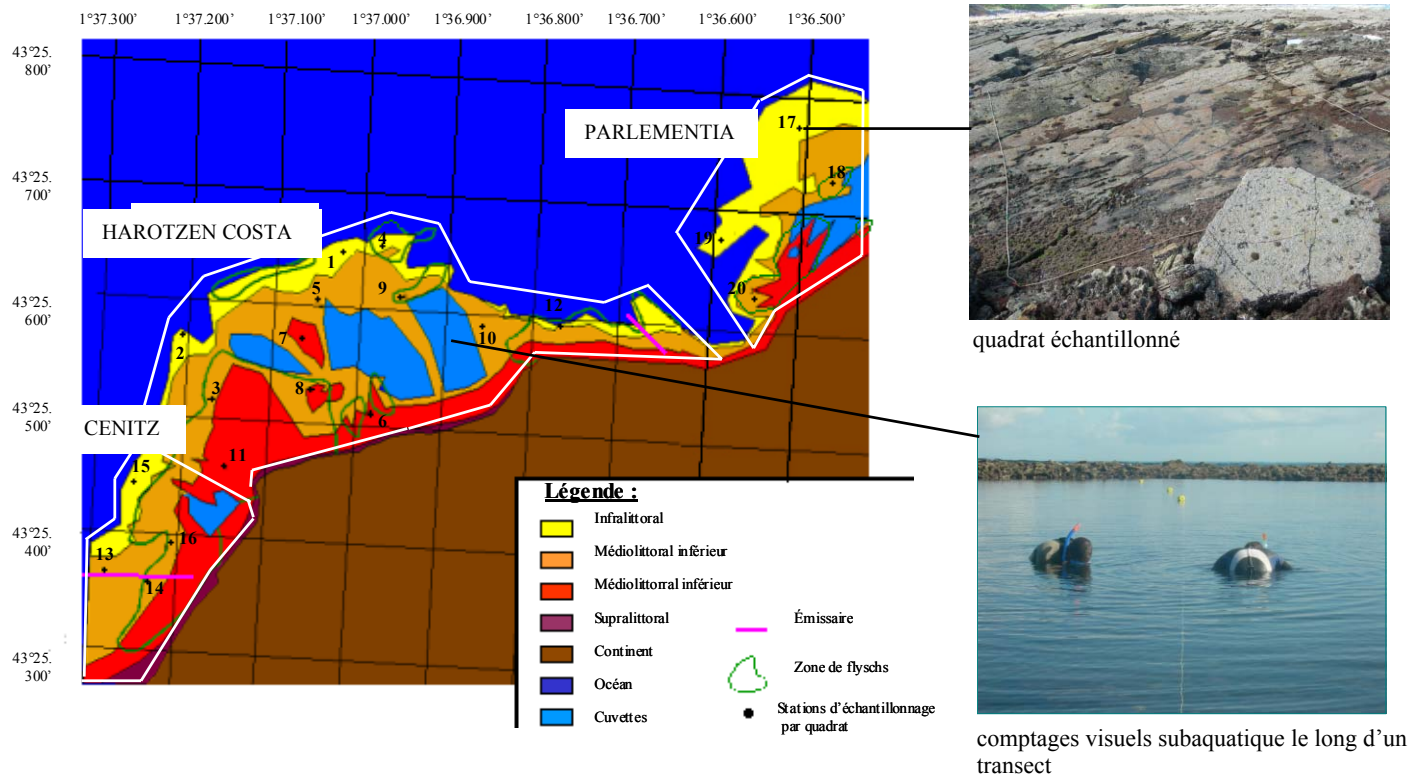


Figure 19 : *Exemple d'une station de référence(20 points de mesure) pour le suivi temporel des biocénoses benthiques sur l'estran et dans la frange infra littorale (limite de basse mer) : commune de Guéthary (Côte Basque). Les quadrats d'inventaire sont placés dans les différents milieux, les cuvettes sont échantillonnées en plongée le long de transects linéaires.*

Le traitement des données s'effectue à l'aide d'analyses univariées (indices de diversité, Figure 20) et multivariées (analyse factorielle des correspondances).

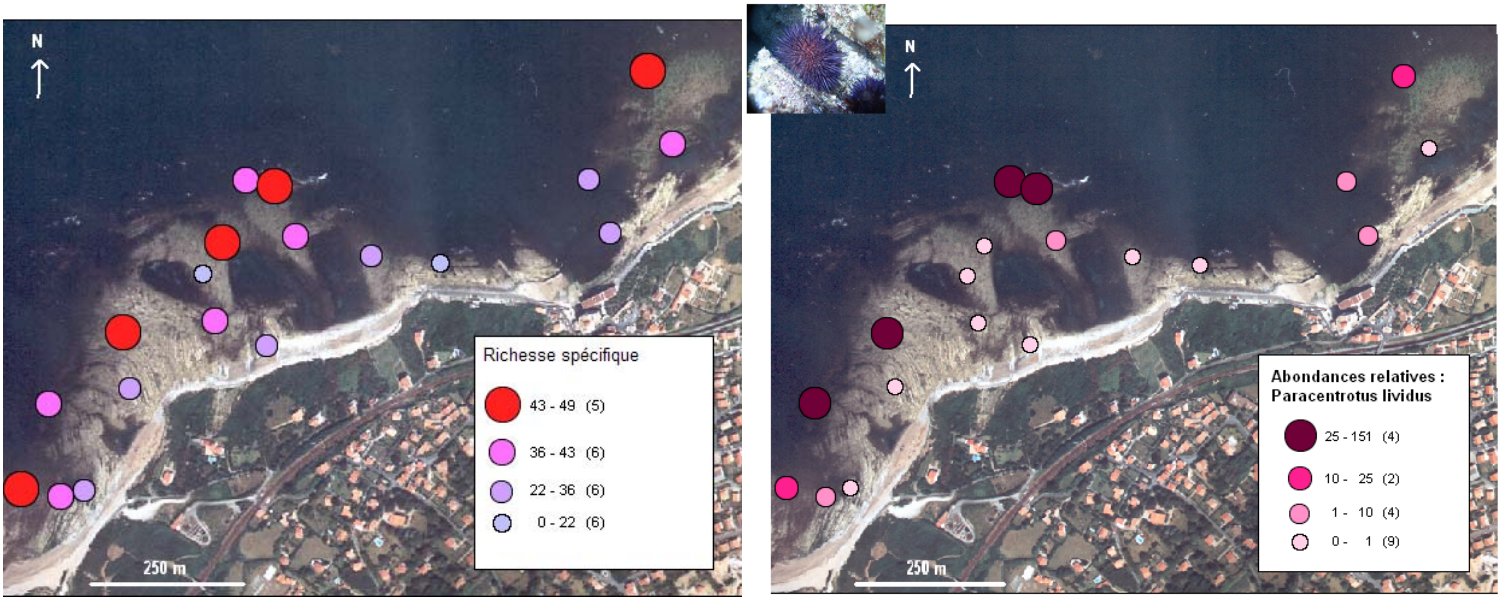


Figure 20 : *Exemple de résultats : à gauche : répartition de la richesse spécifique (nombre d'espèces par station) sur le secteur de Guéthary .A droite : exemple de résultat de la répartition de l'abondance d'une espèce : l'Oursin Paracentrotus lividus. .*

Ces suivis ont établi l'étagement des espèces sur l'estran rocheux en fonction du temps d'immersion et du substrat. Les étages présentant la richesse en espèce la plus forte étant l'infralittoral et le médiolittoral inférieur avec des espèces particulièrement abondantes et caractéristiques comme par exemple les moules (*Mytilus edulis*), les gibbules (*Gibbula sp*.), les patelles (*Patella sp*.), les Actinies communes (*Actinia equina*), les Crabes communs (*Pachygrapsus marmoratus*), les Porcellanes poilues (*Porcellana platycheles)* et les oursins (*Paracentrotus lividus*).

Ce suivi a également permis de mesurer les effets du cantonnement de pêche. La zone de cantonnement semble présenter un effet bénéfique sur la faune y vivant. La dissemblance entre les secteurs protégés et non-protégés (pouvant aller d'un facteur d'abondance de 2 à 10 en fonction des espèces) fluctue selon le degré d'exposition à la pression anthropique. Ainsi les variations, entre les deux zones, au niveau de l'étage infralittoral sont moins marquées qu'au niveau de l'étage médiolittoral inférieur et supérieur. Les oursins (*Paracentrotus lividus*), espèce caractéristique de l'étage infralittoral, sont également moins abondants en dehors du cantonnement, cela pourrait être expliqué par une pêche importante de l'espèce en dehors du site protégé.

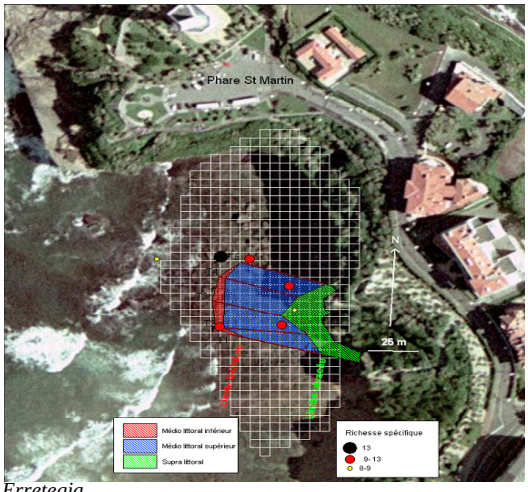
Ces données recueillies sont intégrées dans la métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains et cartographiées sous Système d'Informations Géographiques (MapInfo) (Figure 20).

Par ailleurs, le Musée de la Mer organise chaque année depuis 1999 des captures à la senne à proximité de Socoa (baie de St Jean de Luz) et selon une technique standardisée depuis 2001. Cette source de données chronologiques constitue un élément important pour la connaissance des changements temporels du benthos et des espèces démersales (en général de poissons vivant en pleine eau mais qui sont liées au fond de la mer).
Ces données de captures par sennes sont également intégrées à la métabase de données pluridisciplinaire sur les milieux marins aquitains.
Ces données seront analysées puis corrélées au sein de la métabase avec d'autres informations (plancton, prédateurs supérieurs, données océano-climatiques…).

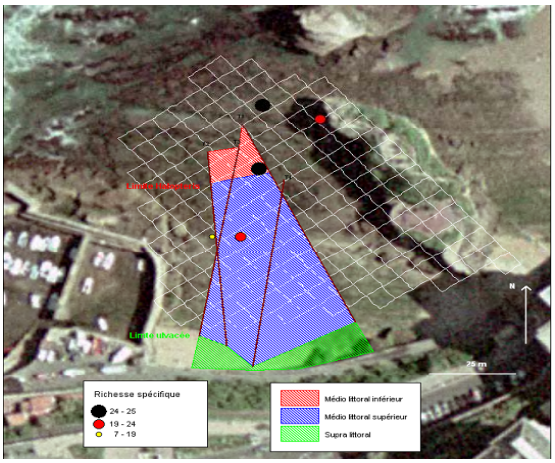
D'autres sites on été également prospectés et inventoriés en 2006 sur le substrat rocheux assez méconnu de la Côte Basque entre le nord de Guéthary et l'Adour. Trois sites d'importance on été retenus dans ce secteur (pointe St Martin, platier rocheux du Basta à Biarritz et platier rocheux d'Erretegia à Bidart) et un plus au sud (les Viviers Basques d'Urrugne) (Figure 21).

Sur chacun de ces sites, un inventaire des espèces benthiques a été réalisé ainsi qu'une estimation de la couverture algale estivale et une estimation de l'étagement végétal (Figure 21). Des essais méthodologiques concernant une estimation quantitative des différentes espèces présentes ont été effectués. Ces investigations sont utiles en terme de connaissance mais également de mesure de l'atteinte des milieux marins (émissaires de stations d'épuration, aménagements du littoral…).

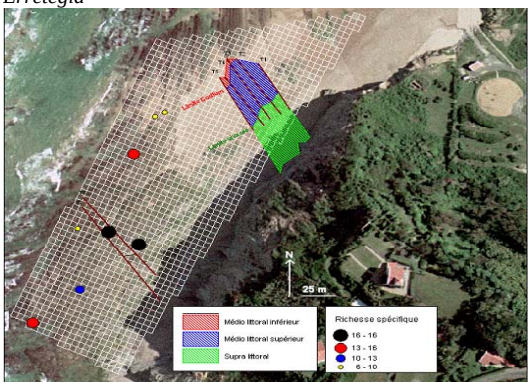
pointe St Martin



platier du Basta



Erretegia



Viviers Basques

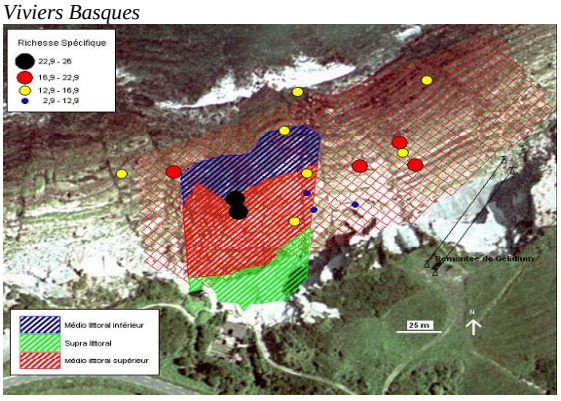


Figure 21 : *Etagement végétal et richesse spécifique sur les sites inventoriés en 2006 entre le fleuve Adour et Urrugne (pointe St Martin, platier rocheux du Basta à Biarritz, platier rocheux d'Erretegia à Bidart et Viviers Basques d'Urrugne).*

l'ERMMA étend ce type d'action à d'autres communes en particulier des Landes afin d'avoir un suivi de la faune benthique étendu à différents milieux littoraux et sites naturels de l'Aquitaine (sableux, rocheux…). **En 2007, le courant d'Huchet** a été investigué afin de voir l'opportunité d'y installer des stations de suivi benthique pertinentes. Le courant d'Huchet est un fleuve Landais reliant le lac de Léon à l'océan Atlantique. Un tiers du lac ainsi que le courant sont en Réserve Naturelle Nationale depuis 1981. L'estuaire de ce courant est une zone atypique, d'arrière dune, aux potentialités écologiques non négligeables. Il s'agissait de mettre en évidence les richesses d'une telle zone et d'en caractériser l'évolution.

Il n'y avait auparavant aucune donnée sur les peuplements benthiques du courant d'Huchet.
Il s'agissait donc d'établir une méthode adaptée et standardisée, reproductible à long terme pour pouvoir interpréter l'évolution spatio-temporelle du benthos sur le courant et l'influence des facteurs écologiques sur sa structure. Le protocole d'étude a été établi en s'appuyant sur les techniques, déjà

testées et utilisées par les structures qui étudient les populations benthiques d'estuaires et de milieux marins. Les méthodes ont été choisies après une reconnaissance de terrain de la zone.

Figure 22 : *Inventaire benthique du courant d'Huchet (Département des Landes ; Réserve Naturelle Nationale) pour le suivi temporel des biocénoses benthiques. Inventaire de la faune benthique par carottage manuel (1/500 m^3) le long de transects linéaires (5 transects ; 15 points de mesure).*

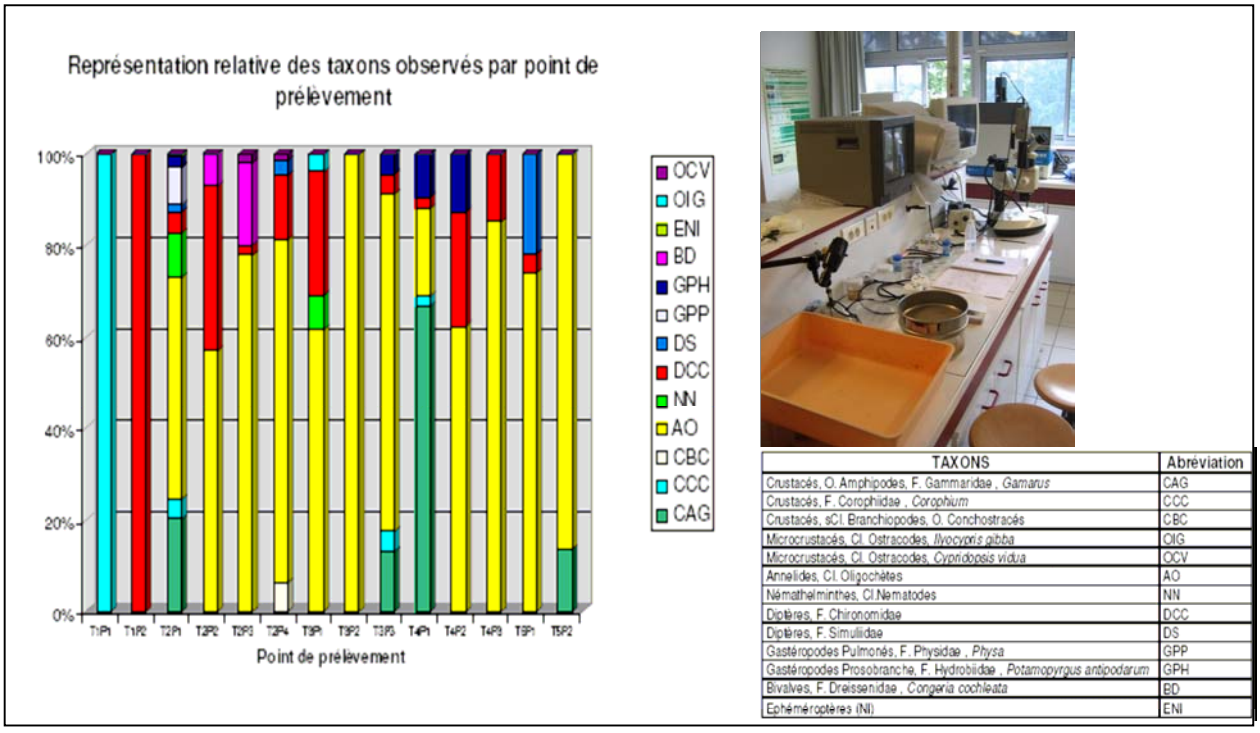
Le suivi technique a été réalisé en collaboration avec les gestionnaires de la Réserve Naturelle soucieux de gérer au mieux cet espace naturel.
Pour chaque campagne, deux types de prélèvements ont été effectués pour diversifier au maximum les résultats : quantitatifs et qualitatifs, selon deux techniques différentes. Le carottage par transect a été retenu pour l'échantillonnage quantitatif. En complément de ces prélèvements, un échantillonnage qualitatif par dragage manuel a également été qualitatif (résultats non présentés ici).
Les prélèvements ont été effectués par carottage du substrat à intervalles réguliers selon la méthode des transects reliant une berge à l'autre perpendiculairement au courant.

L'échantillonnage est effectué à l'aide d'un carottier manuel calibré, en plexiglas, de surface S=201 cm^2, soit 1/50 m^2 et de volume V= 2161 cm^3, soit 1/500 m^3, utilisable sur substrats meubles, pour chaque prélèvement. Une corde graduée délimitant le transect sert à la localisation des stations de prélèvement (Figure 22). La carotte est réalisée par zone de prélèvement sur une profondeur de 12cm à 30cm afin de retirer la majorité de la macrofaune qui fouille en profondeur.

Le substrat prélevé est alors trié à l'aide de différents tamis emboîtés les uns dans les autres, avec dans la partie inférieure, la maille la plus fine soit 3.15mm>1mm>200µm pour être le plus exhaustif possible. Il est ainsi possible de récolter la macrofaune et meiofaune benthique. Le tamis de 200µm correspond à la maille pour l'étude de la population d'ostracodes. Le refus des tamis de chaque prélèvement est placé dans un pot marqué.

La nature de l'environnement physique (profondeur, faciès biosédimentaire), végétation aquatique, milieux environnant), les conditions physico-chimique (température, salinité, pH, O_2 dissout), hydrographiques (vitesse du courant) et météorologiques prédominantes ont été également relevés.

Le choix définitif de la combinaison de transects (15 points de prélèvement en 5 transects, figure 22), est appuyé par l'analyse de la « puissance statistique » du plan d'échantillonnage.
Il s'agit de suivre une tendance temporelle (*trend analysis*) d'évolution de l'effectif d'une population donnée (ici la faune benthique) en se basant sur l'analyse de la « puissance statistique » (« *statistical power* », « *power analysis* »). La « puissance » d'un plan d'échantillonnage se définit comme la probabilité de détecter une évolution numérique systématique (tendance) dans la population suivie ; c'est-à-dire, bien choisir tous les paramètres du plan pour ne pas prendre le risque de ne pas détecter une évolution réelle de la population. Le logiciel MONITOR© a été utilisé dans cet objectif. Les suivis mis en place dans le cadre du programme ERMMA bénéficient systématiquement de l'analyse de la puissance statistique du plan d'échantillonnage.



TAXONS	Abréviation
Crustacés, O. Amphipodes, F. Gammaridae , *Gamarus*	CAG
Crustacés, F. Corophiidae , *Corophium*	CCC
Crustacés, sCl. Branchiopodes, O. Conchostracés	CBC
Microcrustacés, Cl. Ostracodes, *Ilyocypris gibba*	OIG
Microcrustacés, Cl. Ostracodes, *Cyprideopsis vidua*	OCV
Annélides, Cl. Oligochètes	AO
Némathelminthes, Cl.Nematodes	NN
Diptères, F. Chironomidae	DCC
Diptères, F. Simulidae	DS
Gastéropodes Pulmonés, F. Physidae , *Physa*	GPP
Gastéropodes Prosobranche, F. Hydrobiidae , *Potamopyrgus antipodarum*	GPH
Bivalves, F. Dreissenidae , *Congeria cochleata*	BD
Ephéméroptères (NI)	ENI

Figure 23 : *Exemple de résultat de l'inventaire benthique du courant d'Huchet : abondance relative des différents taxons dénombrés en laboratoire par station de carottage des différents transects. Le cortège faunistique est dominé par les Chironomidae (Diptères) et les Oligochètes (Annélides).*

Les résultats ont soulevé le fait que cette zone d'embouchure ne présente pas les caractères d'un écosystème marin ni même saumâtre, l'influence des marées y étant trop faible pour apporter une salinité mesurable. Les peuplements benthiques sont donc d'eaux douces. Le substrat étant sablo-vaseux la diversité y est assez faible. Le cortège faunistique est dominé par deux taxons peu exigeants, les Chironomidae (Diptères) et les Oligochètes (Annélides) (Figure 23).

Les écosystèmes marins étant l'objet du programme ERMMA et ce site étant aujourd'hui un estuaire limnique présentant une faune d'eaux douces, d'autre sites de suivi présentant des peuplements benthiques marins en milieux sableux vont être mis en place dès 2008. Le lac d'Hossegor est ainsi pressenti pour devenir un site de suivi benthique.

Cette étude de l'estuaire du Courant d'Huchet a néanmoins permis d'établir un état initial du peuplement benthique de cette zone.

Fort de son expérience, l'ERMMA va étendre ce type d'action à d'autres communes en particulier des Landes et Gironde afin d'avoir un suivi de la faune benthique étendu à différents milieux littoraux et sites naturels de l'Aquitaine (sableux, rocheux…).

C/ LE S.I.G. BIOLOGIQUE MARIN AQUITAIN

Le SIG marin Aquitain est actuellement en plein développement mais compte dès à présent un grand nombre de couches relatives à des variables biologiques géoréférencées. Ce SIG est géré sous MapInfo et comprend :

• Les informations et le suivi géoréférencés (échelle ponctuelle, GPS) sur la répartition spatio-temporelle des ***Oiseaux marins (et terrestres) en mer*** (**50 espèces** principales ; cf. paragraphe oiseaux marins).

• Les informations et le suivi géoréférencés (échelle ponctuelle, GPS) sur la répartition spatio-temporelle des ***Cétacés en mer*** (**4 espèces** principales ; cf. paragraphe cétacés).

• Le suivi écologique géoréférencé (échelle ponctuelle, GPS) sur le ***Benthos marin*** dans le secteur de référence de Guéthary (**70 espèces** ; cf. paragraphe Benthos animal et végétal).

• L'inventaire écologique géoréférencé (échelle ponctuelle, GPS) sur le ***Benthos marin*** dans la réserve Naturelle du courant d'Huchet (cf. paragraphe Benthos animal et végétal).

• Le suivi géoréférencé (échelle ponctuelle, GPS) sur la ***répartition spatio-temporelle des Goélands leucophées*** sur la côte basque (cf. paragraphe Invasion biologique des goélands).

• Des variables du ***milieu physique***, bathymétrie (EPSHOM, cf. paragraphe cétacés), trait de côte, définition préliminaire des différents substrats et milieux (sableux, rocheux…)…

• L'inventaire des programmes de ***suivis*** utilisés pour évaluer la qualité de l'environnement marin en région Aquitaine (Annexe I a).

D'autres données biologiques sont actuellement en cours d'intégration: Stocks des ***poissons*** pêchés, relevés géoréférencés (à l'échelle du littoral de la commune) des ***échouages de cétacés***, suivi ***plancton***…

La gestion automatisée de ce SIG intimement liée à la métabase de données (cf. paragraphe su la Métabase de données sur les milieux marins aquitains). Ce SIG est en plein développement et régulièrement mis à jour au fur et à mesure de l'actualisation des données de terrain. Cet outil est également réalisé dans un souci de facilité d'utilisation et de compatibilité avec d'autres domaines actuellement en développement (données géologique du BRGM…).

II – EXEMPLES DE CROISSEMENTS DE DONNEES AU SEIN DE LA METABASE PLURIDISCIPLINAIRE ET DE TRAVAUX EN COURS

L'approche proposée par l'ERMMA consiste à avoir une vision plus globale des écosystèmes marins et ainsi de mieux comprendre leurs fonctionnements et leurs dérèglements.
Ainsi la réponse à certaines questions ne peut être apportée que par le croisement de données de différentes origines.
Dans le cadre de l'ERMMA, des études suivant cette approche pluridisciplinaire ont été réalisées. Ce type de travaux nécessitant en préalable la mise en place de la métabase de données sur les milieux marins aquitains se développera encore au cours des prochains mois.

A/ IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES POPULATIONS

La mise en évidence et l'évaluation de l'impact des changements océano climatiques sur les écosystèmes marins aquitains constitue un enjeu majeur pour pouvoir comprendre et prévoir l'évolution des ces milieux.

Aussi, le programme ERMMA a mis en place des méthodologies et des travaux visant à quantifier ces changements.

Les résultats de ces travaux ont été validés et publiés dans la revue de référence internationale sur le sujet : « GLOBAL CHANGE BIOLOGY ». L'article intitulé « Detecting the impact of oceano-climatic changes on marine ecosystems using a multivariate index : the case of the Bay of Biscay (North Atlantic-European Ocean) » a paru dans l'édition 2007 de la revue (Annexe VI b).

L'approche globale consiste à prendre en compte les caractéristiques physiques de l'atmosphère (température, pression,) et de l'océan (agitation de la mer, …) ainsi que leurs interactions qui déterminent la production planctonique et donc le développement des chaînes alimentaires marines.

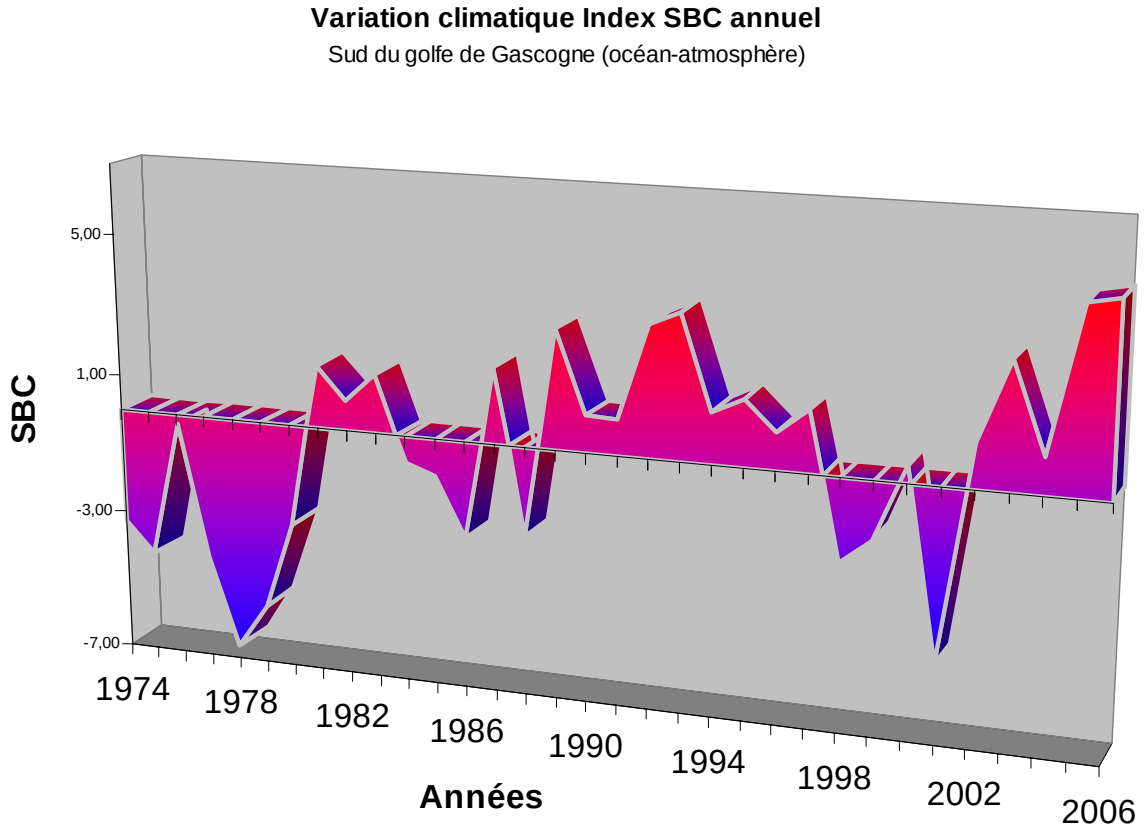


Figure 24 : *Evolution de l'index océano-climatique SBC. Les valeurs négatives correspondent aux années où précipitations importantes et mer forte ont prédominé particulièrement en hiver. Les valeurs positives indiquent la prédominance au cours de l'année d'une pression supérieure à la normale, d'une température atmosphérique élevée, d'une forte insolation et d'une mer calme (anticyclone).*

Tous ces paramètres (44 variables océanoclimatiques) ont été synthétisés par une méthode statistique (« l'analyse en composantes principales ») afin de résumer l'information en une variable globale appelée ici l'index SBC (South Biscaye Climate index) (Figure 24).

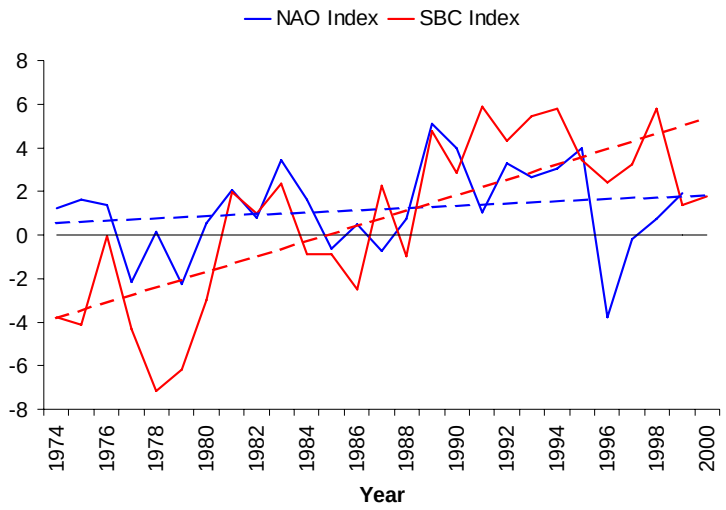


Figure 25 : *Comparaison entre l'index NAO (North Atlantic Oscillation) et l'index océano-climatique mis en place par l' ERMMA (SBC : South Bay of Biscay). Bien que les deux index climatiques suivent la même évolution, l'index SBC détecte mieux les changements à échelle régionale.*

L'index climatique mis en place dans le cadre de l'ERMMA permet de détecter les changements océano-climatiques régionaux avec plus d'acuité que les index univariés classiques souvent utilisés à grande échelle comme par exemple le NAO *(North Atlantic Oscillation)* mesurant la différence de pression atmosphérique entre l'Islande et les Azores (Figure 25).

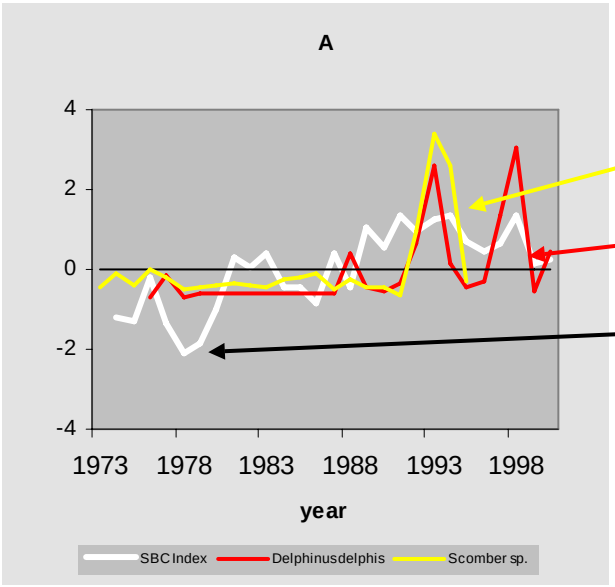
De 1974 à 1995 environ, on assiste à une forte croissance significative de l'index SBC (Figure 24) ce qui traduit des situations de type anticyclonique. Donc, cet index multivarié des conditions océaniques et atmosphériques prouve, sinon une tendance au « réchauffement général » des milieux, mais une prépondérance des situations anticycloniques durant ces dernières décennies. Entre 1995 et 2002 la situation s'inverse pour amorcer un retour vers des situations à caractères dépressionnaires plus marqués pour repartir vers des conditions anticycloniques ces dernières années.

En parallèle, l'évolution temporelle de populations de vertébrés marins à l'échelle du sud du Golfe de Gascogne durant les 27 dernières années issue de différentes sources de la métabase de données est comparée. Ces populations montrent des augmentations, diminutions et disparitions d'oiseaux et de mammifères marins, ainsi que de poissons proies tels que les merlus et maquereaux (Figure 26).

De fortes corrélations s'observent entre l'évolution des populations animales et celle de l'index climatique SBC. Ainsi les espèces préférant les eaux tempérées froides (province biogéographique boréale) telles que l'océanite tempête et le pingouin torda se reproduisant essentiellement dans le nord de l'Europe, le merlu, les tacauds, le lieu jaune et la crevette grise tendent à se raréfier. Certaines espèces de ces eaux tempérées froides telles que le macareux moine ou l'orque épaulard, subissent même des disparitions temporaires dans le sud du Golfe de Gascogne.

En revanche, les espèces liées aux eaux tempérées chaudes (province biogéographique méridionale) comme le dauphin commun et le maquereau, essentiellement l'espèce espagnole pour le sud du Golfe

de Gascogne, affichent une tendance à la croissance de leurs populations durant la période 1977-1997, avec toutefois une inversion d'évolution durant les années récentes.



*Exemples d'évolutions de l'abondance d'**espèces** liées aux **eaux tempérées chaudes***

***Maquereaux** (données des pêches, IMA)*

***Dauphin commun** (suivi en mer, MNHN)*

***Index climatique SBC** (METEOFRANCE, MNHN)*

*Exemples d'évolutions de l'abondance d'**espèces** liées aux **eaux tempérées froides***

***Merlu** (données des pêches, IMA)*

***Océanite tempête** (suivi des colonies, MNHN)*

***Crevette grise** (données des pêches, IMA)*

***Index climatique SBC** (METEOFRANCE, MNHN)*

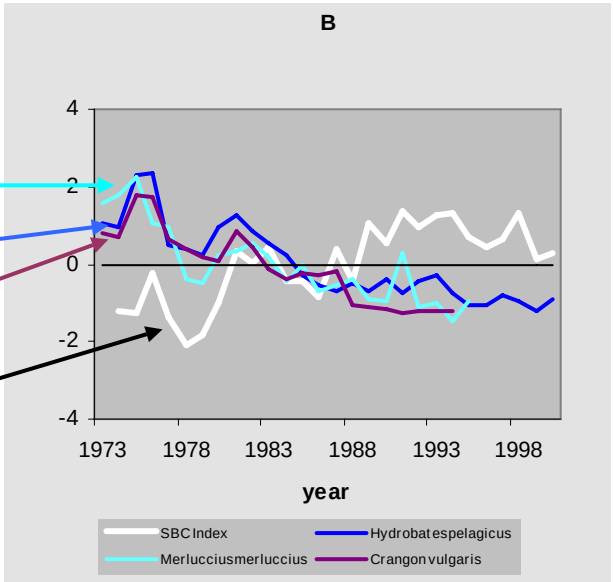


***Figure 26:** Evolution de l'abondance de crustacés, de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins en fonction des conditions physiques océaniques et climatiques dans le sud Gascogne de 1974 à 2000 représentées par l'« Index SBC » figuré en blanc.*
En haut : exemples d'évolution de l'abondance d'espèces liées aux eaux tempérées chaudes (Dauphin commun, Maquereaux).
En bas : exemples d'évolution de l'abondance d'espèces liées aux eaux tempérées froides (Océanite, Merlu, Crevette grise).

Les espèces sans préférence thermique marquée montrent une tendance variable : stabilité pour le globicéphale et l'anchois, diminution chez les mulets et la sardine ou augmentation dans le cas du guillemot. En considérant l'ensemble des espèces étudiées, ces évolutions sont liées, pour moitié environ, aux variations naturelles des milieux atmosphériques et océaniques mesurées par l'index SBC.

Les phénomènes de pollutions chimiques et de surpêche des stocks halieutiques exploités commercialement dont se nourrissent les populations animales, ne constituent donc pas la seule cause et pas forcément la principale, des évolutions observées.
L'objectif du programme ERMMA est d'étendre encore cette démarche et de prendre en compte différents maillons des chaînes alimentaires.
Globalement , parmi les mécanismes de modification des milieux marins, la séparation des causes naturelles (variations climatiques dans le contexte du « changement global ») de celles dues aux activités anthropiques (pollutions, pêches, aménagements littoraux, gestion de l'exploitation des eaux côtières …) constitue un objectif majeur de recherche.

B/ CROISEMENTS DONNEES CETACES

Le suivi des échouages apporte bon nombre d'informations (évolution mensuelle par espèce, répartition géographique des échouages, espèces rares ou occasionnelles) mais ne permet pas seul d'expliquer les causes de ces échouages. Il est par exemple difficile de mettre en évidence des traces de capture sur des animaux en état de décomposition avancée ou de déterminer la cause de la mort.
Il devient dès lors difficile de savoir si une augmentation des échouages correspond à un accroissement de la mortalité (impact des filets maillant, maladies…) ou simplement à une augmentation de l'abondance en mer avec une mortalité identique.

Le développement de la métabase de données sur les milieux biologiques marins aquitains permet aujourd'hui d'initier une étude visant à mieux comprendre les facteurs agissants sur les populations de cétacés en Aquitaine.

Figure 27 : *proportion des principales espèces de cétacés observées en Aquitaine dans le cadre du suivi de l'abondance en mer (suivi MNHN) et des échouages (suivi RNE).*

La comparaison entre les données d'observation en mer obtenues sur les vedettes des Gardes Côtes par le MNHN et les relevés des échouages effectués par le RNE (cf paragraphe sur les cétacés) montre une bonne concordance dans les proportions des principales espèces observées (*Dauphin commun, Globicéphale noir* et le *Grand dauphin*) (Figure 27).

Les données de l'activité des pêches professionnelles et en particulier des pêches pouvant générer de la capture accidentelle de cétacés (filets) ont été également prises en compte.

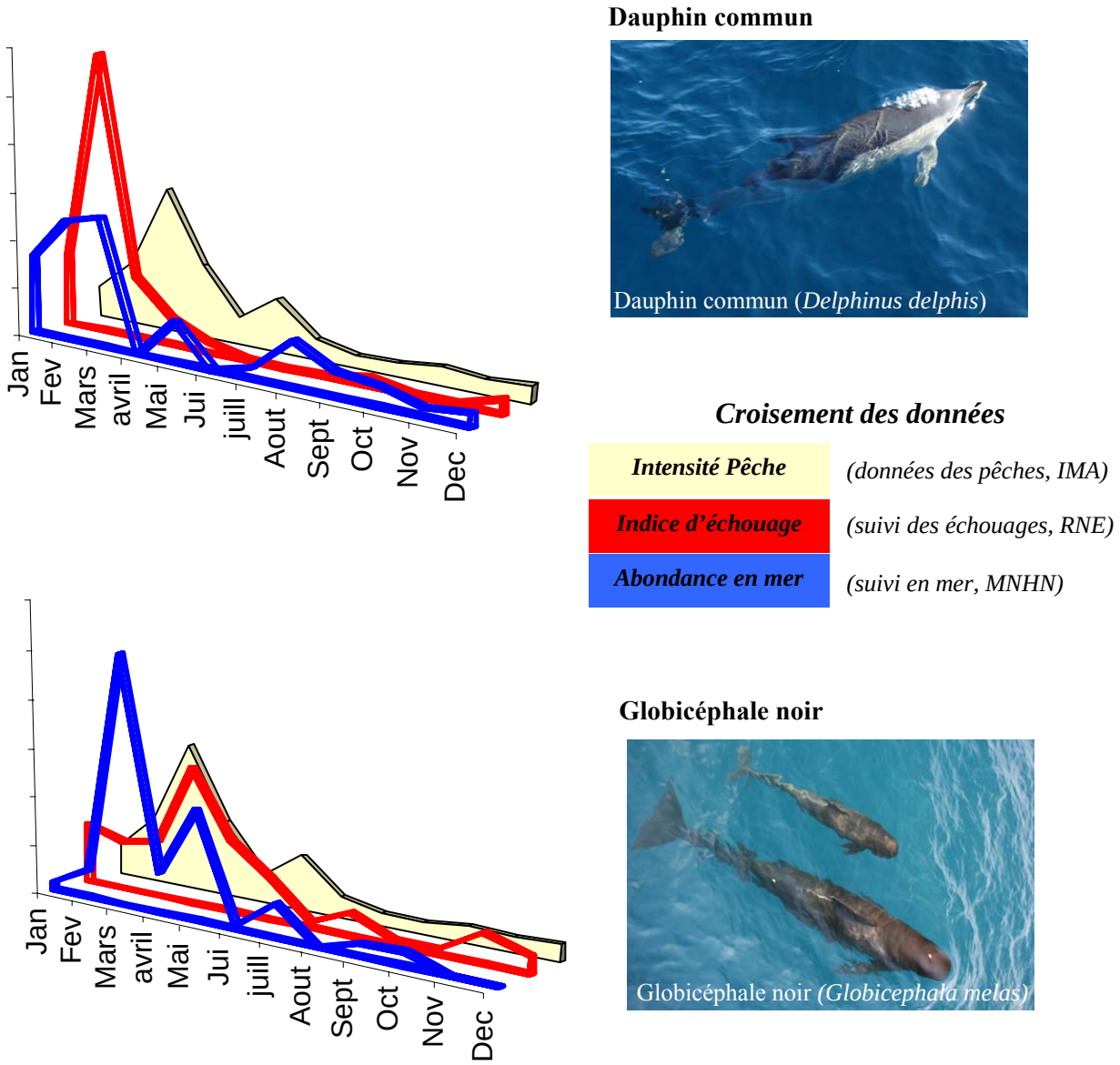


Figure 28 : *Exemple de croisement de données au sein de la metabase et premiers traitements : croisement entre les données d' abondance en mer (suivi MNHN) et échouages (suivi RNE) du Dauphin commun (*Delphinus delphis*) et Globicéphale noir (*Globicephala melas*) en Aquitaine. L'intensité de l'activité de pêche pouvant générer des captures accidentelles (filets) est également figurée.*

Au cours des mois l'activité maximale des pêcheurs fileyeurs se situe en fin d'hivers début printemps (Figure 28). Cette période correspond également au maximum d'abondance des principales espèces mesurée en mer. L'étude en cours permettra de mettre en évidence les corrélations entre ces différentes variables et donc de décrire les facteurs expliquant les échouages pour les principales espèces en Aquitaine (Dauphin commun, Globicéphale noir et Grand dauphin).

Sur le long terme une augmentation de l'abondance des Dauphins communs et des Globicéphales est mesurée aussi bien dans les échouages que dans les données d'observations en mer (Figure 29). Ces deux sources de données d'origines différentes sont corrélées entre elles ce qui montre que l'augmentation des échouages pour ces espèces semble s'expliquer par une augmentation de l'abondance en mer.

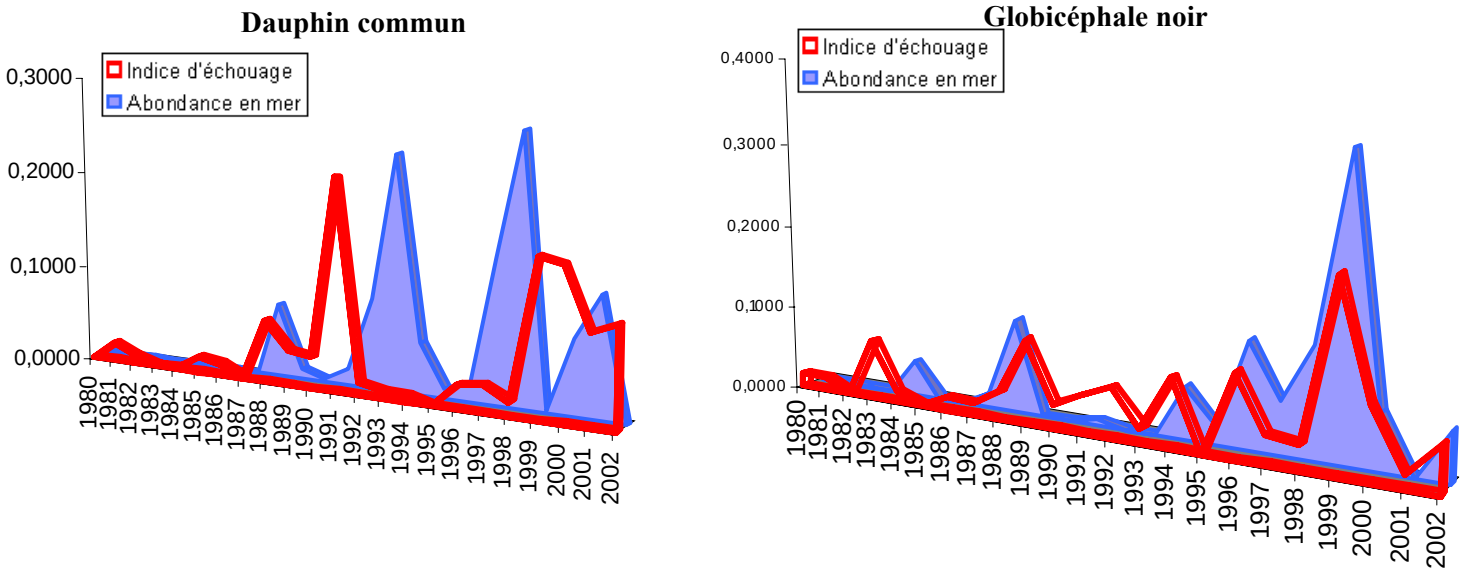


Figure 29 : *Exemple de croisement entre les données d' abondance en mer (suivi MNHN) et échouages (suivi RNE) du Dauphin commun (*Delphinus delphis*) et Globicéphale noir (*Globicephala melas*) en Aquitaine de 1980 à 2002. Ces données d'abondance en mer et d'échouages sont significativement corrélées entre elles (p<0,05).*

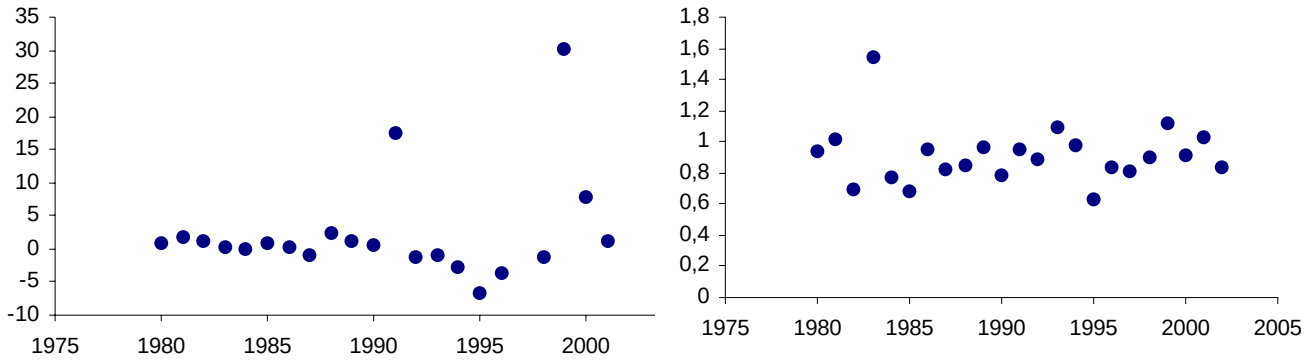


Figure 30 : *Croisement entre les données : évolution du rapport entre l'indice d'abondance en mer (suivi MNHN) et d'échouages (suivi RNE) en Aquitaine de 1980 à 2002 (Dauphin commun (à gauche), Globicéphale noir (à droite)).*

De plus, le rapport entre les échouages et les observations (Figure 30) n'évolue pas significativement au cours du temps ce qui semble indiquer une relative stabilité générale (mises à part certaines rares années) dans la mortalité de ces cétacés.

Les premiers croisements de données sont très prometteurs et en plein développement. Ces données et leurs compléments seront proposés et soumis pour validation scientifique et publication dans une revue scientifique de référence internationale en **2008**.

Ces mises en commun de données en cours (abondance en mer, suivi des échouages, conditions météorologiques et océano-climatiques…) sont indispensables pour pouvoir répondre aux questions des causes de l'évolution de ces populations.

C/ INVASION BIOLOGIQUE DES GOELANDS

Depuis plusieurs années en France, du fait de l'augmentation des effectifs et de modifications comportementales notables, les populations de goélands argentés *Larus argentatus*, goélands leucophées *L. michahellis*, goélands bruns *L. fuscus* et les goélands marins *L. marinus*, posent un certain nombre de problèmes. Ils engendrent des interactions d'intensité variable avec d'autres espèces animales (mouettes, sternes, flamants roses...) ou végétales (dégradation de la végétation, parfois d'importance patrimoniale, sur les sites de nidification). Leur mode de vie est également en étroite relation avec les activités anthropiques. On constate de plus en plus de nuisances causées sur des exploitations salicoles (liées aux déjections et à l'accumulation de plumes et déchets ; paludiers de Guérande, salins du Midi...) et de nuisances causées sur certaines exploitations agricoles (goélands venant se nourrir dans les élevages porcins...). De nombreux problèmes se posent sur des élevages de volaille en plein air (prédation sur canards ou poulets d'élevage...), sur les exploitations conchylicoles (dégâts causés sur les bouchots de moules...), sur certains sites industriels (déjection et détérioration liées à la nidification et comportement agressif envers les ouvriers…), ou encore sur certains aéroports.

Le littoral basque, en particulier depuis ces trois dernières années, connaît une très **forte explosion démographique des Goélands leucophées** (*Larus michahellis*) remontant d'Espagne (Figure 31) dans de telles proportions que la perturbation des écosystèmes engendrée devient véritablement préoccupante. Ces goélands créent des nuisances et impacts de plusieurs ordres :
- forte prédation des colonies d'**Océanites** tempêtes (espèce au niveau maximum de protection en Europe).
- aspect **sanitaire** des **eaux de baignades** (bactériologique, virologique, déjections, plumes …)
- nuisances en ville sur les bâtiments (cris, déjections, pelotes de réjections, œufs putréfiés, colmatage des gouttières…).

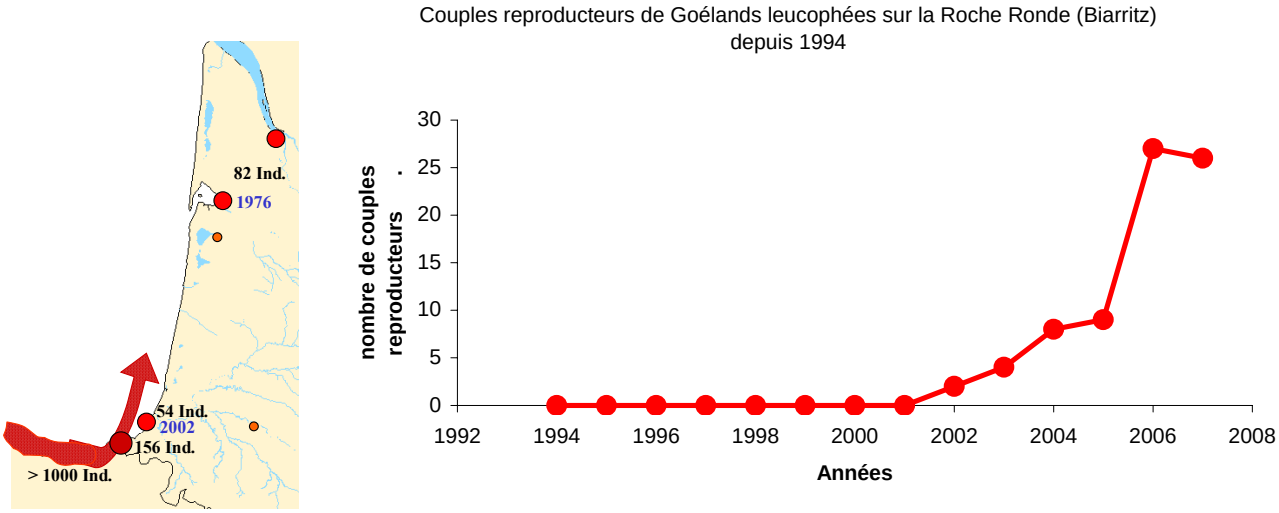
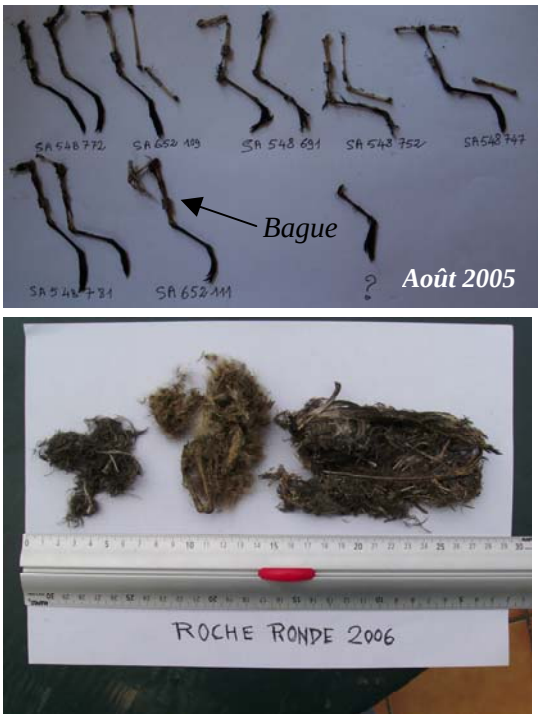


Figure 31 : *Expansion des colonies de reproduction de Goéland leucophée (Larus michahellis) en Aquitaine et évolution du nombre de couples reproducteurs sur la Roche Ronde à Biarritz ces quatorze dernières années.*

Depuis deux ans l'importante prédation des Goélands (*Larus michahellis*) sur les colonies d'Océanite tempête est avérée notamment par la présence dans les pelotes de réjection de restes et de bagues d'Océanites bagués les années précédentes (Figure 32). Des actions de préservations de ces colonies doivent être rapidement entreprises afin de sauvegarder les populations de cet oiseau en danger.

a



b

***Figure 32 : a** : poussin d'Océanite (*Hydrobates p. pelagicus*) bagué en septembre 2003. **b** :nombreux restes d'Océanites tempêtes bagués retrouvés dans les pelotes de réjection des Goélands leucophées (août 2005 et août 2006) .Les pelotes contiennent également en 2006 des restes de poussins de goélands preuve de cannibalisme.*

Face à cette **nouvelle problématique** l'ERMMA dans son rôle de **veille écologique** alerte les autorités concernées et réagit en élaborant un certain nombre d'actions de terrain. Ainsi, depuis 2005 des étudiants stagiaires en Master 1 (Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque) participent à ces travaux. Ces actions ont deux objectifs principaux :

Le premier objectif est d'étudier la répartition spatiale et temporelle des Goélands leucophées sur différents sites de la cote Basque tout au long du cycle annuel (recensement, comportements, cartographie sous Système d'Information Géographique). Cela doit permettre de comprendre les modalités d'exploitation des ressources du milieu par les goélands afin d'appréhender les causes de leur explosion démographique et les moyens de gestion.

Au cours de la période de reproduction, trois sites présentant des abondances régulièrement importantes se dégagent (Figure 33 et 34). deux sites de reproduction sont avérés : les deux Jumeaux (domaine d'Abbadia à Hendaye) et la Roche Ronde (Biarritz). La décharge de Zaluaga (Saint Pée sur Nivelle) est un site principal d'alimentation sur la Côte Basque.

Figure 33: *A gauche : installation d'une colonie de Goéland leucophée (*Larus michahellis*) sur la Roche Ronde à Biarritz autour de la colonie de reproduction d'Océanite tempête (*Hydrobates p. pelagicus*).. A droite : Goélands sur la décharge de Zaluaga (Saint Pée sur Nivelle).*

Ces cartographies réalisées à partir des comptages quotidiens aux différentes heures de la journée montrent l'évolution de la répartition des goélands avec des sites délaissés tôt le matin et le soir comme Zaluaga mais très fréquentés en journée (minimum de 200 individus). Un profil comportemental est décelable avec une quête de nourriture dès 10h à la décharge de Zaluaga et le retour sur les zones de reproduction en fin d'après midi à Biarritz et Hendaye.

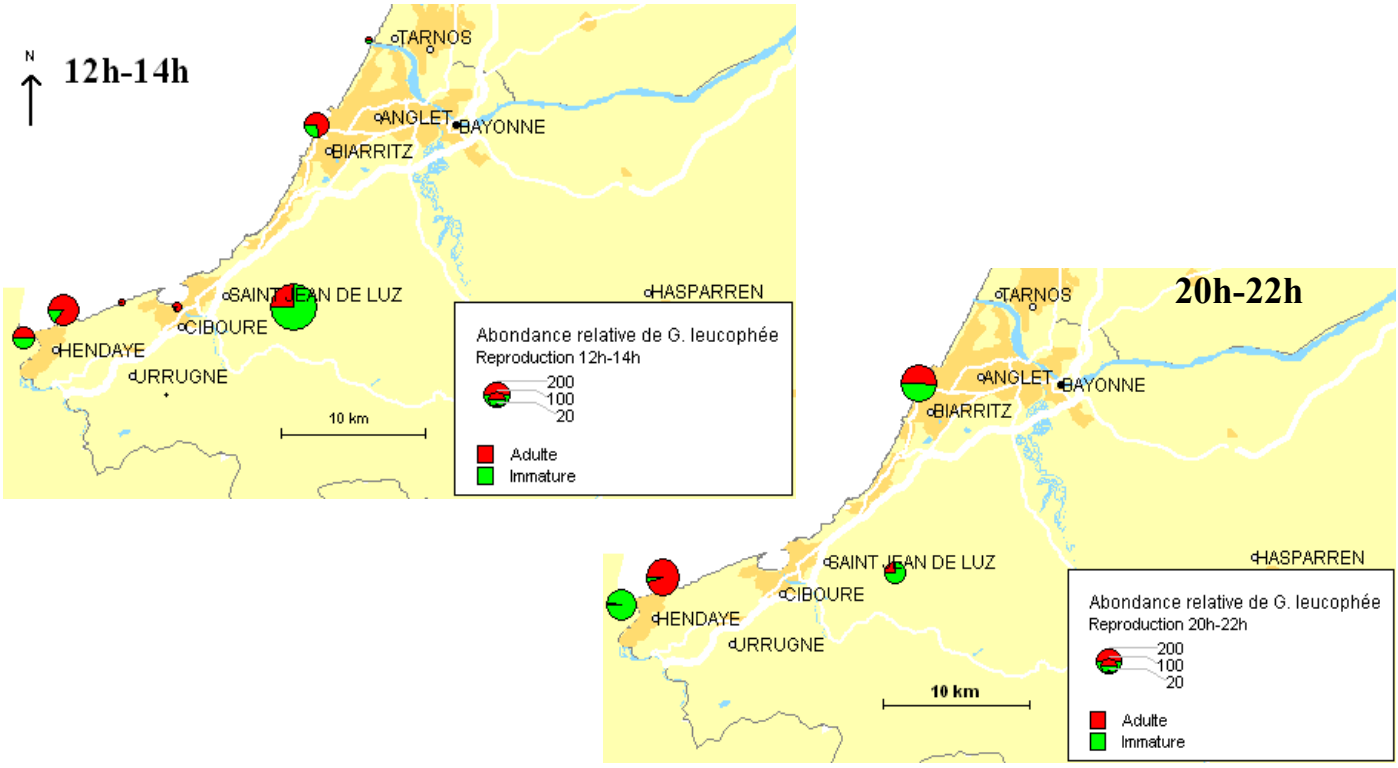


Figure 34*: Extraits de Cartographies SIG du suivi de l'abondance moyenne des Goélands leucophées au cours de la période diurne (6h-22h) durant la période de reproduction 2006 (mars – mai, 123 prospections effectuées). Trois sites majeurs se dégagent : les deux colonies de reproductions de la Côte Basque (Hendaye et Biarritz) et un site d'alimentation majeur (la décharge de Zaluaga (Saint Pée sur Nivelle proche Saint Jean de Luz)).*

Les effectifs d'individus reproducteurs des colonies d'Hendaye et Biarritz ne cessent d'augmenter pour atteindre en 2006, 156 reproducteurs sur les deux jumeaux d'Hendaye et 54 sur la Roche Ronde à Biarritz.

En 2007, les effectifs de reproducteurs sur la Roche Ronde se stabilisent ce qui semble indiquer que la capacité maximale (capacité biotique) du site a été atteinte (Figure 31) et est à mettre en relation avec les premiers cas de cannibalisme observés en 2007 dans les pelotes de réjection des goélands. Or, les effectifs continuant d'augmenter (Figure 38) il est fort probable que les goélands prospectent de nouveaux sites de reproduction à l'intérieur de la ville. Cet aspect semble se vérifier dès 2007 avec des reproductions constatées sur la falaise et sur le toit d'une maison faisant face à la Roche Ronde. Ceci devra être confirmé par les relevés effectués au cours de la saison de reproduction de 2008.

Le deuxième objectif est de mettre en place et de mesurer l'efficacité de méthodes de conservation des colonies d'Océanites tempêtes par la gestion des Goélands leucophées.

L'objectif à terme est de permettre aux Océanites de se reproduire comme par le passé (jusqu'en 2004) tout en définissant une stratégie de limitation des nuisances causées par les goélands. Simultanément ces premiers résultats pourront être utilisés pour la lutte contre la colonisation débutante des immeubles du front de mer de Biarritz.

En 2006, deux premières méthodes de limitation de la présence de goélands sur la Roche Ronde ont été testées : l'effarouchement des goélands à l'aide d'un Laser MI-7 (Figure 35) et une campagne de désherbage testée sur la Roche Ronde.

***Figure 35** : A gauche : campagne de désherbage des Arroches hastée (*Atriplex prostrata*) aux abords de la colonie de reproduction d'Océanite tempête (*Hydrobates pelagicus*) afin d'éliminer l'effet attracteur de cette végétation sur les goélands (11 mai 2006). A droite :effarouchement des goélands présents à l'entrée de la colonie de reproduction d'Océanites tempêtes par laser MI-7 (mai 2006).*

L'efficacité instantanée de l'effarouchement par laser atteint presque 50% de diminution des effectifs immédiatement après le dérangement (résultats non montrés). Cependant, Cet effet semble plus fort sur les jeunes goélands que sur les reproducteurs qui prédatent les Océanites.

La fréquentation depuis quelques années de la Roche Ronde par plusieurs espèces d'oiseaux, notamment les cormorans (*Phalacrocorax carbo et Phalacrocorax aristotelis*), est à l'origine de la

présence d'une grande quantité de déjections sur le rocher qui a permis à la végétation, constituée d'Arroches hastée (*Atriplex prostrata*) de croître rapidement. Cette végétation a un effet attracteur pour les goélands qui l'utilisent pour confectionner leurs nids.
Après s'être assuré lors d'un inventaire botanique de l'absence d'autres espèces végétales d'intérêt patrimonial, une campagne de désherbage aux abords de l'entrée de la colonie d'Océanite a été entreprise (Figure 35).

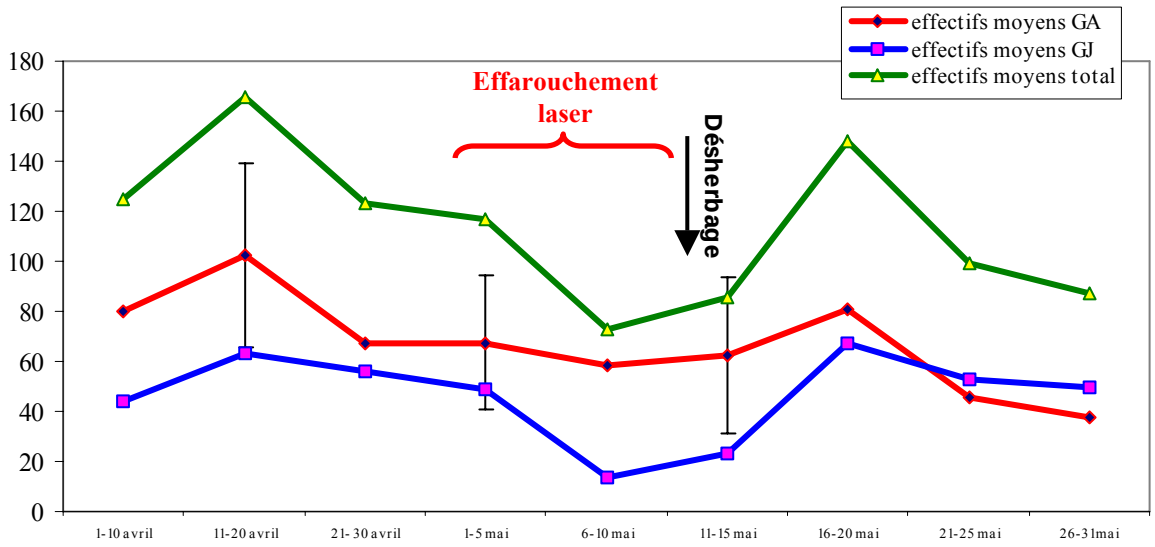


***Figure 36** : Evolution du nombre moyen de Goéland leucophée présent sur la Roche ronde au cours de la période de reproduction (GA : goélands adultes, GJ : goélands immatures, l'erreur standard de la mesure des effectifs moyens est représentée par les barres verticales). La période d' effarouchement des goélands par laser MI-7 et de désherbage des Arroches hastée est figurée.*

Les techniques mises en œuvre pour diminuer la présence des Goélands leucophées sur la Roche ronde sont assez limitées (Figure 36). L'efficacité de ces méthodes aurait été meilleure sans doute si elles avaient été mises en place avant l'installation des goélands au début de la saison de reproduction (avant le mois de mai).

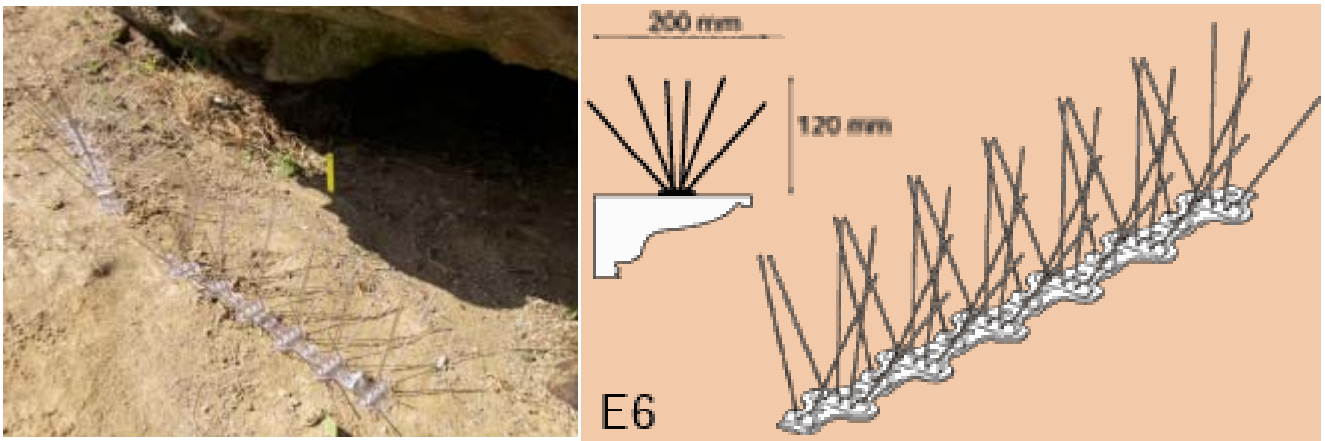


Figure 37 : *installation de pics anti-goélands (Ecopic E6) sur la Roche Ronde (juin 2007) afin de limiter l'abondance et la prédation des Goélands leucophées sur l'Océanite tempête (Hydrobates pelagicus).*

En 2007, les sites de ponte de goélands préalablement identifiés ont été équipés de pics répulsifs (Ecopic E6) afin de limiter l'installation des nids de Goéland leucophée et ainsi éviter la prédation sur les Océanites tempêtes (Figure 37). Cette opération n'a pas pour autant empêché la prédation des Océanites (Figure 32).

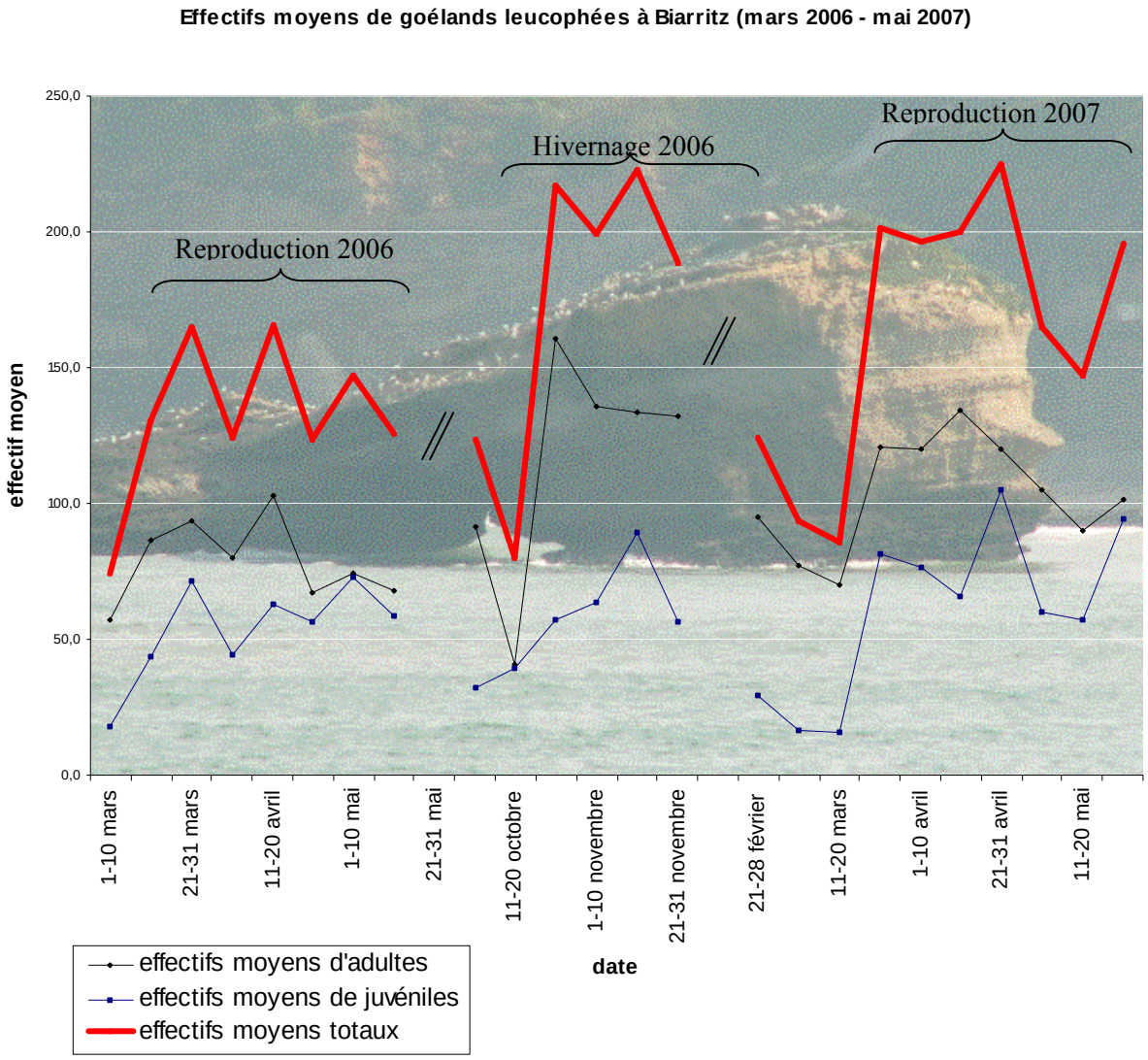


***Figure 38** : Evolution du nombre moyen de Goéland leucophée (*Larus michahellis*) sur le littoral de Biarritz en 2006 et 2007. Les effectifs des juvéniles et des adultes sont indiqués.*

Dans les prochains mois il paraît donc nécessaire de mettre en oeuvre d'autres procédés complémentaires de sauvegarde des océanites tempêtes de la menace que représente pour elles les goélands.

L'explosion démographique des Goélands leucophées dans le sud de l'Aquitaine ne fait aucun doute. Cette croissance rapide récente est à mettre en relation avec les activités humaines notamment au

niveau de l'augmentation continuelle des déchets domestiques, source alimentaire inépuisable pour les oiseaux.
Leur fréquentation en milieu urbain ne tardera pas à augmenter avec les effets associés à cette colonisation (nuisances sonores, déjection dégradant les édifices, risques bactériologiques, qualité des eaux de baignade…).
En ce qui concerne la problématique de la conservation des Océanites tempêtes, les deux colonies sont aujourd'hui proches de l'extinction. La volonté de les sauvegarder passe par la diminution impérative de la fréquentation de la Roche Ronde par les goélands. Les techniques mises en œuvre doivent être complétées par d'autres actions de terrain afin de permettre le maintien de cette espèce en Aquitaine.

III – L'IMPACT DU PRESTIGE

Le 13 novembre 2002, le pétrolier « Prestige » battant pavillon des Bahamas et transportant plus de 77 000 tonnes de fioul lourd, émet un appel de détresse au large du Cap Finisterre (Galice, Espagne). Le navire, en avarie machine, dérive au gré des courants et perd déjà une partie de sa cargaison. Le 14 novembre le Plan Biscaye (accord bilatéral de coopération entre la France et l'Espagne en matière de lutte contre les pollutions accidentelles dans le Golfe de Gascogne) est déclenché. Le 16 novembre les premiers arrivages de pétrole sur les côtes espagnoles sont signalés.

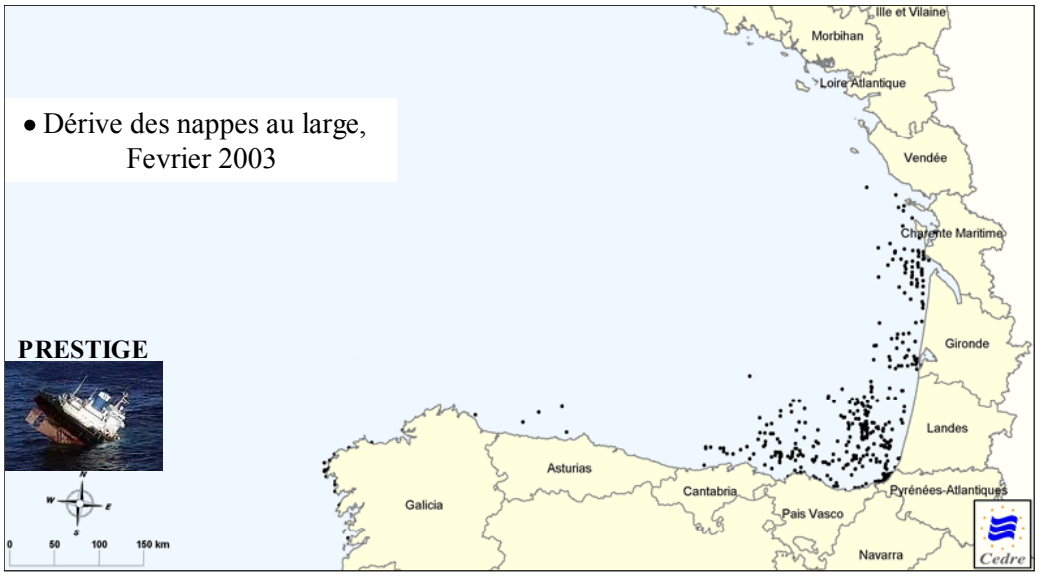


Figure 39 : *Dérive des nappes d'hydrocarbures trois mois après le naufrage du Prestige (février 2003) (source : CEDRE).*

Le 19 novembre, après plusieurs jours de remorquage, le pétrolier se casse en deux et coule à 270 Km au large de Vigo (Figure 39), la partie avant par 3565 m de fond et la partie arrière à 3830 m, provoquant la marée noire la plus importante (en durée et en étendue de côtes touchées) en atlantique nord-est.

Le fioul du Prestige a souillé les côtes atlantiques, du Portugal jusqu'au nord de l'Europe, de façon plus ou moins importante. La France n'a pas connu la même marée noire que la Galice : près de 26 000 tonnes de déchets, tout confondu, ont été récupérés à terre en France et environ 90 000 en Espagne. En France c'est la Zone de Défense Sud Ouest qui a été la plus touchée, en Aquitaine, c'est le département des Landes qui a reçu le plus de polluant (Figure 39).

A/ LA GESTION DE LA CRISE DU PRESTIGE

A la demande de la DIREN Aquitaine et au sein de l'ERMMA, Delphine BRUNIE étudiante en DESS (Ecosystèmes Méditerranéens Littoraux) à l'université de Corse (Facultés des Sciences et Techniques) a réalisé en 2004 une enquête sur la gestion de la crise du Prestige en particulier dans les Pyrénées Atlantiques.

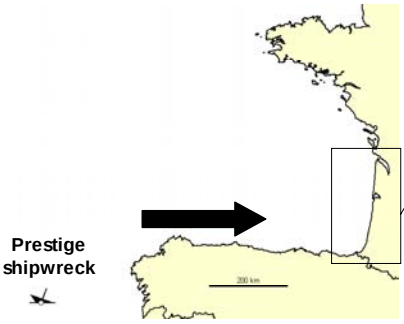
La crise du « Prestige » a mis en évidence l'éparpillement des connaissances environnementales existant sur le milieu marin et les difficultés à réaliser des synthèses exploitables en temps de crise. Dans ce genre de circonstance la mobilisation d'experts est essentielle.

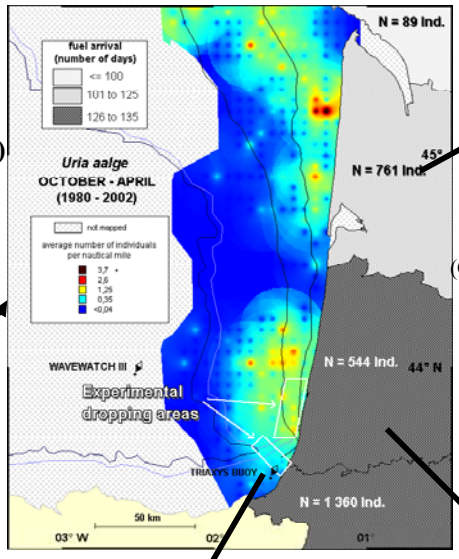
Cette enquête a été réalisée auprès des collectivités locales, des services de l'Etat, des scientifiques, des partenaires socio-économiques et des journalistes. Ce travail a permis de se rendre compte des besoins des différents acteurs concernés et de faire le bilan des données environnementales disponibles sur cette zone ainsi que des structures de référence. Compte tenu de la particularité de ce littoral (surfaces rocheuses importantes), notamment du point de vue de la biodiversité, il paraissait intéressant d'avoir un retour d'expérience à partir de cet exemple, sur les modalités d'établissement d'un état des lieux et les moyens d'évaluation de l'impact environnemental de ce type de pollution.
Ce rapport traite de ces différents aspects et souligne la nécessité de mettre en œuvre une politique de gestion intégrée des zones côtières et l'intérêt de développer des réseaux permanents de suivi du milieu marin.

B/ ETUDE PLURIDISCIPLINAIRE SUR LES ARRIVEES D'HYDROCARBURES DU PRESTIGE ET L'IMPACT SUR LES OISEAUX MARINS

Afin de réaliser une étude de grande ampleur sur les données collectées au moment de la marée noire du Prestige et de pouvoir en déterminer l'impact, l'ERMMA a multiplié les collaborations et les contacts avec les principaux organismes et acteurs au moment du Prestige (CEDRE, DIREN Aquitaine, principaux centres de soins (UMSOM, Hégalaldia)…).
Ces collaborations, regroupements de données et analyses au sein de l'ERMMA ont permis de réaliser une étude pluridisciplinaire intitulée « Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil arrival: lesson from the "prestige" oilspill in Aquitaine (France)» (Annexe VI c)

Suivi des oiseaux marins en mer (depuis 1976)
(MNHN, LAPHY, UPPA, CMCB, Gardes Côtes)





Données de vent et de houle
(Tour des signaux, Météo France, Laboratoire des Sciences Appliquées aux Génies Civil et Côtier)

Oiseaux échoués collectés
(Centres de soins, DIREN Aquitaine)

Arrivées d'hydrocarbures
(CEDRE)

Figure 40 : *Nature et provenance des données regroupées lors de l'étude pluridisciplinaire sur les arrivées d'hydrocarbures du Prestige et leurs impacts sur l'avifaune marine.*

La dérive en mer et donc l'arrivée sur le littoral de matériaux flottant en surface tels que des bois, déchets ou hydrocarbures dépendent étroitement de la direction et la vitesse du vent. A partir des données météorologiques et de houles (Météo France, Tour des signaux, LASAGEC), des quantités d'hydrocarbures ramassées dans les différents chantiers (CEDRE), des dénombrements d'oiseaux marins échoués (UMSOM, DIREN Aquitaine, Hégalaldia) et de la connaissance des zones d'hivernage en mer (MNHN-LAPHY-UPPA), ont été étudiées conjointement la dérive des animaux touchés et celles des hydrocarbures au large de l'Aquitaine lors de la pollution du Prestige. Cette étude a donc mis en œuvre la collaboration d'une douzaine d'organismes (Figure 40).

Il apparaît que les échouages d'oiseaux sont fortement corrélés avec les conditions de vent onshore (venant du large) du jour même, alors que les arrivées de pétrole sont corrélées avec 8 jours de décalage. Ces résultats confirment le fait que les oiseaux échoués peuvent être considérés comme indicateurs de l'arrivée prochaine de pollution par hydrocarbure (avec un délai de 8 jours dans le cas du Prestige) (Figure 41).

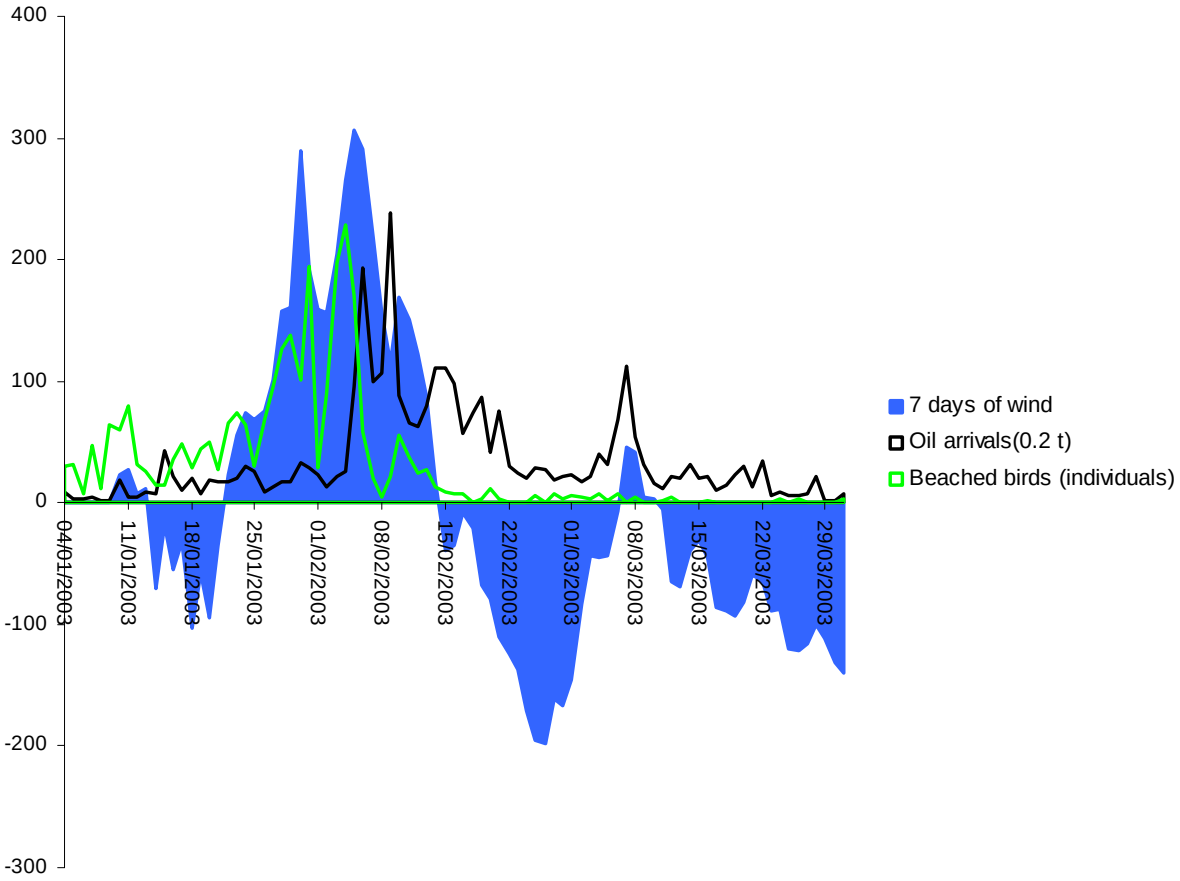


Figure 41: *variations journalières des échouages d'oiseaux (en individus par jour), d'arrivées de pétrole (x 0.2 tonnes par jour) et conditions de vent (cumul de 7 jours de vent) durant la période de crise du Prestige.*

Simultanément une première expérience de remise en mer au large de la côte basco-landaise de 121 cadavres de Guillemots *Uria aalge* bagués (Figure 42) a permis d'estimer par capture-recaptures le taux de découverte des individus à la côte et donc d'apprécier la mortalité totale des populations d'oiseaux (UPPA-MNHN).

Suite à une expérience de flottaison de cadavre réalisée dans les aquariums d'eau de mer du Musée de la Mer de Biarritz, le temps de flottaison maximum d'un cadavre d'oiseaux en mer a été estimé à 30 jours.

La combinaison du modèle de dérive des corps relargués en mer et de la méthode de capture-recapture a permis d'estimer la mortalité totale des populations à 30 240 oiseaux soit 11 fois plus que le nombre total d'oiseaux réellement retrouvés sur les plages.

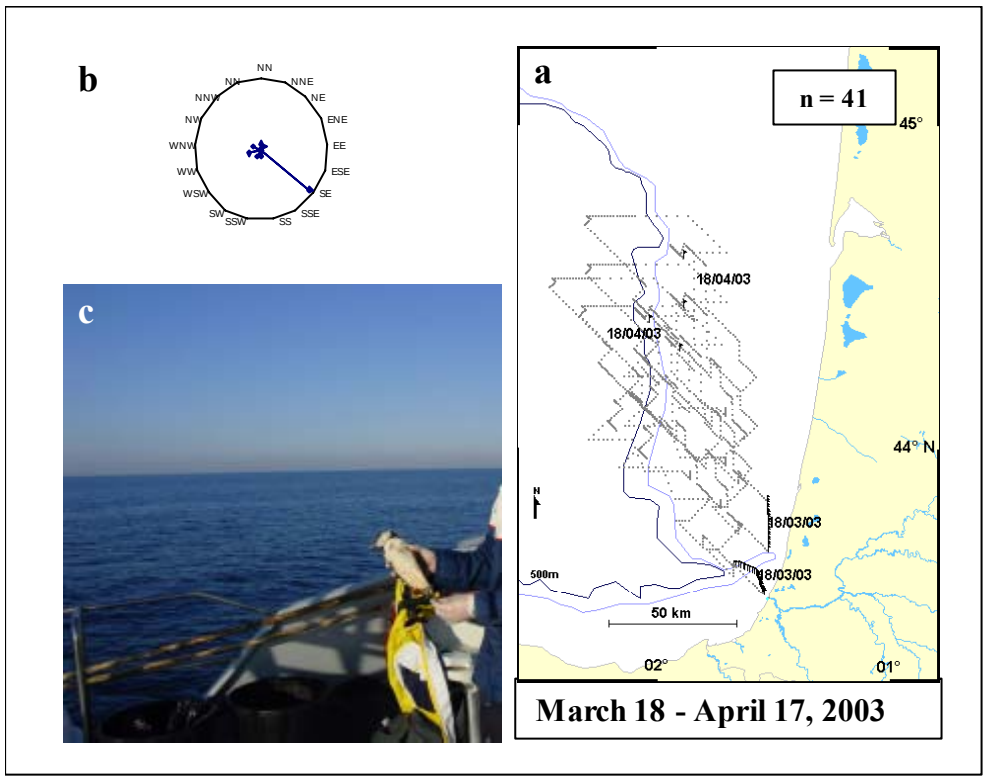


Figure 42: a : *modèle de dérive des corps en mer : la route théorique pour chaque oiseaux est représentée du point de relargage en mer jusqu'à la disparition, dérive du 18 mars au 17 avril (les modèles de dérive des oiseaux relargués aux mois de février et mars ne sont pas représentés n total = 121 corps).* ***b*** *: direction du vent (nombre de jours) durant la période de dérive.* ***c*** *: Guillemot de Troïl (*Uria aalge*) bagué et géoréférencé relargué en mer.*

Cette sous estimation de la mortalité (si l'on ne considère que les individus réellement retrouvés sur les plages) s'explique principalement par les conditions de vent. En effet, Les conditions de vent majoritairement offshore (venant de terre) durant le Prestige auraient fait dériver les individus touchés vers le large (Figure 41), masquant ainsi l'impact réel du Prestige.

Ces résultats ont été ensuite comparés à la répartition spatio-temporelle en mer des espèces (Figure 43).
L'importance de l'impact du Prestige mis en évidence par l'expérience de relargage de corps en mer est compatible avec la diminution de l'abondance du Guillemot observée en mer. La diminution de cette espèce, la plus touchée en nombre d'individus lors des marées noires de l'Erika et du Prestige, peut s'expliquer par un impact différé de l'Erika (déficit de reproducteurs 4 ans après l'accident dû à une maturité sexuelle différée) ou par un effet combiné avec la pollution du Prestige (sous estimé comme nous l'avons vu).

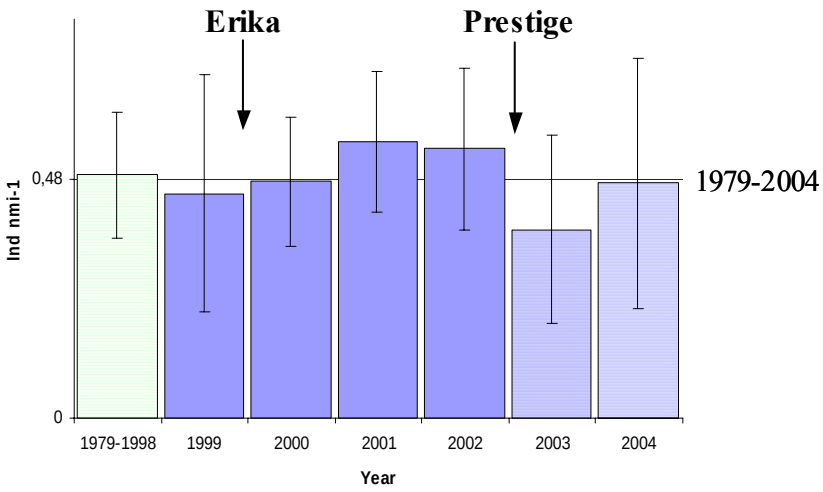


Figure 43 : *variation en mer de l'abondance du Guillemot de Troïl en Aquitaine (1979 – 2004). (nombre moyen d'individus par milles nautiques, barres verticales représentant erreur standard).*

Ces travaux ont été présentés au colloque international SETAC (Society of environmental Toxicology and Chemistry) de Lille le 26 mai 2005 « The Challenge of measuring the ecological impact of marine oil spill ».

Les résultats de ces travaux ont été validés et publiés dans la revue internationale : « ARDEOLA ». L'article intitulé « Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil arrival: lesson from the "prestige" oilspill in Aquitaine (France)» a paru dans l'édition 2007 de la revue (Annexe VI c).

Au delà de la mesure de l'impact du Prestige, ce travail a mis en évidence la nécessité de mise en commun de données de nature et d'origines différentes pour appréhender l'impact de pollutions telles que celles de l'Erika et du Prestige, sur les populations animales et plus généralement pour la conservation de la biodiversité marine.

C/ IMPACT DU PRESTIGE SUR LES BIOCENOSES BENTHIQUES

Le cantonnement de pêche de Guéthary (département 64) fait l'objet depuis 7 ans d'un suivi scientifique (cf. paragraphe I-B-5). Depuis 2002, la méthode d'observation standardisée permet la comparaison d'une année sur l'autre (la méthode étant quantitative depuis 2003). Ce site présente une biodiversité remarquable et présente l'avantage de bénéficier d'une protection (cantonnement de pêche) limitant certaines activités anthropiques. Ainsi, ce secteur représente une bonne station de référence pour la mesure des pollutions et changements globaux pouvant influencer les biocénoses benthiques.

Concernant le naufrage du « Prestige », les années suivant la pollution de l'estran par les hydrocarbures, une diminution de la richesse spécifique (nombre moyen d'espèces) sur le secteur de Guéthary est constatée (Figure 44). Depuis 2005, le niveau de richesse spécifique semble revenu à un niveau comparable à la situation antérieure à la pollution du « Prestige ». l'hypothèse de la résilience de ces peuplements 3 ans après l'accident pétrolier sera donc testée.

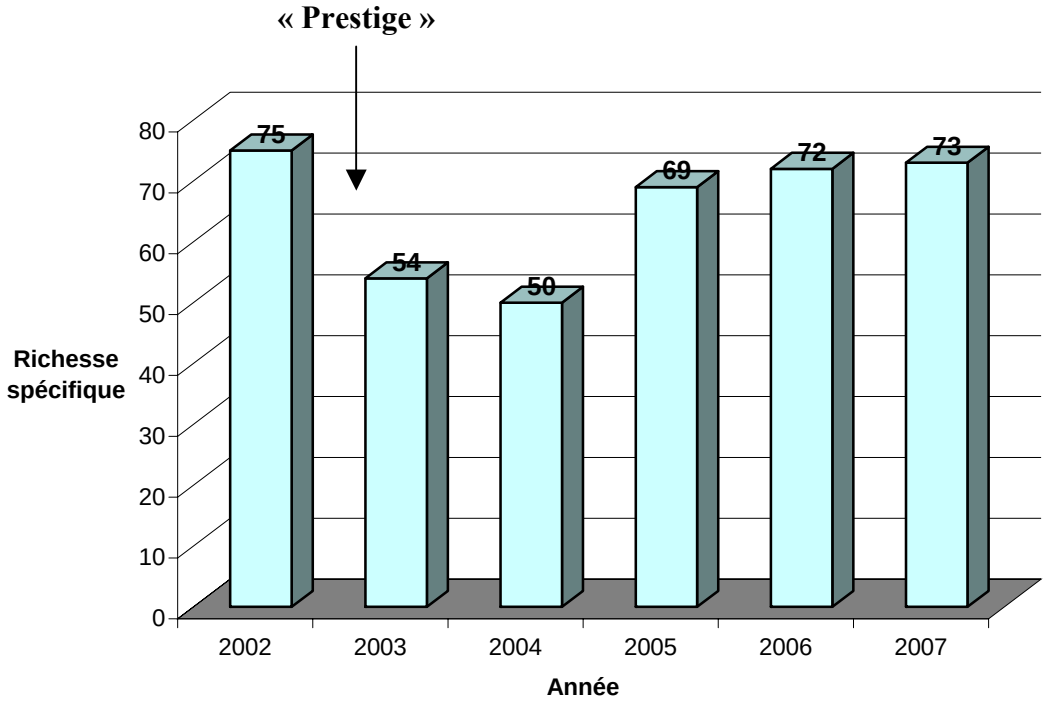


Figure 44: *Evolution de la richesse spécifique des biocénoses benthiques sur la station de référence (20 points de mesure, carte de gauche) de la commune de Guéthary (Côte Basque).*

En complément de ces résultats, une interaction avec les variations océano climatiques est cependant envisagée. En effet, le cortège d'espèces présent en 200è n'est pas exactement similaire à celui du début du suivi. Aussi, un recul supplémentaire concernant ce suivi est nécessaire (d'un point de vue statistique) pour finaliser la quantification de l'impact du « Prestige » sur ces biocénoses benthiques. Il est en conséquence essentiel de distinguer les effets éventuels des changements environnementaux de ceux dus à la pollution.

D/ IMPACT DU PRESTIGE SUR LES CETACES

En ce qui concerne les cétacés, les données d'échouages de ces animaux sont collectées par le RNE (Réseau National d'Echouage) sur les côtes de France (cf. paragraphe suivi des cétacés). Ce réseau est constant et permet le suivi des échouages au fil des mois et des années.

Suite à la pollution de l' « Erika » (décembre 1999) aucune augmentation des échouages traduisant une mortalité accrue n'avait été constatée. Les années suivant l'accident pétrolier du « Prestige » ne montrent également aucun accroissement des échouages en Aquitaine (Figure 45).

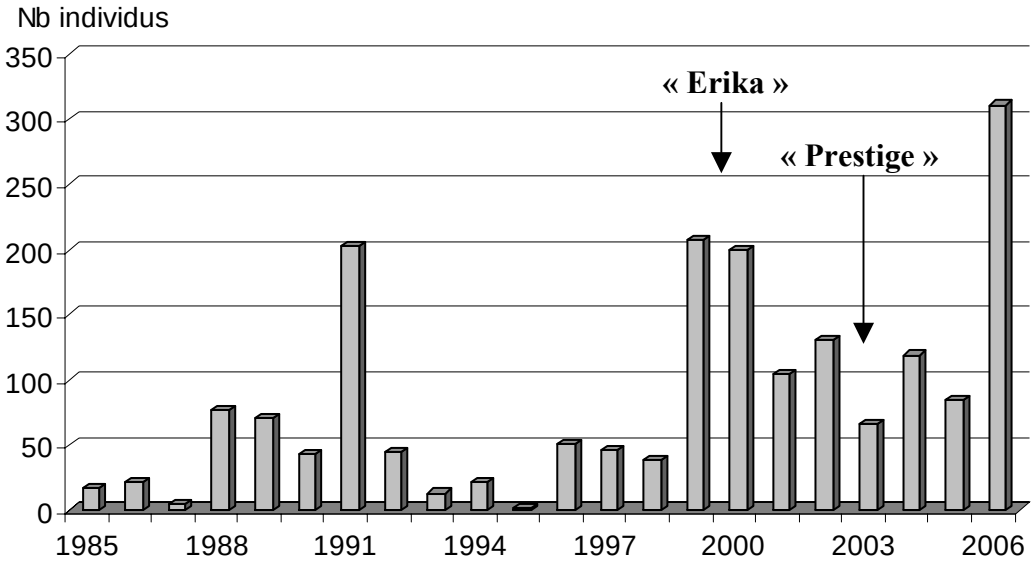


Figure 45 : *Evolution de l'abondance des échouages des cétacés en Aquitaine de 1985 à 2006. Aucune augmentation significative des échouages n'est observée suite à la pollution du « Prestige ».*

Ces résultats semblent indiquer que les cétacés éviteraient les nappes d'hydrocarbures ce qui limiterait l'impact direct sur ces animaux. Les premiers résultats du suivi de l'abondance en mer de ces populations (cf. paragraphe sur le suivi des cétacés) n'indiquent pas non plus une diminution de l'abondance.

IV – COMMUNICATION DES RESULTATS

La communication a été axée sur la présentation des questions d'évolution (naturelle ou non) des peuplements marins et des problèmes de gestion durable des milieux marins en Aquitaine. Le rôle, les objectifs et les moyens du programme ERMMA sont alors montrés sous plusieurs formes : présentations auprès de collectivités et de scientifiques, site Internet (www.ermma.fr), diffusion auprès du grand public, des médias ...
Cette communication se développe en prenant en compte la nécessité d'avoir une démarche unifiée entre le programme ERMMA (portant sur l'aspect biologique) et l'Observatoire de la Côte Aquitaine (portant sur l'aspect physique) ceci tout en conservant la diversité et la spécificité des intervenants. Suite aux contacts établis, cet aspect prend plusieurs formes en particulier par le biais d'une diffusion

de l'information par Internet (les sites de l'ERMMA et l'OCA exposent la présentation et l'accès aux sites web) ou autres supports (Annexe V).

Ces aspects de valorisation des résultats et surtout de l'importance des sujets abordés se poursuivront et se développeront dans les mois à venir. Les actions de communication mentionnent clairement les partenariats.

A / COMMUNICATION AUPRES DES COLLECTIVITES ET INSTITUTIONS

Au cours de la mise en place du programme (engagé en 2002) un nombre important de réunions de concertation entre des collectivités territoriales et les institutions compétentes ont été tenues afin de mieux cibler et intégrer les attentes de celles-ci en ce qui concerne la gestion des milieux marins aquitains.

Au cours de sa mise en place, des nombreuses rencontres ont été organisées dans le but de présenter les problèmes de gestion des milieux marins abordés par l'ERMMA et d'envisager les évolutions futures.

Ainsi, ces aspects ont été présentés et discutés avec les principaux acteurs travaillant autour du milieu marin Aquitain (quelques exemples par ordre alphabétique) : Affaires Maritimes, Agence de l'Eau Adour Garonne, ALR (association 1901 Aquitaine Landes Récifs), CERICA (Cellule d'Etudes et de Recherche en Environnement Côtier et Estuarien en Aquitaine), Conseil Généraux des départements côtiers de l'Aquitaine (64, 40 et 33), Conseil Régional d'Aquitaine, CRMM (Centre de Recherche sur les Mammifères Marins), DIREN (Direction régionale de l'environnement), GEFMA (association 1901 Groupe d'Etude de la Faune Marine Atlantique), IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), OCA (Observatoire de la Côte Aquitaine), SGAR (Secrétariat Général pour les Affaires Régionales) etc…

En 2006, Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et son équivalent espagnol intéressés par les actions de l'ERMMA et en particulier le suivi en mer des populations ont participé à une campagne de recueil de données en mer. Ainsi, des agents de l' Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable) et du Service Ecologie de la division del Medio Ambiente (Departamento de Presidencia e Interior- Pamplune) ont embarqué en avril 2006 sur les vedettes des Douanes Française lors d'une campagne de l'ERMMA.
Ces contacts ont pour objectifs de communiquer et favoriser la mise en place d'actions similaires côté espagnol ceci dans un but de connaissance et de collaborations futures.

La restitution des résultats sur l'avancement des travaux de l'ERMMA s'est également effectuée et se poursuivra sous la forme de rencontres, réunions, comptes rendus et du site Internet.

B / COMMUNICATION AUPRES DU GRAND PUBLIC

- ***Site Internet***

Le site Internet du Programme régional *« Environnement et ressources des milieux marins aquitains »* est en ligne. Son adresse électronique est : www.ermma.fr.

Ce site Internet est un outil interactif de diffusion vers un large public des actions entreprises et des connaissances sur le milieu marin aquitain.

Le site présente les missions engagées et de recherches entreprises (Figure 47). Les programmes de suivis, leurs objectifs et méthodologies sont également détaillés. Ce site est interactif, les internautes peuvent réagir et poser des questions, et renferme de nombreuses pages promouvant les richesses marines de la région.

La métabase de données pluridisciplinaires sur les milieux marins aquitains est également gérée sous le site Internet de l'ERMMA. Elle prend en compte actuellement les principaux maillons des chaînes alimentaires (planctons, benthos, poissons, cétacés, oiseaux marins).
Le système de gestion et d'exploitation de la métabase est un espace sécurisé nécessitant d'être enregistré comme utilisateur avec un mot de passe. Cependant un espace visiteur permet de présenter le principe, la nature et la quantité des données stockées et gérées dans la métabase (Figure 46).

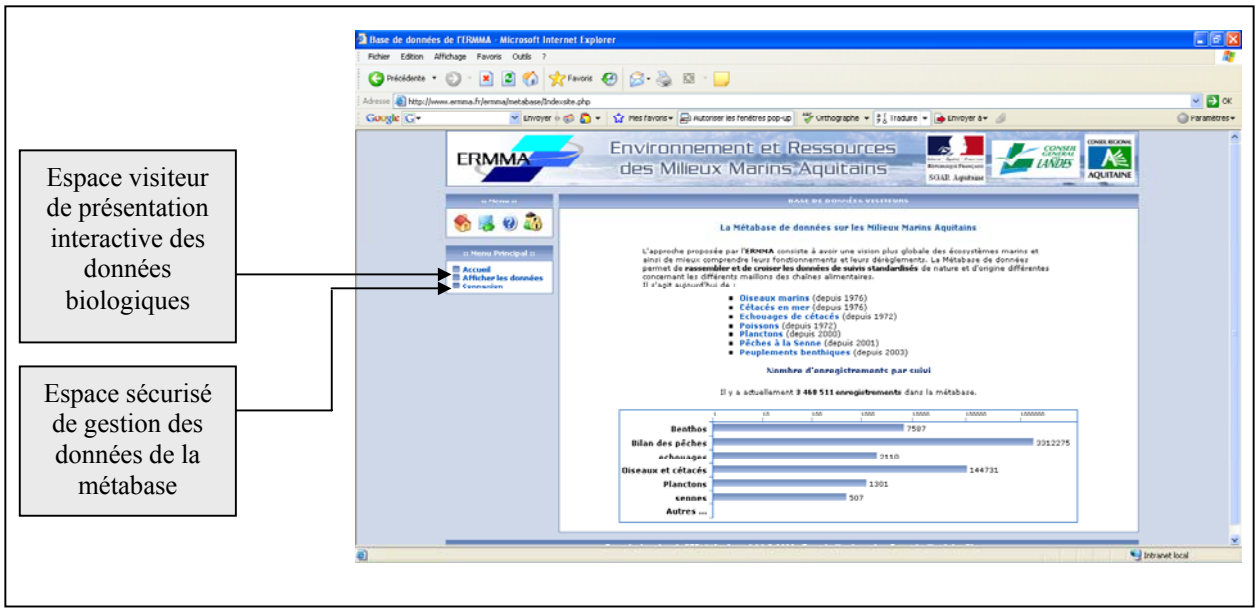


Figure 46 : *Métabase de données sur les milieux marins aquitains avec accès au public permettant la présentation interactive des données biologiques pluridisciplinaires gérées dans la métabase .*

Cet espace visiteur permet également l'affichage de requêtes simplifiées présentant les données biologiques de la métabase de données et leurs évolutions (www.ermma.fr). Cet espace visiteur déjà opérationnel est en cours d'amélioration afin de le rendre plus convivial et interactif.

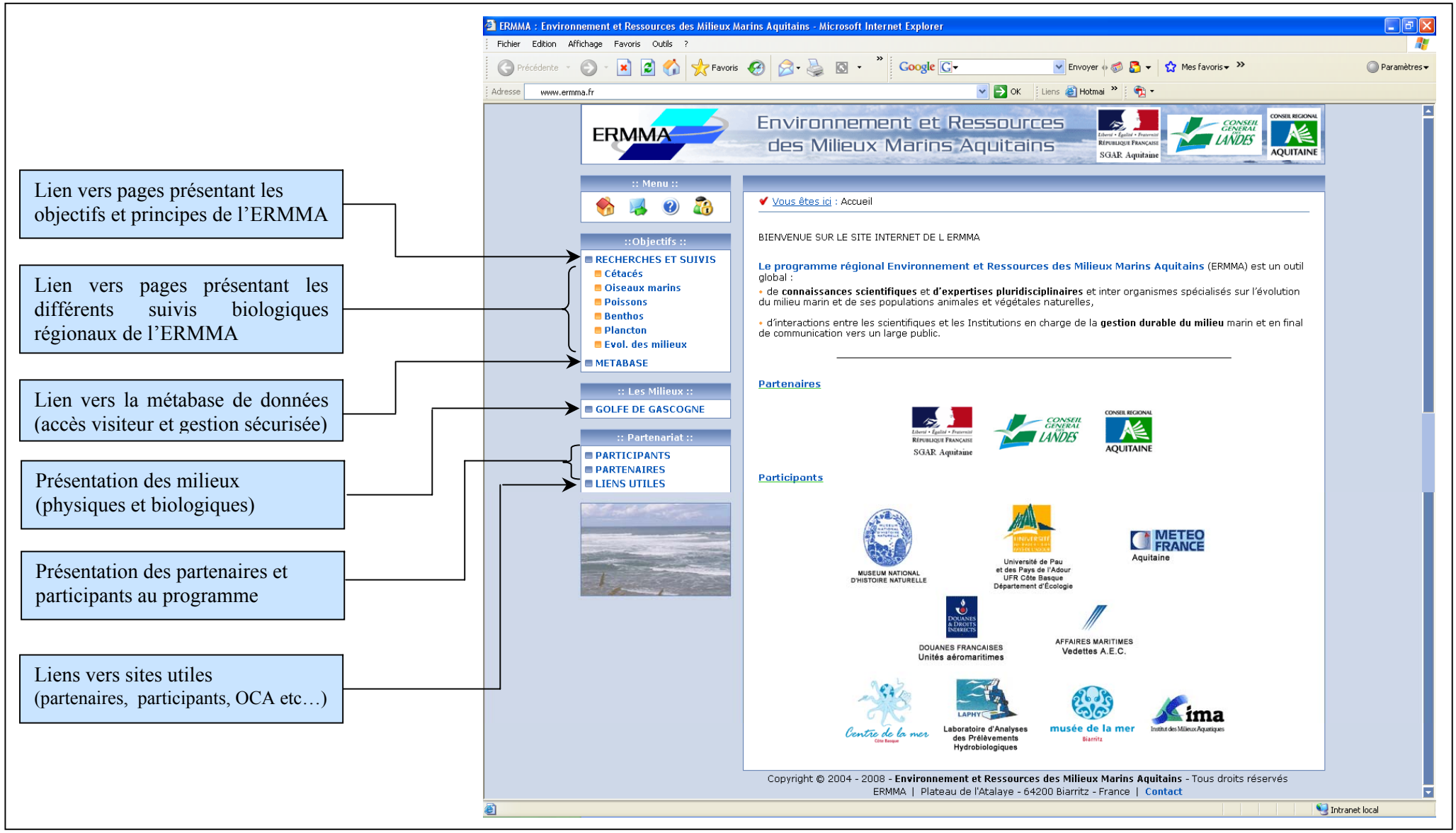


Figure 47 : *Présentation succincte du site Internet du Programme régional « Environnement et ressources des milieux marins aquitains » ERMMA (www.ermma.fr).*

● *Interventions dans les médias*

Depuis sa mise en place, un certain nombre d'actions de communication dans les médias ont été effectuées avec notamment une présentation du programme ERMMA dans des émissions de télévision de **France 3** ou **France 3 Aquitaine**.

Les missions du programme et ses partenaires sont présentés également lors d'émissions de radio : de **Sud Radio**, **France Bleu,** et autres émissions de **France Bleu national**, **Sud Radio**, **France bleu Gascogne**, **bleu Béarn** et **bleu Pays Basque**, relayés plusieurs fois. Ces actions ont été effectuées chaque année depuis la création du programme ERMMA.

Certaines actions de l'ERMMA ont également parues dans la presse écrite (**Sud-ouest, Semaine du Pays Basque**, **L'écho des quais**, "**La dépêche Vétérinaire**" …).

Le programme ERMMA sera également présenté lors de l'**exposition universelle de Zaragoza** en 2008. A cette intention un clip vidéo qui tournera en boucle au cours de cette exposition a été réalisé en 2007.

● *Interventions lors de manifestations*

L'ERMMA, ses missions, ses partenaires et les résultats obtenus ont été présentés à maintes reprises au grand public depuis sa création lors de différentes manifestations.

Ainsi, des présentations ont été effectués lors de la **semaine de la Science** (12 octobre 2004) dans le cadre des conférences publiques du Café des Sciences organisées par Lacq Odyssée ou encore par exemple lors des « **Rencontres Naturalistes Atlantiques** » au Teich (Gironde) du 03 mars 2004.

Le programme ERMMA a participé activement au **Festival « sur les chemins des prédateurs de l'océan »** du 25 février au 06 avril 2005 (Figure 48).

Figure 48 : *Festival « sur les chemins des prédateurs de l'océan » tenu du 25 février au 06 avril 2005 à Hendaye, Bayonne, Biarritz, Cambo les bains.*

Ce festival a été l'occasion de présenter l'ERMMA et ses missions au grand public lors d'une conférence avec le support d'un diaporama de vulgarisation.

Le programme ERMMA, ses partenaires et ses missions ont également été présenté lors de **conférences grand public** comme par exemple les conférences de la **Société des Amis du Musée de la Mer** (6 décembre 2006) ou le **Festival Nature au Haillan** (1er au 7 avril 2006).

Lors de ces conférences des diaporamas de vulgarisation sont élaborés. Ceux ci présentent les thèmes de recherches du programme ERMMA en relation la manifestation. Ces diaporamas présentant les actions de l'ERMMA mentionnent également clairement les partenariats (Figure 49).

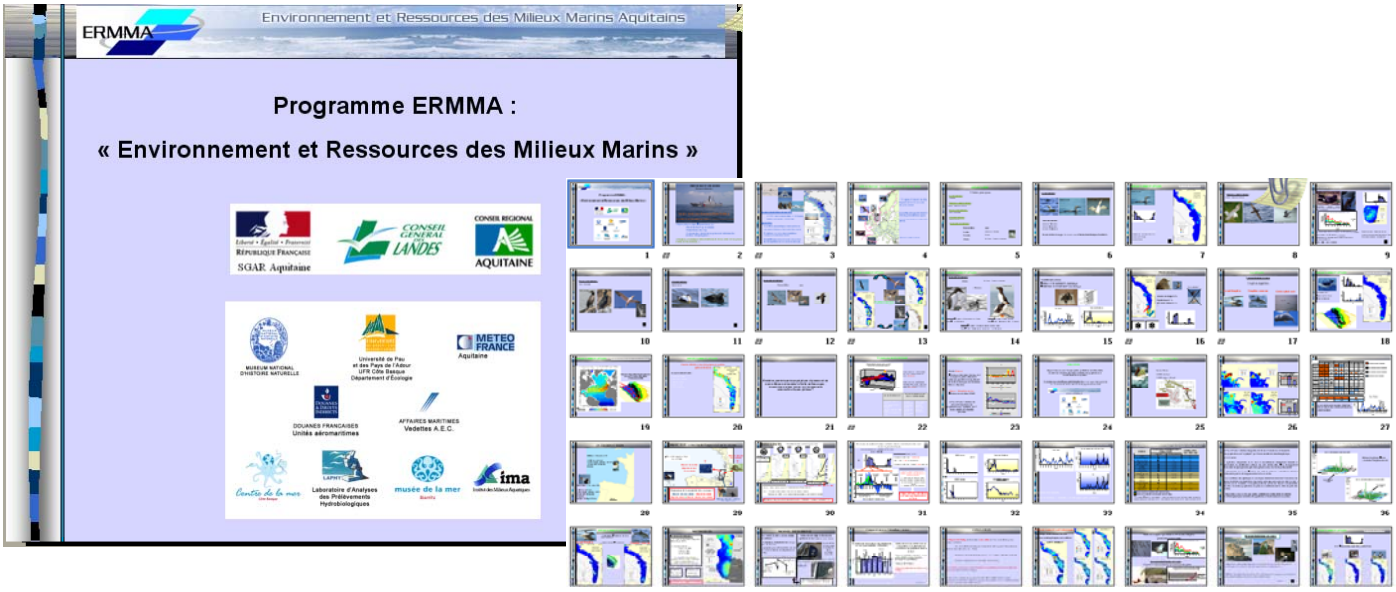


Figure 49 : *Exemple de diaporama de présentation vulgarisée des actions du programme ERMMA présenté lors de conférences grand public. Ces diaporamas mentionnent clairement les partenariats.*

Ces aspects ont également été abordés lors de sorties accompagnées en mer (Figure 50). Ces sorties d'une demie journée en mer sont l'occasion de sensibiliser le public sur les richesses des milieux marins aquitains (identification des espèces marines rencontrées…) et sur les enjeux de gestion durable de ces milieux.

Figure 50 : *sorties accompagnées en mer ayant pour but la sensibilisation du grand public aux richesses du milieu marin Aquitain. Ces actions ont été réalisées en collaboration avec le CPIE d'Abbadia.*

L'ERMMA a participé à la journée scientifique littorale à l'Université Bordeaux I, le 25 octobre 2007. Ce colloque sur les recherches sur le littoral aquitain, a permis la rencontre entre scientifiques et acteurs socio-économiques (élus, gestionnaires, entreprises, associations...). Lors de cette manifestation, deux posters présentant le programme, ses objectifs et ses partenaires ont été exposés.

Le programme ERMMA a été également invité en novembre 2007 par la Direccion General del Médio Natural de la Région de Murcia en Espagne pour présenter ses travaux novateurs. Lors de cette manifestation, les problématiques originales développées par l'ERMMA en terme de mesure de l'impact d'un part des changements océano-climatiques et d'autres part directe de l'homme (pollutions…) ont été présentées (Figure 51).

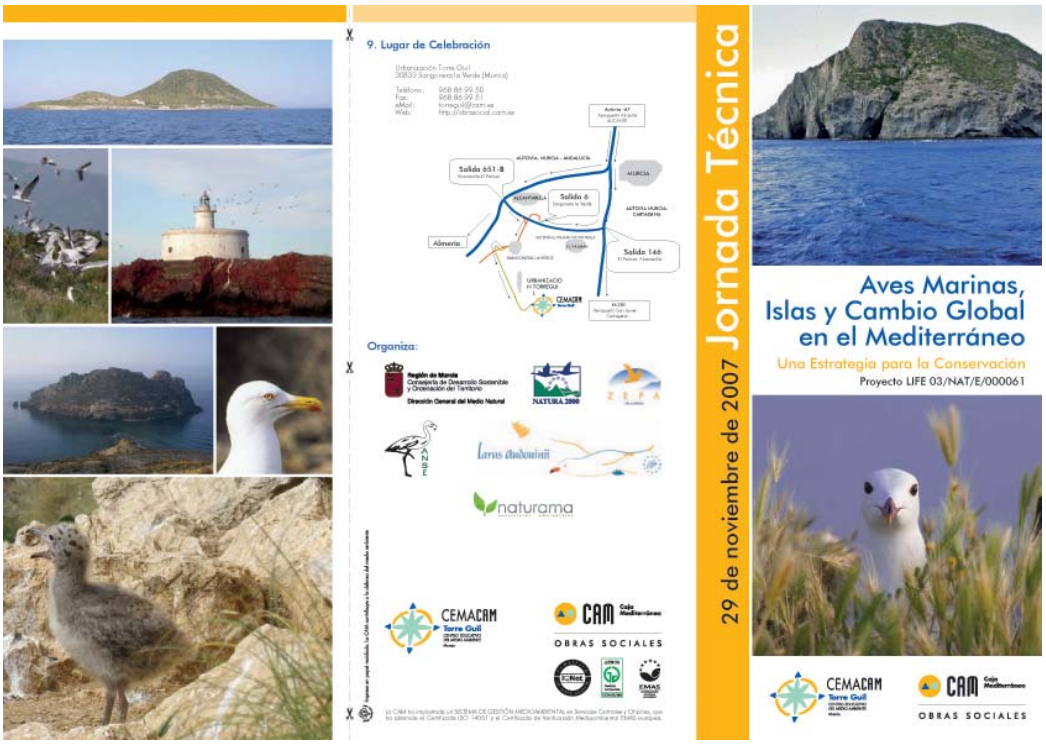


Figure 51 : *Journées techniques sur la conservation des milieux marins et l'impact des changements climatiques. Le programme ERMMA a été invité pour présenter ses travaux novateurs lors de ces journées (29 et 30 novembre 2007) organisées en particulier par la Direccion General del Médio Natural de la Région de Murcia (Espagne) et l'Europe.*

D'autres interventions de ce type sont en préparation. Le programme ERMMA continuera et amplifiera ses participations à ce type de manifestations permettant de présenter et discuter les questions d'évolutions (naturelles ou non) des peuplements marins et les problèmes de gestion durable de ces milieux.

C / COMMUNICATION AUPRES DES SPECIALISTES, SCIENTIFIQUES ET FORMATIONS UNIVERSITAIRES

La communication auprès des spécialistes et scientifiques permet de renforcer les liens et collaborations actuelles et futures. La restitution des résultats s'effectue sous plusieurs formes et particulièrement sous la forme de publications dans des revues à caractère scientifique et technique.

● *Interventions lors de conférences et colloques*

En complément des colloques destinés au grand public, le programme ERMMA a été présenté à l'occasion de colloques scientifiques lors notamment des réunions des membres du réseau du RNE (Réseau National d'Echouages) à Nice.

La méthodologie et les résultats de l'étude pluridisciplinaire menée sur l'impact du Prestige ont été présentés au colloque international SETAC (Society of environmental Toxicology and Chemistry) de Lille le 26 mai 2005 « The Challenge of measuring the ecological impact of marine oil spill » (cf. paragraphe sur l'impact du Prestige)

Les actions du programme et particulièrement les études menées sur l'impact des changements océano climatiques sur les peuplements marins aquitains ont été présentées aux professionnels en particulier lors de la commission interportuaire de 2006 à Ciboure.

Ces problématiques ont été également discutées lors du séminaire Vétocéan "Environnement marin" du 13 au 21 mai 2006 (El Gouna, Egypte).

Enfin, les conférences effectuées à l'UPPA permettent de susciter des collaborations avec des stagiaires universitaires. L'encadrement de stages d'étudiants universitaires au sein de l'ERMMA permet le développement de travaux du programme, la communication et le renforcement des liens entre les Universités et l'ERMMA. Depuis sa mise en place l'ERMMA a encadré un grand nombre de stagiaires (huit étudiants en 2007) de différentes Universités (Université de Bournemouth, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Université Paris XI, Université de Corse).

● *Publications*

La publication dans des revues de références avec comités scientifiques de lecture des études et méthodologies utilisées est une garantie de validation des résultats obtenus.

Depuis la mise en place du programme ERMMA un certain nombre d'articles ont été publiés ou sont en cours d'examen par les comités de lecture pour une publication prochaine.

Ainsi , les résultats et méthodologies permettant la compréhension des interactions entre les conditions physiques du milieu océanique et les indicateurs biologiques (cf paragraphe II-A) ont été **validés et publiés** dans la **revue de référence internationale** sur le sujet : **« GLOBAL CHANGE BIOLOGY ».**

L'article intitulé « Detecting the impact of oceano-climatic changes on marine ecosystems using a multivariate index : the case of the Bay of Biscay (North Atlantic-European Ocean) » **a paru dans l'édition 2007 de la revue** (Annexe VI b).

De même, l'étude pluridisciplinaire de grande ampleur menée par l'ERMMA sur les données collectées au moment de la marée noire du Prestige (ERMMA, CEDRE, DIREN Aquitaine, principaux centres de soins (UMSOM, Hégalaldia)…) et sur l'impact de la marée noire en Aquitaine a été **validée et publiée dans la revue internationale : « ARDEOLA ».**
L'article intitulé « Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil arrival: lesson from the "prestige" oilspill in Aquitaine (France)» **a paru dans l'édition 2007 de la revue** (Annexe VI c).

Enfin, l'article intitulé « La pollution du milieu marin : vers une écologie de la perturbation » a été publié dans la **revue nationale « Le Courrier de la Nature »** (**n° 220, mai 2005**, Annexe VI a).
Cet article présente une nouvelle notion : « **L'écologie de la perturbation** » qui développe l'approche de l'écologie classique en intégrant les interactions entre les variations climatiques et les perturbations d'origine anthropique. Cet élément est l'aspect central du programme ERMMA : mesurer, comprendre et discriminer la part des influences naturelles et anthropiques dans l'évolution des milieux marins aquitains.

D'autres articles sont en cours de préparation et seront prochainement soumis pour validation et publication dans des revues appropriées. C'est par exemple le cas d'un article croisant les données de pêche, des échouages de cétacés et de l'abondance de ces espèces en mer (cf paragraphe II-B). Cette étude vise à apporter des éléments d'explication des principales causes de l'évolution des échouages de cétacés (abondance en mer accrue ou augmentation de la mortalité).

CONCLUSION

Le programme régional ERMMA (*Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains*) présente une force unique de par l'antériorité de données standardisées acquises depuis plus de 30 ans qu'il fédère sur différents maillons des écosystèmes marins (invertébrés, vertébrés) et de par la **coopération de multiples organismes** et associations techniques et de recherches. L'ERMMA bénéficie ainsi de l'expérience scientifique et technique des différentes équipes.
La **mise en synergie** et le développement de ces suivis et travaux menés jusqu'à lors de manière indépendante dans le domaine de la connaissance et de la gestion durable des milieux marins prend effet sous forme de la métabase de données sur les milieux marins aquitains.
Cette métabase de données pluridisciplinaires prend en compte actuellement les principaux maillons des chaînes alimentaires (planctons, benthos, poissons, cétacés, oiseaux marins) et compte **3 468 511 enregistrements** de données biologiques brutes. L'importance de ces données pluridisciplinaires s'étendra encore au cours des mois à venir au fur et à mesure de l'actualisation des données de terrain et du **développement de stations de suivis**. Cette démarche permet le suivi pérenne des phénomènes agissant sur **l'évolution des milieux marins** et de leurs populations avec des indicateurs biologiques permettant de mettre en évidence les fonctionnements et dysfonctionnements des ces écosystèmes.

Simultanément, se développent des **recherches et études appliquées** visant à mettre en évidence les phénomènes océano-climatiques et anthropiques (pêcheries, pollutions par hydrocarbures par ex.) agissant sur l'évolution des milieux aquatiques et de leurs populations.

L' ERMMA montre également sa réactivité face à de nouvelles problématiques de l'actualité en jouant son rôle de **veille écologique** en alertant les autorités concernées et en élaborant des **actions de mesures d'impact et de gestion** . C'est le cas par exemple de l'impact d'une pollution (par exemple l'étude sur les conséquences du Prestige) ou encore en prévenant les collectivités de l'accroissement des nuisances prévisibles liées à l'expansion démographique des Goélands leucophées dans le sud de l'Aquitaine à partir de l'Espagne (par la mise en place de mesures de connaissance et de gestion).

Ces études permettent d'avoir des **informations fiables et objectives**, indispensables pour établir des documents techniques en vue de l'application des textes nationaux et communautaires sur la gestion des espèces, des milieux et de l'eau.

Les résultats de ces travaux sont régulièrement présentés au public. Cette **diffusion de l'information** se développera encore au cours des prochains mois en particulier en connexion avec l'Observatoire de la Côte Aquitaine.

L'ERMMA permet ainsi de réunir des intervenants réalisant des études et recherches et des responsables de collectivités qui ont des besoins d'**évaluations**, d'**expertises** et de **conseils**.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE I :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2005

Au cours de l'année 2005, six étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE I a :

Extraits de l'étude sur les **indicateurs biologiques et les programmes de suivis utilisés pour évaluer la qualité de l'environnement marin en région Aquitaine**.
Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Marie LEBELY de l'Université anglaise de Bournemouth (Master of Coastal Zone Management, Bournemouth University, UK)

ANNEXE I b :

Extraits de l'étude sur l'**inventaire écologique sur le *benthos marin*** dans le secteur de référence de Guéthary.
Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Samuel SAEZ et Simon CLAVIER de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque)

ANNEXE I c :

Extraits de **l'étude sur les pêches à la senne de plage à Socoa** (recensement et suivi spécifique des espèces de 2001 à 2005).
Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Anne-Francine LATRACE de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (Licence, Biologie des organismes, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE I d :

Etude sur les **instruments juridiques de protection du patrimoine naturel littoral et marin sur la côte aquitaine** .
Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Sophie LENCLUD de l'Université Paris XI - Faculté de Droit Jean Monnet (Master II Professionnel Droit du Patrimoine Culturel et Naturel)

ANNEXE I e :

Extraits de l'étude sur la **gestion de crise du Prestige** avec retour d'expérience dans les Pyrénées Atlantiques.
Travail mené en 2004 au sein de l'ERMMA par Delphine BRUNIE de l'université de Corse (DESS Ecosystèmes Méditerranéens Littoraux, Facultés des Sciences et Techniques).

ANNEXE II :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2006

Au cours de l'année 2006, quatorze étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE II a :

Etude sur la **mise en place de la Métabase de données de l'ERMMA** .
Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Josselin ROUILLARD et Etienne DUPUCH de l'UFR Sciences et Techniques Côte Basque (Licence de l'IUP LAOSI (Logistique, Activités Opérationnelles et Systèmes d'Information) de l'UFR d'Anglet).

ANNEXE II b :

Etude sur le **Suivi de l'invasion sur la Côte Basque par le Goéland leucophée (*Larus michahellis)* et son impact sur la diminution de l' Océanite tempête (*Hydrobates pelagicus)* à Biarritz** .

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Anne Francine LATRACE et Alexandra MASSE de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE II c :

Etude **de la macrofaune benthique sur l'estran rocheux de Guéthary : suivi et analyse comparative**.
Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Jeanne GAUTIER et Erwan PERU de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE II d :

Inventaire de biocénoses benthiques de l'estran rocheux basque entre Biarritz et Urrugne.
Travail mené en 2006 en collaboration avec l'ERMMA par Hugues CASABONNET en Stage au Conseil Général des Pyrénées Atlantiques.

ANNEXE II e :

Etude sur les **possibilités d'exploitation des données d'observations de cétacés acquises sur les ferry effectuant la traversé Bilbao – Portsmouth**.
Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Florian BARBE-BARRAILH, Béatrice DARDE, Piero ROUGET (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE II f :

Etude sur le **suivi des populations de goélands sur le littoral de Biarritz en période hivernale**.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Sabine AMANDIEU, Nicolas AMIEL, Lise CHAMBRIN, Mathieu LE GAC, Emilie SALLES (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE III :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2007

Au cours de l'année 2007, huit étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE III a :

Etude de la macrofaune benthique sur l'estran rocheux de Guéthary : suivi et analyse comparative.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Michaël KAUFFMAN et Piero ROUGET de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE III b :

Etude sur le **suivi de l'invasion sur la Côte Basque par le Goéland leucophée (Larus michahellis) et son impact sur la diminution de l' Océanite tempête (Hydrobates pelagicus) à Biarritz** .

Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Léa GOUTAUDIER de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE III b :

Etude sur la **faune benthique de l'estuaire du courant d'Huchet : plan d'échantillonage et analyse de terrain**.

Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Yoann MUTONE de l'UPPA (Licence 3 professionnel « Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités », UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE III d :

Etude sur le **suivi de la population de Goéland leucophée (Larus michahellis) sur le littoral de Biarritz en période hivernale**.
Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Nina SUDRIE, Laurent GAILLARD, Jean-Benoît HANSMANN et Benjamin DIX de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

ANNEXE IV :

Exemple de communication dans la presse des actions de l'ERMMA et de ses partenaires (**L'écho des quais** n°26 2ème trimestre 2006). Dans cet exemple, la revu s'adresse en particulier aux professionnels de la pêche et cet article est l'occasion, entre autre, de présenter synthétiquement les résultats des travaux de l'ERMMA sur l'influence des changements océan oclimatiques sur l'évolution des peuplements marins aquitains.

ANNEXE V :

Exemple de communication en collaboration avec **l'Observatoire de la Côte Aquitaine**. (La lettre de l'OCA, 7 juillet 2007).

ANNEXE VI :

Exemples de **publications** effectuées par le programme ERMMA dans des **revues scientifiques** de références avec comités de lecture. Ces publications présentent les méthodologies et principaux résultats obtenus dans le cadre des objectifs généraux du programme.

ANNEXE VI a :

Article intitulé « La pollution du milieu marin : vers une écologie de la perturbation » publié dans la revue nationale « Le Courrier de la Nature » (n° 220, mai 2005). Cette article présente une nouvelle notion : « L'écologie de la perturbation ». Cet aspect est l'aspect central de l'ERMMA : mesurer, comprendre et discriminer la part des influences naturelles et anthropiques dans l'évolution des milieux marins aquitains.

ANNEXE VI b :

Article intitulé « Detecting the impact of oceano-climatic changes on marine ecosystems using a multivariate index : the case of the Bay of Biscay (North Atlantic-European Ocean)» publié dans la **revue de référence internationale** « **GLOBAL CHANGE BIOLOGY** » (2007). Cette article présente les résultats et méthodologies permettant la compréhension des interactions entre les conditions physiques du milieu océanique et les indicateurs biologiques**.**

ANNEXE VI c :

Article intitulé « Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil arrival: lesson from the "prestige" oilspill in Aquitaine (France)» publié dans la **revue internationale** « **ARDEOLA** » (2007). Cette article présente l'étude pluridisciplinaire de grande ampleur menée par l'ERMMA sur les données collectées au moment de la marée noire du Prestige (ERMMA, CEDRE, DIREN Aquitaine, principaux centres de soins (UMSOM, Hégalaldia)…) et sur **l'impact de la marée noire en Aquitaine**.

ANNEXE I :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2005

Au cours de l'année 2005, six étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE I a :

Extraits de l'étude sur les **indicateurs biologiques et les programmes de suivis utilisés pour évaluer la qualité de l'environnement marin en région Aquitaine**.

Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Marie LEBELY de l'Université anglaise de Bournemouth (Master of Coastal Zone Management, Bournemouth University, UK)

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ANNEXE I b :

Extraits de l'étude sur l'**inventaire écologique sur le *benthos marin*** dans le secteur de référence de Guéthary.

Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Samuel SAEZ et Simon CLAVIER de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque)

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ANNEXE I c :

Extraits de **l'étude sur les pêches à la senne de plage à Socoa** (recensement et suivi spécifique des espèces de 2001 à 2005).

Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Anne-Francine LATRACE de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (Licence, Biologie des organismes, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

UFR SCIENCES & TECHNIQUES COTE BASQUE
Université de Pau et des Pays de l' Adour

Licence de Biologie des Organismes

LES PECHES A LA SENNE DE PLAGE A SOCOA : RECENSEMENT ET SUIVI SPECIFIQUE DES ESPECES DE 2001 A 2005

LATRACE Anne-Francine
Stage effectué de 21 Mars au 20 Mai 2005 au
Centre de la Mer Côte basque - Musée de La Mer
Plateau de l'Atalaye 64200 Biarritz
Sous la direction scientifique de Mr Laurent SOULIER

L'interprétation des données est réalisée dans le cadre de l'OMMA avec le soutien du Conseil Général des Landes.

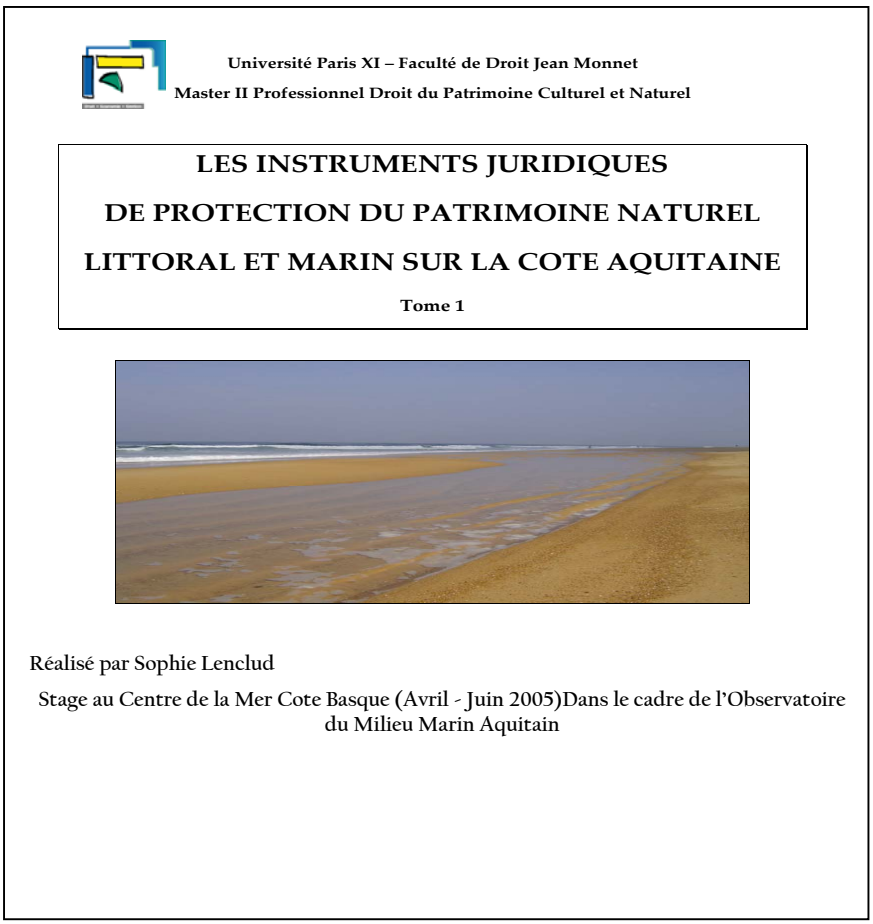
« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l 'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil »

ANNEXE I d :

Etude sur les **instruments juridiques de protection du patrimoine naturel littoral et marin sur la côte aquitaine** .

Travail mené en 2005 au sein de l'ERMMA par Sophie LENCLUD de l'Université Paris XI - Faculté de Droit Jean Monnet (Master II Professionnel Droit du Patrimoine Culturel et Naturel)

Etude disponible en intégralité et sur CD - R



Université Paris XI – Faculté de Droit Jean Monnet
Master II Professionnel Droit du Patrimoine Culturel et Naturel

LES INSTRUMENTS JURIDIQUES
DE PROTECTION DU PATRIMOINE NATUREL
LITTORAL ET MARIN SUR LA COTE AQUITAINE
Tome 1

Réalisé par Sophie Lenclud

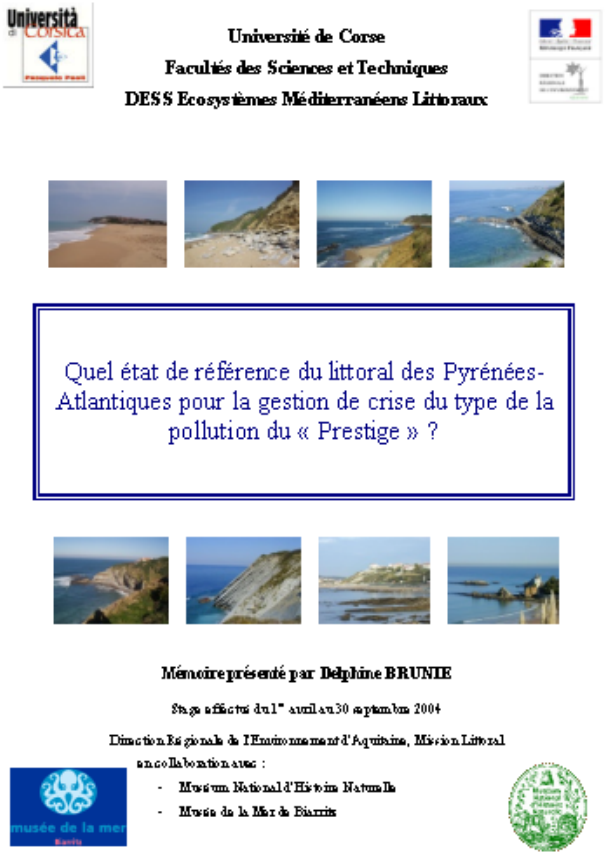
Stage au Centre de la Mer Cote Basque (Avril - Juin 2005)Dans le cadre de l'Observatoire du Milieu Marin Aquitain

ANNEXE I e :

Extraits de l'étude sur la **gestion de crise du Prestige** avec retour d'expérience dans les Pyrénées Atlantiques.

Travail mené en 2004 au sein de l'ERMMA par Delphine BRUNIE de l'université de Corse (DESS Ecosystèmes Méditerranéens Littoraux, Facultés des Sciences et Techniques).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R



Université de Corse
Faculté des Sciences et Techniques
DESS Ecosystèmes Méditerranéens Littoraux

Quel état de référence du littoral des Pyrénées-Atlantiques pour la gestion de crise du type de la pollution du « Prestige » ?

Mémoire présenté par Delphine BRUNIE

Stage effectué du 1er avril au 30 septembre 2004

Direction Régionale de l'Environnement d'Aquitaine, Mission Littoral
en collaboration avec :
- Muséum National d'Histoire Naturelle
- Musée de la Mer de Biarritz

ANNEXE II :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2006

Au cours de l'année 2006, quatorze étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE II a :

Etude sur la **mise en place de la Métabase de données de l'ERMMA** .

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Josselin ROUILLARD et Etienne DUPUCH de l'UFR Sciences et Techniques Côte Basque (Licence de l'IUP LAOSI (Logistique, Activités Opérationnelles et Systèmes d'Information) de l'UFR d'Anglet).

Etudes disponible en intégralité et sur CD - R

ROUILLARD Josselin

Licence LAOSI

Soutenance le Lundi 27 Juin 2006

MISE EN PLACE D'UNE METABASE DE DONNEES

ERMMA

Rapport de Stage

Partie 1 : **Elaboration d'une métabase avec 5 bases hétérogènes**

Année 2005-2006

Maître de Stage : CASTEGE Iker
HEMERY Georges
Tuteur de stage : MINGAM Frédéric

UFR Sciences et Techniques Côte Basque

Mise en place d'une métabase de données.

Partie II : Consultation d'une métabase à partir d'un site Internet

ERMMA

Rapport de stage

Présenté et soutenu par DUPUCH Etienne

Maîtres de stage : M. Castège et M. Hémery
Tuteur de stage : M. Mingam

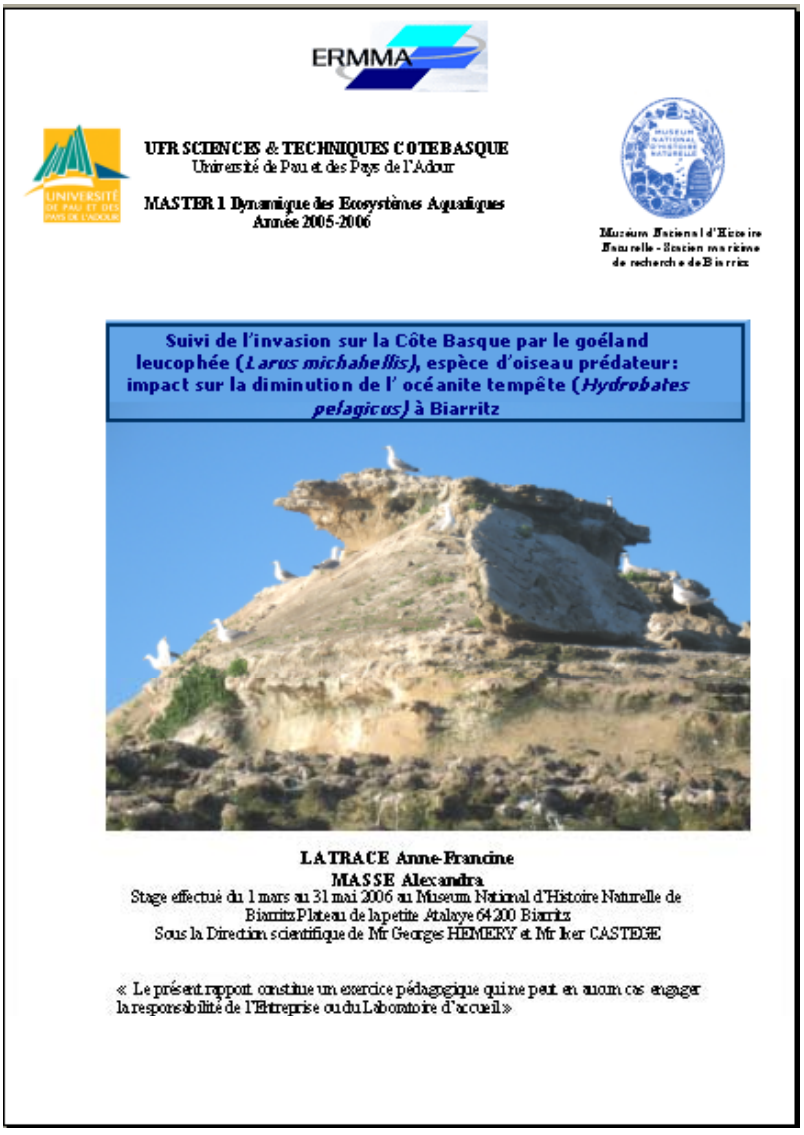
Année universitaire 2005-2006

ANNEXE II b :

Etude sur le **suivi de l'invasion sur la Côte Basque par le Goéland leucophée (Larus michahellis) et son impact sur la diminution de l' Océanite tempête (Hydrobates pelagicus) à Biarritz** .

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Anne Francine LATRACE et Alexandra MASSE de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R



ERMMA

UFR SCIENCES & TECHNIQUES COTE BASQUE
Université de Pau et des Pays de l'Adour

MASTER 1 Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques
Année 2005-2006

Muséum National d'Histoire Naturelle - Station maritime de recherche de Biarritz

Suivi de l'invasion sur la Côte Basque par le goéland leucophée (*Larus michahellis*), espèce d'oiseau prédateur: impact sur la diminution de l' océanite tempête (*Hydrobates pelagicus*) à Biarritz

LATRACE Anne-Francine
MASSE Alexandra
Stage effectué du 1 mars au 31 mai 2006 au Muséum National d'Histoire Naturelle de Biarritz Plateau de la petite Atalaye 64200 Biarritz
Sous la Direction scientifique de Mr Georges HEMERY et Mr Iker CASTEGE

« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil »

ANNEXE II c :

Etude de la macrofaune benthique sur l'estran rocheux de Guéthary : suivi et analyse comparative.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Jeanne GAUTIER et Erwan PERU de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ERMMA

UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
UFR Sciences et Techniques de la Côte Basque

Guéthary

musée de la mer
Biarritz

ETUDE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE SUR L'ESTRAN ROCHEUX DE GUETHARY : SUIVI ET ANALYSE COMPARATIVE

Master 1 Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques
Stage effectué du 1er mars au 31 mai 2006
Sous la direction scientifique de Mme Françoise Pautrizel

« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil ».

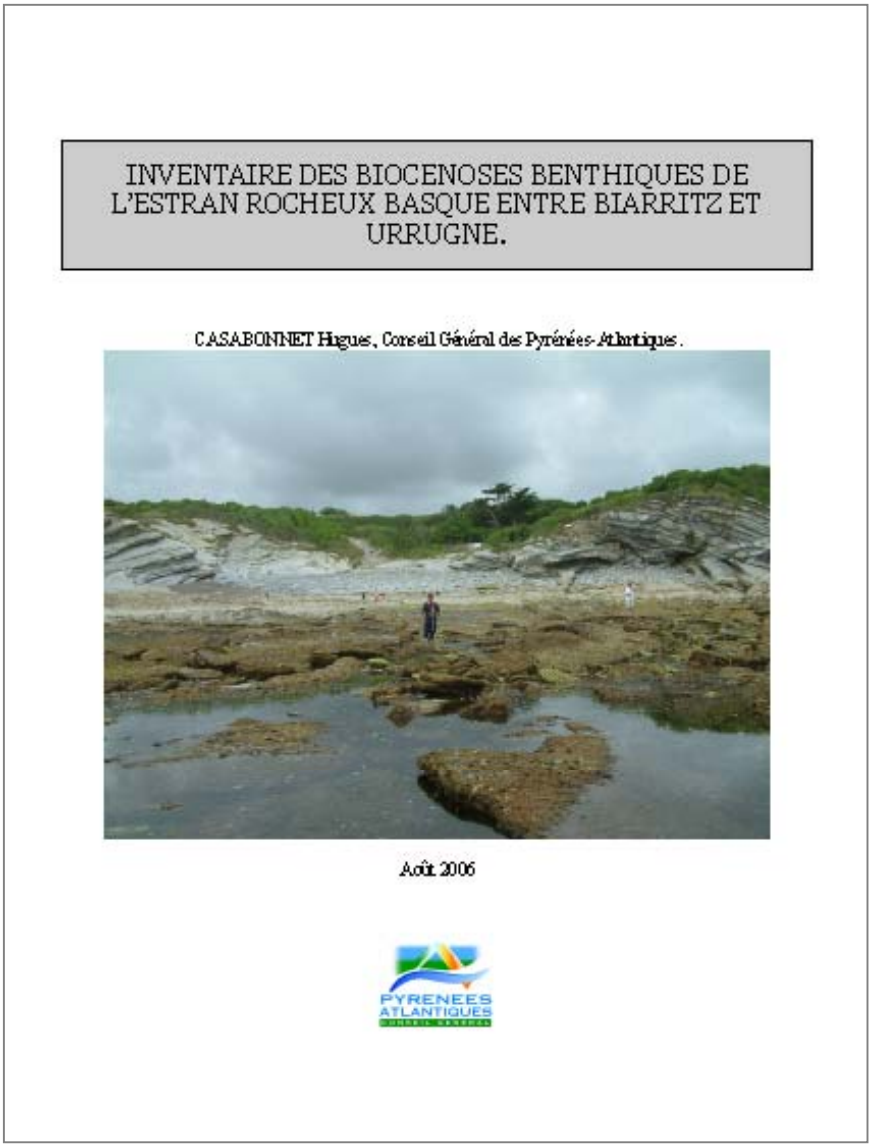
Année universitaire 2005-2006 GAUTIER Jeanne et PERU Erwan

ANNEXE II d :

Inventaire de biocénoses benthiques de l'estran rocheux basque entre Biarritz et Urrugne.

Travail mené en 2006 en collaboration avec l'ERMMA par Hugues CASABONNET en Stage au Conseil Général des Pyrénées Atlantiques.

Etude disponible en intégralité et sur CD - R



INVENTAIRE DES BIOCENOSES BENTHIQUES DE L'ESTRAN ROCHEUX BASQUE ENTRE BIARRITZ ET URRUGNE.

CASABONNET Hugues, Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques.

ANNEXE II e :

Etude sur les possibilités d'exploitation des données d'observations de cétacés acquises sur les ferry effectuant la traversé Bilbao – Portsmouth.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Florian BARBE-BARRAILH, Béatrice DARDE, Piero ROUGET (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ANNEXE II f :

Etude sur le **suivi des populations de goélands sur le littoral de Biarritz en période hivernale**.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Sabine AMANDIEU, Nicolas AMIEL, Lise CHAMBRIN, Mathieu LE GAC, Emilie SALLES (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ERMMA

Suivi de la population de Goéland leucophée (Larus michaellis) sur le littoral de Biarritz

Sabine Amadieu,
Nicolas Amiel
Lise Chambrin,
Mathieu Le Gac
Emilie Salles

Master 1 DYNEA, Promotion 2006-07
Université de Pau et des Pays de l'Adour

ANNEXE III :

Etudiants stagiaires ayant collaboré aux travaux de l'ERMMA en 2007

Au cours de l'année 2007, huit étudiants universitaires ont été encadrés et ont participé aux travaux de l'ERMMA

ANNEXE III a :

Etude de la macrofaune benthique sur l'estran rocheux de Guéthary : suivi et analyse comparative.

Travail mené en 2006 au sein de l'ERMMA par Michaël KAUFFMAN et Piero ROUGET de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

UFR Sciences & Techniques Cote Basque
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Master 1 Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques
Année 2006-2007

ETUDE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE SUR L'ESTRAN ROCHEUX DE GUETHARY : SUIVI ET ANALYSE COMPARATIVE

Kauffmann Mickaël et Rouget Piero

Stage effectué du 01er mars au 31 mai 2007 au
Musée de la Mer
Sous la direction scientifique de Mme Françoise Pautrizel

« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil ».

ANNEXE III b :

Etude sur le **suivi de l'invasion sur la Côte Basque par le Goéland leucophée (Larus michahellis) et son impact sur la diminution de l' Océanite tempête (Hydrobates pelagicus) à Biarritz** .

Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Léa GOUTAUDIER de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

UFR SCIENCES & TECHNIQUES COTE BASQUE
Université de Pau et des Pays de l 'Adour

MASTER 1 Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques
Année 2006-2007

Muséum National d'Histoire Naturelle - Station maritime de recherche de Biarritz

Suivi de l'invasion des Goélands leucophées (*Larus michahellis*) sur la Côte Basque : impact sur la diminution de l'Océanite tempête (*Hydrobates pelagicus*).

GOUTAUDIER Léa

Stage effectué du 1er mars au 31 mai 2007 au Muséum National d'Histoire Naturelle de Biarritz, plateau de la petite Atalaye, 64200 BIARRITZ
Sous la direction scientifique de Mr Georges HEMERY et de Mr Iker CASTEGE.

« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du laboratoire d'accueil »

ANNEXE III b :

Etude sur la **faune benthique de l'estuaire du courant d'Huchet : plan d'échantillonage et analyse de terrain**.

Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Yoann MUTONE de l'UPPA (Licence 3 professionnel « Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités », UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ANNEXE III d :

Etude sur le **suivi de la population de Goéland leucophée (Larus michahellis) sur le littoral de Biarritz en période hivernale**.

Travail mené en 2007 au sein de l'ERMMA par Nina SUDRIE, Laurent GAILLARD, Jean-Benoît HANSMANN et Benjamin DIX de l'UPPA (Master 1, Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque).

Etude disponible en intégralité et sur CD - R

ERMMA

Suivi de la population de Goélands leucophées (*Larus michaellis*) sur le littoral de Biarritz

SUDRIE Nina
GAILLARD Laurent
HANSMANN Jean-Benoît
DIX Benjamin

Master 1 DYNEA, Promotion 2007-08
Université de Pau et des Pays de l'Adour

ANNEXE IV :

Exemple de communication dans la presse des actions de l'ERMMA et de ses partenaires (**L'écho des quais** n°26 2ème trimestre 2006). Dans cet exemple, la revu s'adresse en particulier aux professionnels de la pêche et cet article est l'occasion, entre autre, de présenter synthétiquement les résultats des travaux de l'ERMMA sur l'influence des changements océano climatiques sur l'évolution des peuplements marins aquitains.

■ Le Centre de la Mer côte basque

Le Centre de la Mer côte basque est une association créée en juillet 2003 basée au Musée de la Mer de Biarritz, dont les missions sont la sensibilisation et l'éducation à l'environnement aquatique pour les scolaires ainsi que le grand public, et le développement de projets scientifiques et techniques sur les milieux aquatiques.

Pour les scolaires, le Centre de la Mer propose des visites thématiques dans l'enceinte du Musée de la Mer de Biarritz, des sorties marées sur le platier du Basta et des visites à la criée de Saint-Jean-de-Luz - Ciboure. Pour le grand public, il a amorcé conjointement avec le Musée de la Mer de Biarritz, le Muséum d'Histoire Naturelle de Bayonne, le CPIE Pays Basque, Les Amis d'Abbadia et Itsas Begia, l'organisation d'une manifestation annuelle basée sur des expositions, des animations, des conférences et des films documentaires.

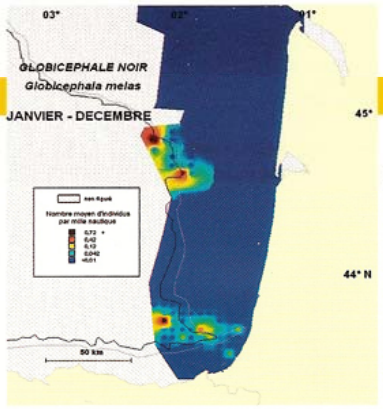
© Photo : Centre de la Mer côte basque

Animation au Musée de la Mer de Biarritz.

Depuis 2004, le Centre de la Mer est chef de file d'un projet européen avec pour partenaire la Fundacion Oceanografica de Guipuzcoa, visant à promouvoir une éducation environnementale trilingue (Français, Espagnol, Basque) sur le domaine maritime.

En parallèle de ces actions le Centre de la Mer participe au Programme Régional Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains (ERMMA). Ce programme à l'initiative de la Station Maritime du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), vise à regrouper plusieurs institutions. Cette démarche comporte 8 partenaires principaux : le MNHN, Météo France, l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, le Centre de la Mer côte basque, l'Institut des Milieux Aquatiques (IMA), le Laboratoire d'Analyse de Prélèvements Hydrobiologiques (LAPHY), les Douanes Françaises et les Affaires Maritimes. Ce programme a été soutenu financièrement en premier lieu par le Conseil Général des Landes, rejoint en 2005 par le Conseil Régional d'Aquitaine et le SGAR d'Aquitaine.

L'objectif de l'ERMMA est de développer des études sur les milieux marins et de mettre en synergie des travaux menés auparavant de manière indépendante avec comme but la mise en place d'une métabase de données géoréférencées sur les milieux marins aquitains.



Répartition du Globicéphale noir dans le sud du Golfe de Gascogne (Janvier-Décembre) dans le cadre du suivi des populations effectué grâce à la coopération des Douanes Françaises et des Affaires Maritimes.

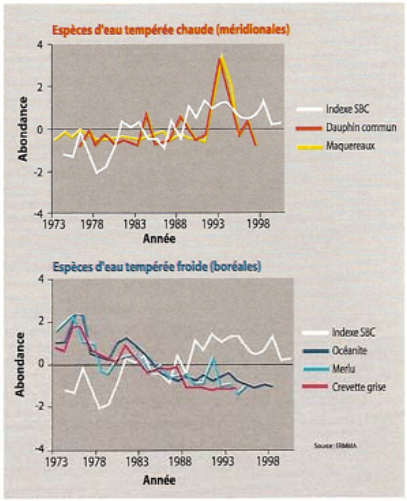
Une étude pluridisciplinaire sur l'évaluation de l'impact du *Prestige*, notamment sur les oiseaux marins a été réalisée en 2004-2005. Il apparaît que les échouages d'oiseaux sont fortement corrélés avec les conditions de vent venant du large, alors que les arrivées de pétrole sont corrélées avec un décalage de 8 jours, ce qui veut dire que les oiseaux marins peuvent être considérés comme indicateurs de l'arrivée prochaine de pollution par hydrocarbure. La combinaison de modèle de dérive inverse et de la méthode capture/recapture des corps relâchés a permis d'estimer une mortalité totale 11 fois plus importante que celle des oiseaux réellement retrouvés sur les plages.

Par ailleurs, le suivi des populations en mer, réalisé depuis 27 ans sur différentes populations marines a permis de différencier plusieurs zones sensibles au large de l'Aquitaine, en particulier le nord du gouf de Capbreton et la zone du canyon du Cap Ferret.

Une approche globale du milieu marin a été engagée consistant à prendre en compte les caractéristiques physiques de l'atmosphère et de l'océan mesurées par un index (SBC), ainsi que les données d'évolution de populations de poissons, d'invertébrés et de prédateurs supérieurs. Les premiers résultats montrent que les conditions environnementales jouent un rôle majeur dans l'évolution des populations de poissons, de crustacés ou d'oiseaux, et cela indépendamment des facteurs anthropiques directs (pêche, pollution). Une collaboration avec l'IMA est en cours qui vise à déterminer l'influence des facteurs environnementaux sur des stocks d'espèces commerciales.

Le Centre de la Mer est maintenant fortement imbriqué dans le tissu éducatif et scientifique local et régional, et souhaite continuer son implication sur le milieu marin avec l'aide de partenaires associatifs, institutionnels ou professionnels.

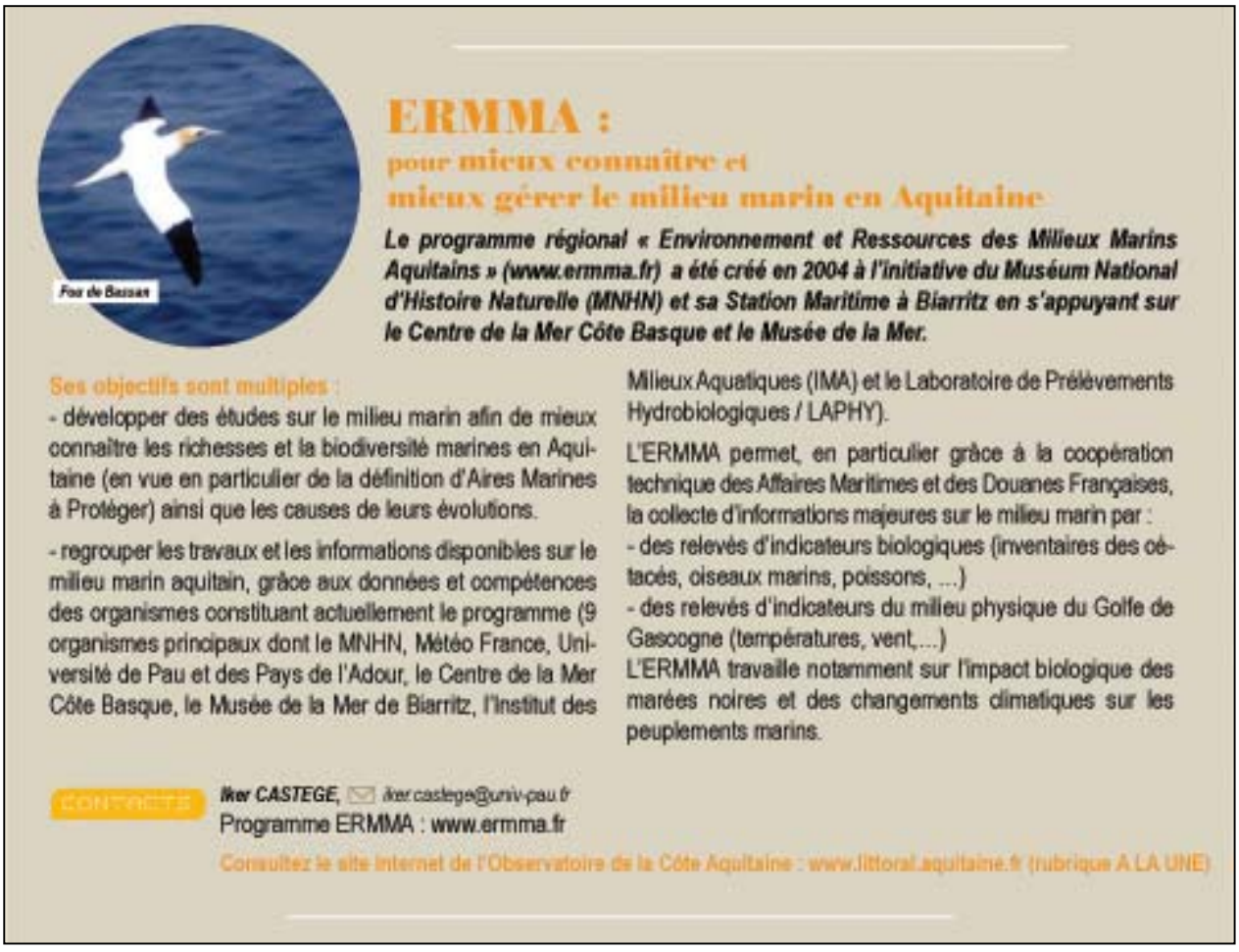
Informations : Centre de la Mer côte basque
Musée de la Mer de Biarritz - Plateau de l'Atalaye
BP 89 - 64202 Biarritz cedex - www.centredelamer.fr
Contact : Iker Castège - Courriel : iker.castege@univ-pau.fr



Évolution de l'index SBC. Les valeurs négatives correspondent aux années où précipitations importantes et mer forte ont prédominé particulièrement en hiver. Les valeurs positives indiquent la prédominance au cours de l'année d'une pression supérieure à la normale, d'une température atmosphérique élevée, d'une forte insolation et d'une mer calme (anticyclone).
De 1974 à 1995 environ, on assiste à une forte croissance significative ce qui traduit des situations de type anticyclonique. De 1995 à 2000 la situation s'inverse pour amorcer un retour vers des situations à caractères dépressionnaires plus marqués.
De fortes corrélations s'observent entre l'évolution des populations animales et celle de l'index climatique SBC. Ainsi, les espèces liées aux eaux tempérées chaudes ont une tendance à la croissance de leurs populations durant la période 1977-1997, avec toutefois une inversion d'évolution durant les années récentes. En revanche, les espèces préférant les eaux tempérées froides tendent à se raréfier.

ANNEXE V :

Exemple de communication en collaboration avec **l'Observatoire de la Côte Aquitaine**. (La lettre de l'OCA, 7 juillet 2007).



Fou de Bassan

ERMMA :

pour mieux connaître et mieux gérer le milieu marin en Aquitaine

Le programme régional « Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains » (www.ermma.fr) a été créé en 2004 à l'initiative du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et sa Station Maritime à Biarritz en s'appuyant sur le Centre de la Mer Côte Basque et le Musée de la Mer.

Ses objectifs sont multiples :

- développer des études sur le milieu marin afin de mieux connaître les richesses et la biodiversité marines en Aquitaine (en vue en particulier de la définition d'Aires Marines à Protéger) ainsi que les causes de leurs évolutions.

- regrouper les travaux et les informations disponibles sur le milieu marin aquitain, grâce aux données et compétences des organismes constituant actuellement le programme (9 organismes principaux dont le MNHN, Météo France, Université de Pau et des Pays de l'Adour, le Centre de la Mer Côte Basque, le Musée de la Mer de Biarritz, l'Institut des Milieux Aquatiques (IMA) et le Laboratoire de Prélèvements Hydrobiologiques / LAPHY).

L'ERMMA permet, en particulier grâce à la coopération technique des Affaires Maritimes et des Douanes Françaises, la collecte d'informations majeures sur le milieu marin par :

- des relevés d'indicateurs biologiques (inventaires des cétacés, oiseaux marins, poissons, ...)
- des relevés d'indicateurs du milieu physique du Golfe de Gascogne (températures, vent,...)

L'ERMMA travaille notamment sur l'impact biologique des marées noires et des changements climatiques sur les peuplements marins.

CONTACTS : *Iker CASTEGE*, iker.castege@univ-pau.fr
Programme ERMMA : www.ermma.fr

Consultez le site internet de l'Observatoire de la Côte Aquitaine : www.littoral.aquitaine.fr (rubrique A LA UNE)

ANNEXE VI :

Exemples de publications effectuées par le programme ERMMA dans des revues scientifiques de références avec comités de lecture. Ces publications présentent les méthodologies et principaux résultats obtenus dans le cadre des objectifs généraux du programme.

ANNEXE VI a :

Article intitulé « La pollution du milieu marin : vers une écologie de la perturbation » publié dans la revue nationale « Le Courrier de la Nature » (n° 220, mai 2005). Cette article présente une nouvelle notion : « L'écologie de la perturbation ». Cet aspect est l'aspect central de l'ERMMA : mesurer, comprendre et discriminer la part des influences naturelles et anthropiques dans l'évolution des milieux marins aquitains.

La pollution du milieu marin : vers une «écologie de la perturbation»

Plage souillée par une marée noire. Photo Javier Larrea/AGE Fotostock-Hoaqui

Georges HÉMERY, Iker CASTÈGE,
Yann LALANNE, Jean d'ELBÉE, Frank d'AMICO,
Laurent SOULIER, Nicole ROUX,
Françoise PAUTRIZEL, Claude MOUCHÈS

Les marées noires apparaissent comme étant la principale menace pour les oiseaux de mer qui en sont les victimes emblématiques. Quelle est la nature d'une pollution marine, comment peut-on la mesurer ? Quels sont ses effets réels sur les oiseaux de mer et sur l'ensemble de l'écosystème marin, et comment se font-ils sentir au fil du temps ? Pour répondre à ces questions et distinguer le rôle des perturbations anthropiques et celui des changements physiques naturels, la création d'observatoires pluridisciplinaires des milieux marins s'impose.

Observatoire du Milieu Marin Aquitain, Biarritz,
georges.hemery@univ-pau.fr

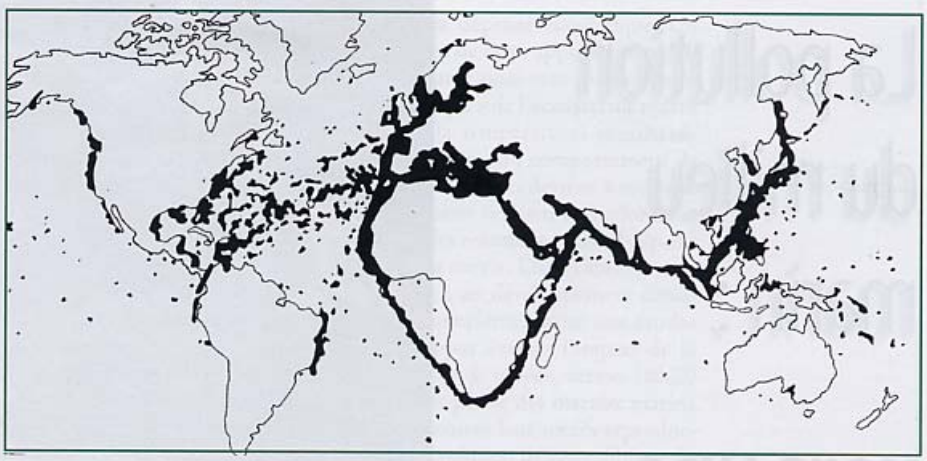
Les accidents pétroliers produisant des marées noires, sans oublier les pollutions chroniques simultanées, perdurent à l'échelle mondiale avec récemment rien qu'en Europe occidentale deux pollutions massives : l'*Erika* en 1999 dans le nord du golfe de Gascogne et le *Prestige* en 2002 qui a touché l'ensemble de la côte espagnole au sud du golfe et la côte de la région aquitaine.

Dans chaque cas les oiseaux marins retrouvés vivants ou morts à la côte sont les signes les plus visibles et souvent les premiers de l'atteinte du milieu marin. Chaque pollution possède ses propres caractéristiques : lieu, période du cycle annuel, durée, nature du pétrole, conditions météorologiques et océaniques, actions de l'homme pour « dépolluer »... Deux marées noires ne se ressemblent donc pas.

Le naturaliste et le gestionnaire de l'environnement sont amenés alors à résoudre plusieurs problèmes : d'abord, caractériser une pollution et son importance pour pouvoir suivre son évolution et ensuite, sur le plan biologique, apporter les connaissances de l'impact de ces accidents répétés sur l'ensemble des écosystèmes marins et littoraux à court, moyen et long termes.

Dans la pratique ces deux approches se confondent et s'enchevêtrent. Il en résulte des « avis » parfois divergents ce qui nuit à la compréhension et donc à la gestion rationnelle de

VERS UNE ECOLOGIE DE LA PERTURBATION



Distribution de la pollution de l'océan mondial par le pétrole. (D'après OCD, in Ramade F., Eléments d'Ecologie. Ecologie appliquée. Ediscience international, 5e ed., 1995, p. 286).

telles crises, et à long terme à la conservation de la biodiversité marine, dont les oiseaux de mer font partie intégrante.

Appréciation du niveau de pollution et de son impact sur l'environnement

Dans le cas de pollution marine par hydrocarbures, les « nappes » de mazout superficielles ou proches de la surface de l'eau apparaissent visuellement à l'homme à partir de navires, d'avions ou à l'aide de satellites. L'importance de la pollution se mesure alors par la superficie qu'elle couvre et sa nature (plaques, galettes, boulettes, émulsions [9]). Simultanément des mesures et observations sont effectuées selon trois niveaux hiérarchisés.

Dans un premier temps, le Réseau national d'observation mesure les concentrations de polluants dans l'eau de mer et les sédiments. Ces concentrations restent souvent très faibles et difficilement mesurables. L'utilisation de mollusques lamellibranches (huître, moule principalement) qui filtrent chacun suivant leur taille jusqu'à cinq litres d'eau par heure, constitue une méthode alternative simple et largement utilisée de par le monde. En intégrant quasi instantanément les polluants, ces chimio-indicateurs d'une substance quelconque dans l'eau à un « instant donné » ne sont pas pour autant des bio-indicateurs de l'état de santé *in situ* des communautés marines.

Le deuxième niveau d'étude de l'impact d'une pollution consiste à mesurer en laboratoire des paramètres physiologiques sur des individus végétaux ou animaux soumis à des doses variables (y compris létales) de polluants. Cette « physiotoxicologie » fournit des indications sur le niveau de toxicité des polluants et sur la nature et les mécanismes biochimiques et physiologiques développés par le végétal ou l'animal soumis à l'expérience.

Enfin, l'étude de la dynamique des populations et de l'évolution des écosystèmes constitue une troisième étape d'observations. L'impact d'une pollution sur les écosystèmes marins se mesure dans la nature par l'abondance des espèces, la richesse spécifique, la diversité, la biomasse, la complexité des réseaux trophiques etc. des peuplements végétaux et animaux qui composent les chaînes alimentaires à tous les échelons. Il s'agit des peuplements benthiques (algues productrices et invertébrés fixés), des algues et des invertébrés planctoniques, des poissons, des oiseaux et mammifères marins et bien sûr des indispensables décomposeurs (bactéries) recyclant la matière.

Photo Marevision/AGE Fotostock

Les difficultés de terrain augmentent alors considérablement car on ne maîtrise pas la totalité d'un écosystème naturel. Une méthode efficace consiste donc

Photo Mick Anich/ AGE Fotostock-Hoaqui

Huitre* (Ostrea edulis, *ci-dessus*) *et moules* (Mytilus mytilus, *ci-contre*) *sont de remarquables filtreurs et de précieux indicateurs de l'état écologique du milieu marin.

L'action du pétrole brut et de ses diverses composantes non volatiles sur les oiseaux de mer.

Lorsqu'un oiseau se pose sur la surface ou plonge dans l'eau, dont la température en hiver est souvent inférieure à 5°C (dans le cas de l'Atlantique nord), il est protégé du contact avec l'eau de mer par une couche d'air couvrant la peau et un film lipidique qui imprègne son plumage. L'imperméabilité du plumage est assurée d'abord par la structure physique de chaque plume de couverture (arrangement et accrochage des barbes et barbules de chaque tectrice) qui la rend hydrofuge du fait de la tension superficielle. Ensuite l' agencement des tectrices entre elles forme un ensemble « étanche ».

La couche d'air emmagasiné entre le plumage extérieur des tectrices et le duvet interne couvrant la peau de l'oiseau joue alors le rôle d'isolant thermique entre l'animal et l'eau froide. Mais elle lui permet surtout de flotter sans effort à la surface de la mer, chose impossible pour les oiseaux terrestres au plumage différent.

Pour plonger l'oiseau contracte son plumage chassant ainsi cette couche d'air, comme un submersible qui vide ses balasts, ce qui permet de descendre avec les pattes ou les ailes jusqu'à 60 mètres de profondeur pour s'alimenter. La couche d'air est reconstituée une fois l'oiseau remonté à la surface de la mer. Les sécrétions de la glande uropygienne, dont des lipides, sont un des éléments qui interviennent indirectement par leur rôle de protection des plumes en limitant le développement des champignons et des bactéries qui détruisent les barbes et barbules à la base de l'imperméabilité du plumage. Par ailleurs ces sécrétions sont souvent riches en provitamine A qui se transforme en vitamine A sous l'effet du soleil une fois étalée sur les plumes ; ce qui semblerait bénéfique sur le plan physiologique pour l'oiseau.*

Une atteinte par le mazout, même minime, empêche l'agencement hydrofuge entre les barbes et barbules ainsi que celui des plumes entre elles, ce qui perfore le plumage de protection. Cela fait couler l'oiseau comme le fait un seul trou dans la coque d'un navire. Les oiseaux mazoutés ont alors le « réflexe » de retourner à terre pour éviter la noyade. Le refroidissement simultané du corps aggrave fortement l'état physiologique de l'individu.

Mais une fois à terre les oiseaux mazoutés continuent à s'exposer à la contamination ; ils essayent d'éliminer le pétrole avec leur bec, geste fatal qui les conduit à l'intoxication suivie de lésions hépatiques et surtout d'un stress endocrinien. Enfin, lorsqu'une marée noire survient au printemps, au moment de la reproduction des oiseaux, ceux-ci, même s'ils survivent à une marée noire, souillent par des hydrocarbures la coquille des œufs qu'ils couvent. Il a été ainsi montré que seulement 20 µg de fioul lourd n° 2 (le type de dérivé pétrolier que transportait l'Erika) déposés sur la coquille d'œuf d'eider (Somateria mollissima) *suffisent pour tuer l'embryon [5].*

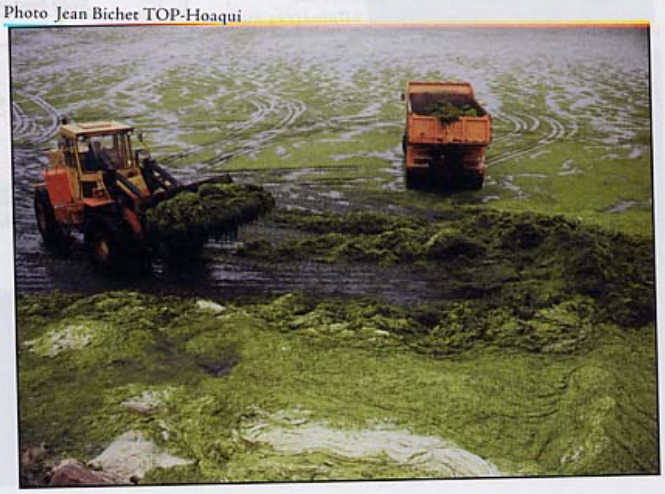
** Les expériences de mesure de la tension superficielle montrent des qualités identiques entre plumes naturelles et plumes nettoyées de ses lipides au chloroforme à partir du moment où les barbules et barbes n'ont pas été altérées. Ce principe a été étudié dans les années 1950 par les industries textiles pour faire des vêtements imperméables.*

Photo Javier Larrea/ AGE Fotostock-Hoaqui

Accumulation de mazout sur une plage lors d'une marée noire.

Pollution d'une plage en Bretagne par des algues vertes du genre Ulva.

Photo Jean Bichet TOP-Hoaqui



à mesurer l'abondance et la répartition spatiale des prédateurs de niveaux trophiques supérieurs (poissons pélagiques, oiseaux, cétacés) qui rendent compte de l'ensemble des chaînes alimentaires et de la complexité des réseaux alimentaires d'une zone. La mobilité de ces animaux garantit un ajustement géographique rapide de l'abondance de leur population aux ressources trophiques en plancton, invertébrés benthiques, poissons.

Dans le cas de l'*Erika*, en Loire-Atlantique, les peuplements benthiques de végétaux et d'animaux invertébrés ont été affectés comme le montre le cas du site de Piriac-sur-mer. Les oursins (*Paracentropus lividus* et *Psammechinus miliaris*) ainsi que d'autres invertébrés herbivores tels que la littorine (*Littorina littorea*) et les gibbules (*Gibula umbilicalis* et *pennantii*)

VERS UNE ECOLOGIE DE LA PERTURBATION

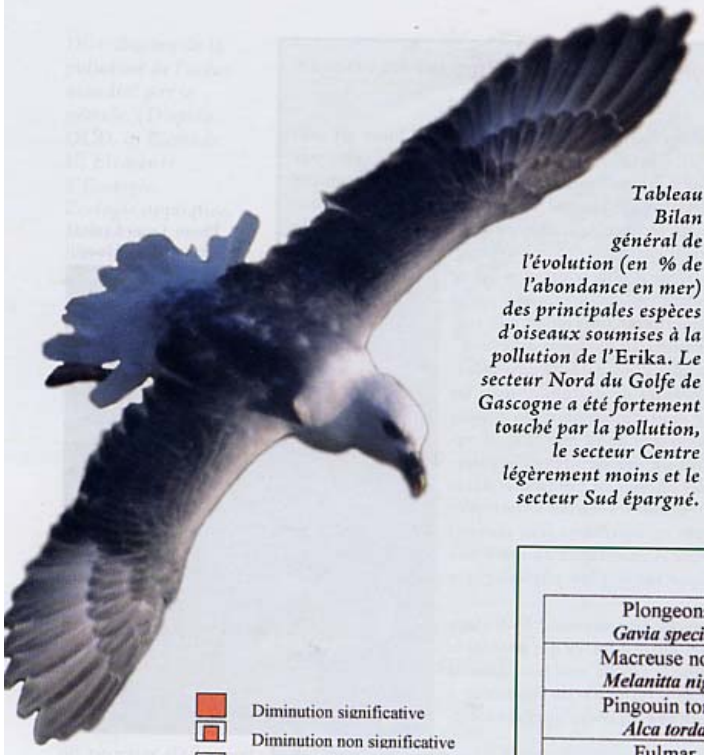


figure 1 :
Changement significatif de répartition du guillemot de Troïl dans le sud de la Bretagne. La principale zone d'hivernage habituelle au large de la Baie de la Vilaine, fortement touchée par la pollution de l'Erika, s'est déplacée d'une cinquantaine de kilomètres au large de Belle Ile.

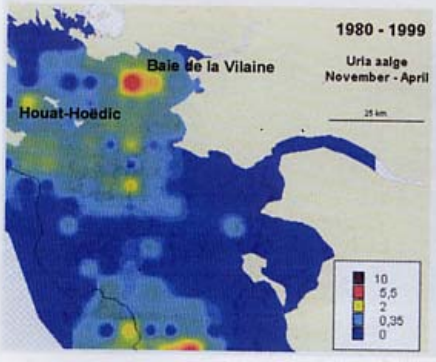
Tableau Bilan général de l'évolution (en % de l'abondance en mer) des principales espèces d'oiseaux soumises à la pollution de l'Erika. Le secteur Nord du Golfe de Gascogne a été fortement touché par la pollution, le secteur Centre légèrement moins et le secteur Sud épargné.

	NORD	CENTRE	SUD
Plongeons *Gavia species*	- 45.8 %	+ 12.5 %	/
Macreuse noire *Melanitta nigra*	- 74.0 %	- 66.8 %	/
Pingouin torda *Alca torda*	- 80.7 %	- 68.7 %	- 55.8 %
Fulmar *Fulmarus glacialis*	- 100.0 %	+ 512.9 %	/
Mouette tridactyle *Rissa tridactyla*	+ 20.4%	- 66.6 %	+ 85.4 %
Eider à duvet *Somateria mollissima*	+ 11.9 %	/	/
Cormoran huppé *Phalacrocorax aristotelis*	+ 100.0 %	/	/
Guillemot de Troïl *Uria aalge*	+ 61.0 %	+ 287.2 %	+ 8.0 %
Grand labbe *Stercocarius skua*	- 41.7 %	+ 150.0 %	+ 1.7 %
Fou de Bassan *Sula bassana*	- 28.5 %	+ 44.6 %	+ 135.0 %

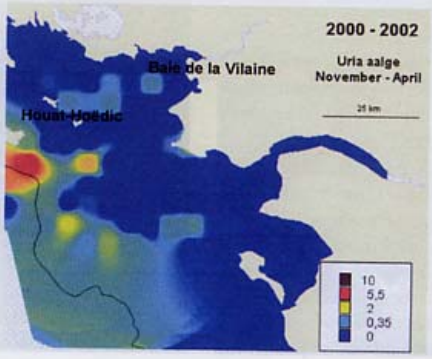
ont totalement disparu dans les trois semaines suivant l'arrivée de la pollution dans le milieu intertidal. Au printemps 2000, en l'absence de ces invertébrés « brouteurs », les algues macrophytes vertes (*Ulva* sp.) autochtones ainsi qu'une algue rouge invasive (*Grateloupia doryphora*) se sont étendues sur plus de 90% de la surface du sol. Mais une recolonisation extérieure naturelle du peuplement d'invertébrés herbivores initial lui permet dès l'hiver 2000 de recouvrer trois années après sa densité d'avant la pollution. Parallèlement l'abondance des algues diminue et retrouve son niveau originel [4].

Dans le cas des oiseaux de mer il n'existe pas de corrélation simple entre le nombre d'individus retrouvés mazoutés et les variations numériques des populations en mer durant les deux années suivant l'accident de l'*Erika*. Le

AVANT L'ERIKA



APRES L'ERIKA



Photos Laurence Denaix & Hervé Graillot/SPHN

Guillemots de Troïl et mouettes tridactyles.

guillemot *Uria aalge*, espèce la plus abondante dans les échouages répertoriés*, ne présente pas de diminution significative d'abondance en mer pour les deux années suivant la pollution. A l'inverse, certaines espèces peu retrouvées sur les côtes (plongeons *Gavia* sp., pingouin torda *Alca torda*, macreuse noire *Melanitta nigra*) diminuent significativement en mer (plus de 80% [tab. 1]). Suite à une pollution importante du sud de la Bretagne, les guillemots ont abandonné leur principale zone d'hivernage (au large de la Vilaine, Quiberon) au profit du secteur au sud de Belle Ile [fig. 1]. Cela laisse supposer que l'abondance des poissons pélagiques et démersaux (proies des alcidés) a diminué après la pollution. Des changements de répartition géographique des espèces se manifestent par la disparition ou la rétraction (baie de la Vilaine, archipel Houat-Hoëdic) des zones fréquentées, par leur déplacement ou leur renforcement (Gouf de Capbreton) suivant les secteurs.

Globalement et jusqu'en 2002, les populations d'oiseaux marins diminuent dans le nord du golfe de Gascogne et augmentent dans le sud du golfe. Le centre du golfe présente des augmentations et des diminutions significatives. Cela suggère une redistribution des populations au sein du golfe suivant le niveau d'atteinte de l'écosystème par la pollution de l'*Erika* [1]. Mais les études en cours sur la marée noire suivante, celle du *Prestige*, qui a débuté à la fin de l'année 2002 et perduré jusqu'en automne 2003 en touchant l'ensemble du sud du golfe de Gascogne [9], montreront peut-être un changement de situation.

En ce qui concerne les mammifères marins (dauphin commun *Delphinus delphis*, grand dauphin *Tursiops truncatus*, globicéphale noir *Globicephala melas*, essentiellement), l'abondance des populations saines mesurée en mer par navires ne montre pas de diminution significative après l'accident de l'*Erika* par rapport aux vingt-cinq années précédentes [inédit]. De même, aucun échouage à la côte ne traduit une mortalité particulière de cétacés ou de phoques imputable à la marée noire [4].

Les références temporelles : indispensables repères dans l'évaluation des pollutions

Dans l'évaluation de l'impact des pollutions sur les écosystèmes il est nécessaire de tenir compte des variations temporelles des phénomènes qui se manifestent à court ou à long terme. Par exemple, la mesure d'un paramètre biochimique en laboratoire ou le suivi de la biocénose dans son milieu marin « avant et après » la pollution apportent, en effet, les premiers éléments de conclusion. Mais ces mêmes phénomènes présentent dans la nature, et indépen-

Photo Tom Walker/Jacana-Hoaqui

Dauphins communs* (Delphinus delphis). *Aucun échouage à la côte n'a traduit une mortalité particulière de cétacés imputable à la marée noire de l'Erika.

Plongeon catmarin* (Gavia stellata). *A la suite de la pollution de l'Erika, le niveau d'abondance des plongeons a chuté de 52 % dans le golfe de Gascogne.

Photos Claude Cocagne/SPHN

* Parmi les 65 espèces affectées par la marée noire de l'*Erika*, le guillemot de Troïl représente à lui seul 83 % des victimes recensées.

VERS UNE ECOLOGIE DE LA PERTURBATION

Photo Laurence Denaix & Hervé Graillot/SPHN

Eider à duvet, une espèce certainement peu retrouvée lors des marées noires et qui n'en est pas pour autant épargnée.

damment des pollutions, leur propre variabilité temporelle à des échelles de temps diverses (horaire, journalière, saisonnière ou annuelle par exemple). Lorsque l'on envisage des durées suffisamment longues se manifestent alors les variations temporelles du milieu physique tant au niveau atmosphérique qu'océanique [3]. Des traitements statistiques particuliers s'imposent donc pour séparer l'effet des pollutions des variations temporelles « naturelles » du milieu marin et de l'atmosphère.

Suivant les échelles de temps les conséquences de la pollution ne sont pas de la même ampleur. Ainsi, dans le cas des oiseaux de mer les effets négatifs (dérèglements physiologiques, mortalité massive, reproduction réduite, etc.) durent de quelques jours à plusieurs cycles annuels après la pollution. Mais à long terme ces effets demeurent peu visibles pour beaucoup d'espèces. Par exemple pour les guillemots de Troïl aux populations abondantes et en croissance régulière depuis plus de quinze ans, il est possible que se manifestent des phénomènes de «récupération» suivant le principe connu en démoécologie permettant une plus grande fertilité des individus et une survie accrue lorsque la densité de la population a chuté. Cependant l'impact sur le niveau d'abondance d'autres espèces passant «inaperçues» car peu répertoriées dans les mentions d'oiseaux échoués, s'avère très

Bio-indicateurs de pollutions marines : exemple de l'océanite tempête

L'impact des polluants d'origines diverses (agricole, domestique, industrielle) a été étudié en détails depuis 1974 sur les populations d'océanite tempête du sud du golfe de Gascogne (Biarritz), ce qui en a fait de bons indicateurs biologiques de l'état de la pollution des milieux marins littoraux côtiers.

Photo Jean d'Elbée

Curieusement, la présence de fortes doses de polluants considérées habituellement comme létales pour d'autres espèces d'oiseaux, ne semble pas affecter le taux d'éclosion des œufs (64 % en moyenne), ni la survie des poussins (96 %) et des adultes d'océanite tempête. Cependant, les œufs non éclos présentent des concentrations en DDT (insecticide) et ses métabolites vingt cinq fois plus élevées que l'ensemble des œufs pondus. La ponte d'un œuf fortement pollué permettrait à la femelle de réduire sa propre charge corporelle en molécules organochlorées jusqu' à un tiers, une stratégie tendant à la sauvegarde de la mère et donc de la population. Dans le cas du mâle, le mystère demeure encore.

Un des principaux objectifs des études actuelles consiste à déchiffrer les mécanismes écophysiologiques d'accumulation de ces polluants (rôle des grandes durées de génération des populations par exemple, régime alimentaire des poussins à forte concentration lipidique…). Un autre vise à isoler les caractéristiques génétiques des individus ayant capacité à se détoxiquer par la synthèse d'enzymes rendant les composés organochlorés solubles dans l'eau et donc excrétables (à l'instar de certaines souches d'insectes tolérantes aux insecticides). Ces résultats escomptés sur le modèle des océanites présentent un intérêt incontestable ; ils peuvent être extrapolés à d'autres espèces et bien au-delà du sud du golfe de Gascogne.

*En ce qui concerne les pollutions pétrolières, les océanites ont été peu affectés par celle de l'*Erika *(ils sont généralement peu nombreux en hiver et donc peu touchés par les accidents qui se produisent par mauvais temps). Dans le cas du* Prestige, *dont la pollution a affecté tout le sud du golfe de Gascogne et cela jusqu'au printemps et à l'été 2003, une diminution du tiers des couples reproducteurs a été observée, mais elle entre dans la norme des variations annuelles enregistrées les années précédentes et ne prouve pas à elle seule un impact du* Prestige.

fort du fait de la faiblesse initiale de leurs populations mondiales et de la fraction importante hivernante dans le golfe de Gascogne (plongeons en particulier). Cela se manifeste aussi pour les petites populations reproductrices en France (pingouin torda, eider par exemple) et hivernant dans le golfe de Gascogne.

Conclusion

Les mécanismes écologiques mis en jeu dans la restauration des peuplements invertébrés ou vertébrés relèvent d'une augmentation des survies des individus et de leur production de descendants lorsque la densité de la population est faible. De même une zone atteinte peut être recolonisée par l'immigration d'individus extérieurs. Mais ces mécanismes de régulation dépendant de la densité présentent des limites.

Les pollutions modifient l'état des écosystèmes touchés. Ces nouvelles situations polluées sont-elles des intermédiaires temporaires laissant les écosystèmes retourner à leur état d'avant la pollution qui montrent ainsi leur capacités de résilience ? Ou bien conduisent-elles à un nouvel équilibre original différent de l'initial et cela en interaction avec les inévitables changements physiques naturels ? Dans ce deuxième cas les pollutions pourraient être une cause insidieuse d'évolution des biocénoses car les périodes de référence des caractéristiques des écosystèmes se placent toujours entre deux pollutions accidentelles ou chroniques. On ignore en général les caractéristiques de cet «état initial» et on se réfère à un état récent, lui même déjà l'aboutissement de perturbations antérieures inconnues.

La mesure de l'impact des pollutions par hydrocarbures ou autres polluants sur les écosystèmes marins nécessite le décloisonnement d'équipes aux approches différentes : la création et le développement d'Observatoires des milieux marins regroupant les résultats en une métabase de données interdisciplinaires s'avèrent impératifs. Ce dispositif devient incontournable pour comprendre les changements des écosystèmes marins et gérer durablement ces milieux aquatiques notamment pour l'application de la Directive Cadre sur l'Eau mais plus généralement pour la conservation de la biodiversité.

Séparer le rôle des perturbations anthropiques de l'action des changements physiques naturels et comprendre leurs interactions au sein des écosystèmes, constituent l'objectif d'une « **écologie de la perturbation** ». Rechercher les mécanismes physiologiques mis en œuvre, mesurer les variations de diversité génétique et finalement leurs manifestations écologiques particulières émergeant sous la pression de la pollution deviennent prioritaires. Cette approche doit s'intégrer dans le cadre des changements globaux de l'océan et de l'atmosphère [3], moteurs des variations des écosystèmes marins.

Photo Claude Cocagne/SPHN

Fous de Bassan. Les effectifs de cette espèce ont assez peu varié dans le golfe de Gascogne lors de la marée noire de l'Erika.

Bibliographie

[1] Castège, I., Hémery, G., Roux, N., D'Elbée, J., Lalanne, Y., D'Amico, F., Mouches, C. 2004. Changes in abundance and at-sea distribution of seabirds in the Bay of Biscay prior to, and following the «Erika» oil spill. *Aquatic Living Resources*. 17: 361-367. EDP Sciences www.edpsciences.org/alr

[2] Dauvin, J.C. (édit.) 1997. Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes atlantiques, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives. Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie. Service du Patrimoine Naturel /IEGB/ MNHN, Paris, 376 pp.

[3] Hémery, G., Dupont, B., Castège, I., d' Elbée, J., André, R. 2002. Ecosystème et climat dans le Golfe de Gascogne. *Met Mar.* Météo France (édit.) Paris. 194: 3-5.

[4] Le Moigne, M., Laubier, L. 2004. The Erika Oil Spill : Environmental Contamination and Effects in the Bay of Biscay ; *Aquatic Living Resources*, Special Issue (17) n°3: 235-394. www.edpsciences.org/alr

[5] Ramade, F. 2002. *Dictionnaire encyclopédique de l'Ecologie et des sciences de l'environnement*. Dunod Science (édit.), Paris.

Sites Internet :

[6] http://otvm.uvigo.es/ pour le Prestige

[7]http://www.stam.dk/get/7918037.html pour le Danemark

[8] SEO Société Espagnole d'Ornithologie

[9] CEDRE www.le-cedre.fr

[10] IEO Instituto Español de Oceanografia

ANNEXE VI b :

Article intitulé « Detecting the impact of oceano-climatic changes on marine ecosystems using a multivariate index : the case of the Bay of Biscay (North Atlantic-European Ocean)» publié dans la **revue de référence internationale** « **GLOBAL CHANGE BIOLOGY** » (2007). Cette article présente les résultats et méthodologies permettant la compréhension des interactions entre les conditions physiques du milieu océanique et les indicateurs biologiques**.**

Global Change Biology (2007) 14, 1–12, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

Detecting the impact of oceano-climatic changes on marine ecosystems using a multivariate index: The case of the Bay of Biscay (North Atlantic-European Ocean)

GEORGES HEMERY*, FRANK D'AMICO†, IKER CASTEGE*, BERNARD DUPONT‡, JEAN D'ELBEE§, YANN LALANNE† and CLAUDE MOUCHES†

*Muséum National d'Histoire Naturelle, Department of Ecology and Biodiversity Management, USM 305 Conservation of Species, Plateau de la Petite Atalaye, F-64200 Biarritz, France, †UPPA – Department of Ecology, UFR Sciences and Techniques – F-64600 Anglet, France, ‡Météo-France, Station de Biarritz-Parme, F-64200 Biarritz, France, §LAPHY – 1341 chemin d'Agerrea, F-64210 Ahetze, France

Abstract

Large-scale univariate climate indices (such as NAO) are thought to outperform local weather variables in the explanation of trends in animal numbers but are not always suitable to describe regional scale patterns. We advocate the use of a Multivariate Oceanic and Climatic index (MOCI), derived from 'synthetic' and independent variables from a linear combination of the total initial variables objectively obtained from Principal Component Analysis. We test the efficacy of the index using long-term data from marine animal populations. The study area is the southern half of the Bay of Biscay (43°–47°N; western Europe). Between 1974 and 2000 we monitored cetaceans and seabirds along 131000 standardized line transects from ships. Fish abundance was derived from commercial fishery landings. We used 44 initial variables describing the oceanic and atmospheric conditions and characterizing the four annual seasons in the Bay of Biscay. The first principal component of our MOCI is called the South Biscay Climate (SBC) index. The winter NAO index was correlated to this SBC index. Inter-annual fluctuations for most seabird, cetacean and fish populations were significant. Boreal species (e.g. gadiformes fish species, European storm petrel and Razorbill . . .) with affinities to cold temperate waters declined significantly over time while two (Puffin and Killer Whale) totally disappeared from the area during the study period. Meridional species with affinities to hotter waters increased in population size. Those medium-term demographic trends may reveal a regime shift for this part of the Atlantic Ocean. Most of the specific observed trends were highly correlated to the SBC index and not to the NAO. Between 40% and 60% of temporal variations in species abundance were explained by the multivariate SBC index suggesting that the whole marine ecosystem is strongly affected by a limited number of physical parameters revealed by the multivariate SBC index. Aside the statistical error of the field measurements, the remaining variation unexplained by the physical characteristics of the environment correspond to the impact of anthropogenic activities such overfishing and oil-spills.

Keywords: abundance patterns, cetaceans, climatic index, disturbance ecology, fish stocks, oil-spills, regime shifts, seabirds

Received 4 May 2006; revised version received 27 September 2006 and accepted 10 August 2007

Introduction

It is well known that climate affects both the abundance and distribution of species populations and that a blend of weather variables – rather than a single one– is operating (Hughes, 2000; Stenseth *et al.*, 2003). Given

Correspondence: Georges Hemery, e-mail: georges.hemery@univ-pau.fr

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd

the increasing evidence that our planet is facing rapid climate change, ecological effects of large-scale climate patterns are increasingly being studied. Today the climate literature describing those variations is vast (Stenseth *et al.*, 2003). Not surprisingly, various indices (cf. Stenseth *et al.*, 2003) describe climate patterns over the Northern and the Southern hemispheres. Most of them are characteristically derived from simple difference in one weather variable (e.g. difference in sea level pressure anomalies between two distant locations) although complex and pertinent statistical approaches based on multivariate analysis of time-series exist. Following seminal reviews (Kappelle *et al.*, 1999; Hughes, 2000), there has been an increasing number of papers using the available simple (one-variable-based) climate indices to assess the biological consequences of large-scale climate patterns and change on continental and marine ecosystems (Forchhammer & Post, 2000; Kozlov, 2000) despite the fact that they reduce complex space and time variability into simple measures (Stenseth *et al.*, 2003). Among those large-scale climate indices now easily available on the Internet are the set of NAO- and ENSO-related climate indices reviewed extensively by Stenseth *et al.* (2003). The first hypotheses explaining why NAO and perhaps all large-scale indices seem to perform better than local weather variables are just coming out (Hallet *et al.*, 2004; Stenseth & Mysterud, 2005).

Several studies using such simple climate indices have demonstrated that large-scale climate patterns have major implications for the functioning of different continental and marine ecosystems (Post *et al.*, 1999; Bradley & Ormerod, 2001; Thompson & Ollason, 2001; Møller, 2002; Rodriguez & Bustamante, 2003; Hallet *et al.*, 2004; Hays *et al.*, 2005). By contrast, other studies have failed to identify significant trends (Blenckner & Hillebrand, 2002) and this could be explained by the fact that such one-variable-based synthetic climatic indices may be too simple to describe complex patterns in ecosystem function. Some researchers, like Kitayski & Golubova (2000), have thus assessed the impact of the interannual climate and oceanographic change on seabird populations by using a larger set of climatic and physical variables: sea-surface temperature (SST), time of permanent ice disappearance, wind and current vectors. Many studies though also fail to track effects of large-scale climate patterns on community composition or abundance because confounding regional or local human-borne disturbance (such as overfishing and oil spills in marine ecosystems) interact with them (Hémery *et al.*, 1986a; Castège *et al.*, 2004; Hémery *et al.*, 2005).

In complex marine environments where many physical factors other than climatic are at work, large-scale climate indices are considered drivers of ecological variability because they could act through local hydrology and meteorology (e.g. on plankton – see Hays *et al.*, 2005). So far, few studies use multivariate indices that have the potential to explain effects of marine environmental change driven by large-scale climate patterns (Lehman, 2000; Feistel *et al.*, 2003; Schwing *et al.*, 2003) despite a few synthetic multivariate approaches are available such as the multivariate ENSO index (called MEI and combining sea-level pressure, surface wind, sea-surface temperature, surface air temperature and cloudiness – see Wolter & Timlin, 1998).

The main aim of this paper is to relate the long-term change in abundance of marine animals to a new Multivariate Oceano-Climatic index (hereafter MOCI) that fits better to the local marine environment. As a first step, a definition of the MOCI and a rationale for its calculation are given. We also present its statistical properties. Because we apply it to the case of the Bay of Biscay in the North-Atlantic-European region, the MOCI for this region is called the South Biscay Climatic (SBC) index and can be compared with the well-known univariate NAO index. Then, we present for the same region of the Bay of Biscay the long-term variation in the abundance of several marine fish, seabird and cetacean species along with one crustacean species. Finally, we investigate the relationship existing between climate variations and the temporal variation in marine biota abundance at the community level, comparing the relative success of the multivariate MOCI vs. the univariate NAO.

Material and methods

Study area

The study area is the southern half of the Bay of Biscay (from 43 to 47°N; western Europe – Fig. 1). It corresponds mainly to the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) zone VIII-b1. The bathymetry of this zone is characterized by the canyon of Capbreton, a unique feature in Europe where the shelf break (isobath 200 m) is only 1.3 nautical miles from the coast and a depth of 1000 m lies no more than 15.6 nautical miles offshore. The remaining area consists of the continental shelf (depth <200 m). The mean SST usually vary between 10–11 °C in winter and 19–22 °C in summer (Koutzikopoulos *et al.*, 1998) during which an area of hot SST appears (Hémery & Wald, 1986). The Bay of Biscay encompasses the more or less fluctuating limit or transitional region between the cold boreal waters and the warm waters of the temperate biogeographical province for zooplankton and fish species (Quéro *et al.*, 1989; Herbland & Quéro, 1998; d'Elbée & Prouzet, 2001; Souissi *et al.*, 2001). The climate shows high seasonality and also important inter annual

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

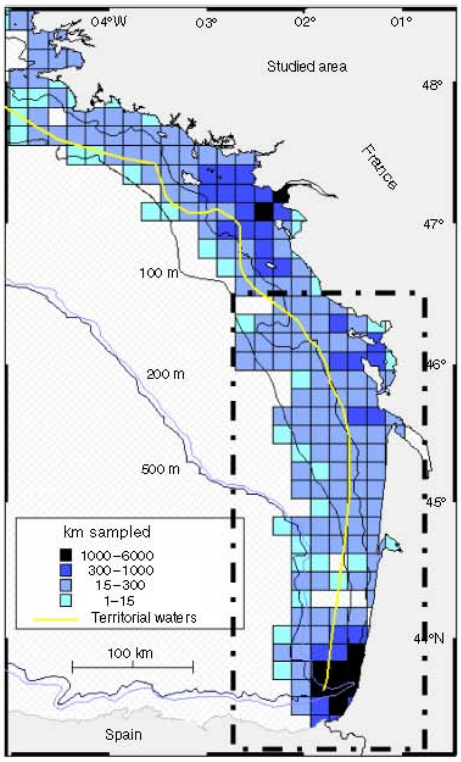


Fig. 1 The study area in the south Bay of Biscay (north-east Atlantic, Europe) is delimited by the dotted line. Square grid indicates kilometres travelled during the whole study (see also Castège *et al.*, 2004).

variations; formally described as temperate it is induced by two main phenomena: on one hand, the marine anticyclone of the Azores (in summer essentially) or the continental anticyclone of Siberia (mostly in winter) and on the other hand, the low pressure of Iceland which produces a general westerly flux of perturbations in the direction of Europe.

Assessing oceano-climatic change

On a global scale, atmospheric and oceanic physical features such as temperature, atmospheric pressure, wind, rainfall and sea state are linked together; the nature of these links being more or less deterministic and the strength variable. Each parameter taken independently brings partial information on the existing conditions of the physical environment made up of a large number of simultaneously interacting variables. A multivariate approach can successfully detect and describe the essential structure of the information held in this large set of correlated variables. A principal component analysis (PCA) on the normalized variables correlation matrix objectively builds new 'synthetic' and independent variables made up of a linear combination of the total initial variables. The first principal component is the more informative and corresponds to the MOCI. This general approach leads to the definition of a general index based on a potentially high number of oceano-climatic variables that has then to be restricted to a more specific one describing best the region under study. In this study, we used 11 initial variables (Table 1) characterizing each of the four annual seasons (spring, summer, autumn and winter, providing 44 variables in total) to describe the yearly oceanic and atmospheric conditions during the last 3 decades in the Bay of Biscay. Thus, the data matrix was composed of 27 rows each for 1 year from 1974 to 2000 and 44 columns corresponding to oceano-climatic variables (data not shown).

We then compared the SBC index with the widely used (Stenseth *et al.*, 2003) and well-described North Atlantic Oscillation index (NAO index – Hurrell, 1995; Hurrell & van Loon, 1997). Here, the values of the NAO index used are those of the winter season (http://www.cgd.ucar.edu/jhurrell/nao/html).

Modelling animal abundance: cetaceans, seabirds and fishes

As the Bay of Biscay presents the limit between the cold (boreal) and hotter (meridional or Lusitanian) temperate waters, the various species were classified as distributed preferentially either of the two waters or showing no preference/link with sea temperature. For fishes, species were attributed to this classification based on Quéro *et al.* (2003). Similarly, sea birds and cetaceans were categorized according to their breeding range and overall spatial distribution.

Data collection. Cetaceans and seabirds at sea were recorded under standardized conditions (Hémery *et al.*, 1986b; see also Hammond *et al.*, 2002) of line transects (Skellam, 1958; Seber, 1982; Buckland *et al.*, 1993). We realized 131 000 counts, each of 1 min (total observation time 22:00 hours), made from vessels of the Douanes Françaises and the Affaires Maritimes (thereafter referred to as Coast Guard ships), The protocol imposed the following main conditions: a visibility at least of 1 nautical mile, a sea under the state 4 (international sea state code *S* ranging from 1 to 9), an angle of view of 360°, observer placed at 6–8 m a.s.l. and a cruise speed ranging from 15 to 22 knots. The

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

Table 1 The 11 variables used in the Oceano-Climatic Multivariate Index in the Bay of Biscay (= SBC index)

No.		Climatic variable	Comment
1	Oceanic variables	Sea surface temperature	
2		Sea surface agitation: minimum	Range: 0–2, waves: 0–0.5 m
3		Sea surface agitation: medium	
4		Sea surface agitation: maximum	Range: 5–9, waves: 2.5 to >14 m
5	Atmospheric variables	Atmospheric pressure	
6		Temperature: mean of the minima	
7		Temperature: mean of the maxima	
8		Cumulated rainfall	
9		Sunshine duration	
10		Maximal instantaneous wind	Number of days $<25\,km\,h^{-1}$
11		Maximal instantaneous wind	Number of days $>60\,km\,h^{-1}$

They characterize each of the four seasons, a year being thus described by 44 variables.

detection of animals was made by naked eye, binoculars being used only for confirmation of the species and characteristics of the individuals. No *a priori* maximal distance of detection was fixed. Records made in the vicinity (within 2 min of observation) of other ships, in particular fishing vessels, were eliminated in the present analysis to exclude possible bias due to temporal changes of the flotilla. In the present case, only relative density of seabirds and cetaceans, expressed by the number of animals detected under these standardized conditions by unit of time or distance travelled, were considered. Shipboard surveys were conducted from June 1976 to June 2002 and the means of their relative abundances at sea were calculated for each of the 12 months of the year. Line transects were all homogenous and comparable within and between years simply because they were made from vessels of the Coast Guard ships, using no predetermined trip or at least giving the same probability for each sea trip to be made at any place in the region. Of course, because vessels depart to sea and come back from the same harbour, the amount of kilometers travelled and sampled is higher near those harbours (Fig. 1). This methodology was used for all bird species except the European storm petrel *Hydrobates p. pelagicus* for which the population was estimated by the number of breeding pairs at the Basque French colonies (Hémery *et al.*, 1986b). It has been shown that this population abundance is effectively a good indicator of abundance of the first year fish (class 0) and the zooplankton (d'Elbée *et al.*, 1998; Hémery, 2001).

Fish and the large crustacean *Crangon crangon* abundance was estimated from commercial fishery landings by coastal ships operating in the southern half of the Bay of Biscay (Centre Régional de Traitement Statistique des Pêches de La Rochelle, French Ministry of the Sea). According to the size and age classes of the fish species caught by fisheries (Quéro & Vayne, 1997) a time lag of 2 (*Merluccius merluccius*, *Pollachius pollachius*, *Trisopterus* sp., *Thunnus thynnus*) or 3 years (*C. crangon*, *Trachurus trachurus*, *Scomber* sp., *Mugil* sp.) was applied explaining why years of reference vary slightly in the different analysis.

Patterns and trends in seabirds and cetaceans community. The characteristics of the community of seabirds and cetaceans were examined by Correspondence Analysis (CA) (Jongman *et al.*, 1995; Leps & Smilauer, 2003). The data matrix was composed of 12 rows corresponding to the mean monthly abundance of the 12 most abundant species, or group of species, monitored and 23 columns each for 1 year from 1979 to 2001. No chronological order of the years was included in the calculation of the factorial axis.

Trend analysis and correlation for SBC, NAO and population abundance were performed using Kendall τ rank correlation and Pearson linear correlation depending on the statistical properties of the data.

Decline in population size was calculated by approximating the temporal change to a linear decline considering slope as a measure of the decline; we first log-transformed data over the whole study period for each species, then made a linear regression and taking the exponential of the slope value we got the estimate of the decline.

All analysis were made with the Statistical Analysis System (procedures PRINCOMP, CORRESP and CORR), CANOCO software (Ter Braak & Smilauer, 2002) and MAPINFO software for Fig. 1.

Results

Temporal trends in the SBC index

The first principal component PC1 extracted 29% of the whole information contained in the initial data matrix.

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

The corresponding SBC index varied according to year from −3.0 to + 5.8. Negative values characterized years with important rainfall and rough sea surface, conditions occurring mainly during winter and linked to low pressures with the arrival of north-west cold fronts moving south-east. By contrast, positive values of this index indicated years with high pressures, atmospheric temperature above the normal mean value, heavy sunshine and a smoother sea-surface state which corresponded to stable conditions (or with moderate eastward wind). These variations are explained by the relative location of the region Bay of Biscay along the eastern front of the anticyclone. Temporal variations for the period 1974–1994 were described by an increasing and significant trend (Kendall Test of ranks, $\tau = +0.610$; $P < 0.0001$) toward positive values of the SBC corresponding to anticyclonic-type situations with low agitated sea-surface (Fig. 2). Recently (1994–2000), this trend significantly switched back (Kendall Test of ranks, $\tau = -0.556$; $P < 0.025$) marking a come back of cyclonic-type weather characterized by important rainfall, cold conditions and rough sea-surface.

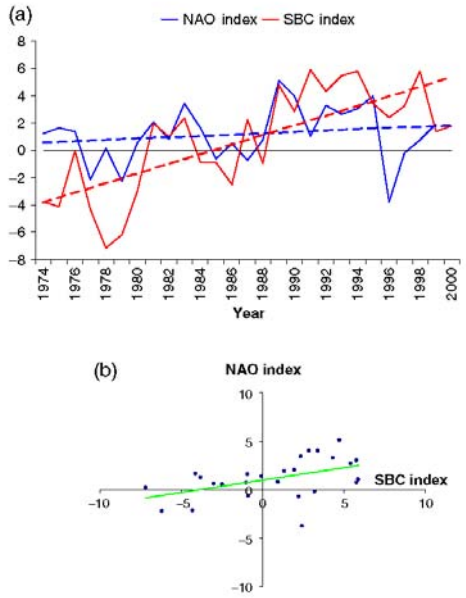


Fig. 2 Compared variation in univariate index (NAO index; blue line) and application of the Multivariate Oceano-Climatic index (MOCI) in the Bay of Biscay (SBC index; red line) over the period 1974–2000. (a) Dotted lines depict long-term trends. There was a significant increasing trend toward positive values of the SBC index (Spearman coefficient correlation $r = +0.7296$, $P < 0.0001$) but not for NAO index ($r = +0.1929$, $P = 0.3451$). (b) Positive correlation between SBC and NAO (Pearson correlation coefficient $r = +0.4727$, $P = 0.0147$).

The winter NAO index was significantly correlated to the SBC index ($\rho = +0.489$; $P = 0.011$, Fig. 2). The autocorrelation of first order was high ($\rho = +0.489$) and significant ($P = 0.0005$) for the SBC index but low ($\rho = +0.228$) and not significant ($P = 0.112$) for the NAO index. An overall positive temporal trend (Fig. 2) was significant for the SBC index (Kendall Test of ranks, $\tau = +0.504$, $P = 0.0002$) but there was no significant trend for the NAO index ($\tau = +0.133$, $P = 0.343$).

Temporal changes in animal populations abundances (mammals, seabirds and fishes)

There were important variations in abundance for most of the species studied during the period 1974–2000 (Fig. 3 and Table 2) and despite inter-annual population fluctuations the trends were significant for most of them and indicated medium-term demographic trends (Table 2). Species with affinities to hotter temperate waters (lusitanian or meridional biogeographical zone) increased in population size during the period (Fig. 3a). This was particularly true for the Common Dolphin *Delphinus delphis* and the Chub Mackerel *Scomber japonicus* whom average abundance increased (per year + 1.4% and + 11.8%, respectively) significantly during the whole period. But it is important to note that their abundance has slightly decreased since 1997 (see Appendix S1 in Supplementary Material). By contrast, the abundance of boreal species with affinities to cold temperate waters decreased significantly during the period (Fig. 3b and Table 2). This was particularly obvious for the European storm petrel and the Razorbill which breed merely on the British Isles, in Scandinavia and Iceland. It is important also to note the total disappearance, in the southern part of the Bay of Biscay, of two species: the Atlantic Puffin (*Fratercula arctica*) and the Killer whale (*Orcinus orca*) over the study period. Boreal Gadiformes fish species also decreased in abundance (European hake *M. merluccius*, Pouting *Trisopterus luscus* principally, Pollack *P. pollachius* ...). The only crustacean so far studied (*C. crangon*) also markedly decreased in abundance (−2.5% per year).

The trends for the remaining species, those without any thermal affinities varied widely during the same period. Pilot whale *Globicephala melas* and Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) did not show any trend while there was an increase in population size of Guillemot (*Uria aalge*). By contrast Mullets (*Mugilidae* family) and Pilchard (*Sardina pilchardus*) sharply decreased in abundance (ca. −10% mean annual decrease).

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

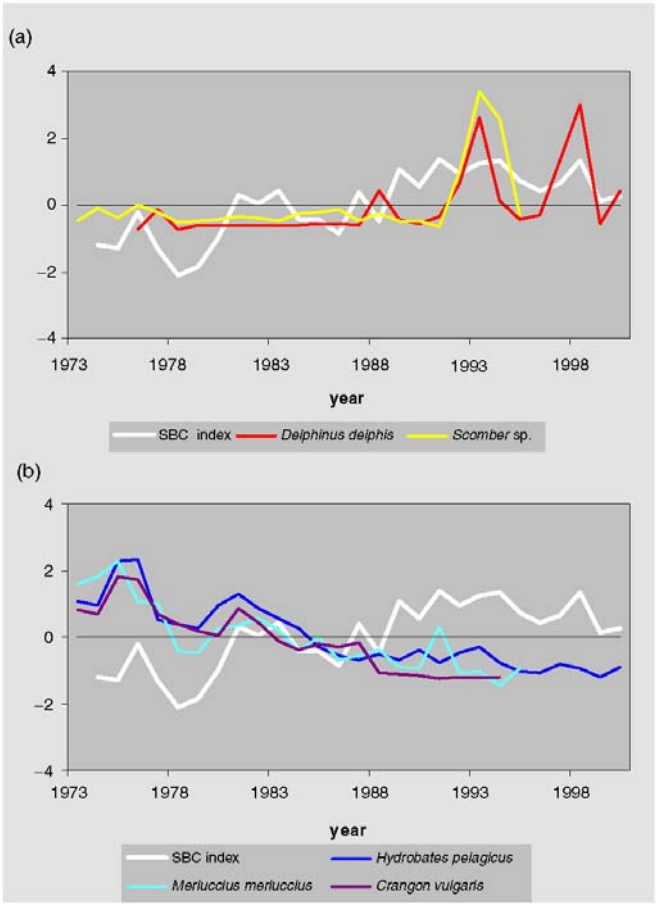


Fig. 3 Variation in abundance (the original field data were normalized to mean = 0 and SD = 1) for different species in the Bay of Biscay (1974–2000) according to their preferendum. (a) Meridional species with affinities to hot temperate waters and (b) Boreal species with affinities to cold temperate waters. White line indicates variation in SBC index.

The ordinations made by the three first axis of the CA described patterns in community structure for marine birds and cetaceans. The first and second axis extracted 28.9% and 17.6%, respectively, of the variance of the data. Positive score values on axis 1 were related to an increasing abundance of the majority of marine birds (Fig. 4), whereas negative values depicted the three cetacean species and the Northern Gannet *Morus bassanus*. The third axis extracted 15.9% of the information. It was due essentially to the year 1999 during which an unusual abundance of Pilot whales occurred with a very high standard error. CA further identified (it is particularly obvious on the ordination axis 1–axis 3, Fig. 4b) three main sets of community types that broadly follow a chronological sequence, although they include a few years 'out of phase'. The first set A, concerns the years 1979–1986, excluding year 1985. The second set B, goes from 1987 to 1996, excluding year 1993. The third set C, runs from 1997 to 2001. Each of those sets is broadly attributable to the three community types identified above on the basis of their thermal preferendum; sets A and C correspond to the communities of cold (boreal) and hot (meridional or Lusitanian) temperate waters while

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

Table 2 Comparison between the multivariate SBC index and the NAO index for the correlations with the variation in abundance of the different species monitored in the Bay of Biscay (1974–2000) according to their *preferendum* (see text)

	Trends (Kendall test; *P*)	Mean annual variation	Correlation with SBC Index (Pearson; *P*)	Correlation with NAO Index (Pearson; *P*)
Cold water				
Orcinus orca	*−0.32 (P = 0.062)*	*	*−0.30 (P = 0.170)*	*−0.29 (P = 0.172)*
Hydrobates pelagicus	**−0.74 (P = 0.001)**	−7.1%	**−0.54 (P = 0.005)**	*+ 0.01 (P = 0.968)*
Fratercula arctica	**−0.51 (P = 0.01)**	*	*−0.35 (P = 0.148)*	*−0.17 (P = 0.508)*
Alca torda	**−0.59 (P = 0.001)**	−1.6%	*−0.22 (P = 0.405)*	*−0.1 (P = 0.960)*
Merluccius merluccius	**−0.68 (P = 0.0001)**	−3.3%	**−0.49 (P = 0.021)**	*−0.33 (P = 0.132)*
Trisopterus sp.	**−0.49 (P = 0.001)**	−3.4%	*−0.40 (P = 0.068)*	*−0.18 (P = 0.431)*
Pollachius pollachius	**−0.76 (P = 0.0001)**	−4.1%	**−0.63 (P = 0.002)**	*−0.39 (P = 0.069)*
Crangon crangon	**−0.66 (P = 0.0001)**	−2.5%	**−0.49 (P = 0.019)**	*−0.23 (P = 0.310)*
No preferendum				
Globicephala melas	*0.16 (P = 0.347)*	–	–	–
Uria aalge	**0.41 (P = 0.012)**	+ 3.1%	**+ 0.67 (P = 0.001)**	**+ 0.49 (P = 0.028)**
Mugil sp.	**−0.29 (P = 0.054)**	−9.7%	**−0.42 (P = 0.049)**	*−0.16 (P = 0.464)*
Sardina pilchardus	**−0.35 (P = 0.020)**	−10.2%	*−0.26 (P = 0.244)*	*−0.32 (P = 0.149)*
Engraulis encrasicolus	*−0.10 (P = 0.509)*	–	–	–
Hot waters				
Delphinus delphis	**0.35 (P = 0.025)**	+ 1.4%	**+ 0.43 (P = 0.043)**	*+ 0.26 (P = 0.236)*
Thunnus thynnus	*−0.07 (P = 0.653)*	–	–	–
Trachurus sp.	*−0.20 (P = 0.185)*	–	–	–
Scomber sp.	**0.13 (P = 0.0383)**	+ 11.8%	**+ 0.44 (P = 0.040)**	*+ 0.27 (P = 0.228)*

Mean annual variation is based on the linear regression of the log of abundance against time.
Bold characters indicate statistically significant results and italic characters indicate nonstatistically significant results.
*Disappearance of the species in the studied area.

set B is related to the community showing no link with sea temperature (Fig. 4 and Table 2). It is noticeable that within each of these three homogeneous sets, two particular years (1985 and 1993) are out of the sequence in respect to the characteristics of communities. Plotting axis 1 scores against years confirmed this clustering (Fig. 5) and outlines the peculiar 'behaviour' of communities in years 1985 and 1993.

Relationships between climate indices and variation in abundance

Except[1] for Guillemot, none of the observed trends was correlated to the NAO index. However, most of the observed trends (detailed above; Table 2) were highly correlated to the SBC index although being not significant for a few species (*O. orca*, *F. arctica*, *A. torda*, *Trisopterus* sp. and *S. pilchardus*). For all species pooled, between 40% and 60% of temporal variations in population abundance were explained by the multivariate SBC index.

[1]Note that a type I error is not totally excluded given the fact that we used a set of 12 statistical tests.

Discussion

Spatio-temporal pattern and univariate vs. multivariate climatic indices

Temporal variability in atmospheric and oceanic conditions is very high between seasons and may be random or auto-correlated between years. Beyond these short-range variations, there are medium- or long-term temporal variations occurring at decennial or centennial scale that are of interest when studying ecological patterns or processes. Nevertheless, ecologists use synthetic climate indices like those for the North Atlantic Oscillation (NAO – Hurrell, 1995; Hurrell & van Loon, 1997) and the Southern Oscillation index (SOI) despite the fact that they reduce complex space and time variability into simple measures (see Stenseth *et al.*, 2003 for an overview of NAO and ENSO indices). Most of those indices (SOI and NAO) rely on the measure of the atmospheric pressure (SLP) difference between two distant meteorological stations at different latitude or SST only. Their advantage lies in the geographic extent taken into account and the relative simplicity of their meteorological and climatic meaning. Evidence that they can explain some climate-related variation in life-history traits and animal numbers is just arising and

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

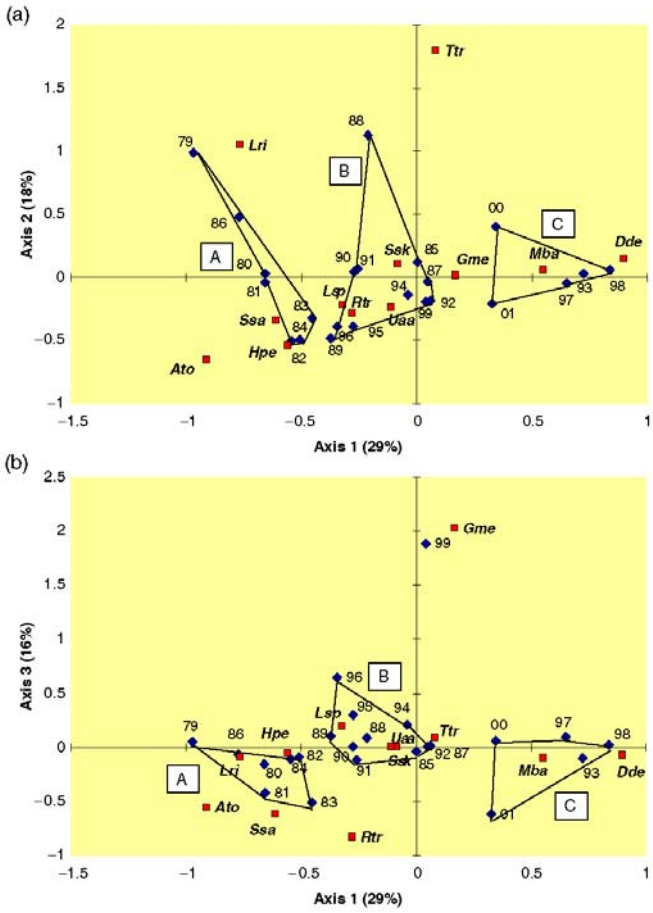


Fig. 4 Community structure of marine birds and cetaceans revealed by Correspondence Analysis (matrix 23 years × 12 species). (a) Axis 1 and axis 2 plan. (b) Axis 1 and axis 3 plan. Numbers indicate the last two digits of the year. Polygons joining consecutive years show three chronological periods A, B and C corresponding each to a particular assemblage of species. Abbreviations of species used: *Lsp*, *Larus* sp.; *Lri*, *Larus ridibundus*; *Ssa*, *Sterna sandvicensis*; *Hpe*, *Hydrobates pelagicus*; *Rtr*, *Rissa tridactyla*; *Ssk*, *Stercorarius skua*; *Mba*, *Morus bassanus*; *Dde*, *Delphinus delphis*; *Ttr*, *Tursiops truncatus*; *Gme*, *Globicephala melas*; *Uaa*, *Uria aalge*; *Ato*, *Alca torda*.

underlying mechanisms are just being identified (Hallet *et al.*, 2004; Stenseth & Mysterud, 2005). However, despite this, Stenseth & Mysterud (2005) admit that other 'weather packages' could outperform the NAO and other large-scale indices. Most of the large spatial scale indices are defined by only one variable, thus they neither reveal the full range of physical conditions characterizing oceanic habitats nor the complexity of their consequences on marine and terrestrial ecosystems. NAO and univariate ENSO indices reveal large-scale events such as those observed at the whole oceanic basin or even at the global scale. But large scale indices depict different patterns according to the area; for example, along a line in middle Europe there is no effect of NAO on any specific variable (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao_tmap.shtml). Because they are made up of a single variable, large-scale indices are easily reconstructed from chronological

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

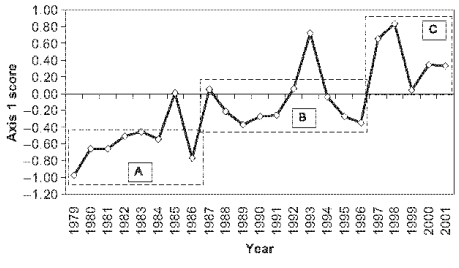


Fig. 5 Temporal variations of the community of marine birds and mammals (1979–2001) measured by the axis 1 score of the CA (cf. Fig. 4).

series gathered over more than one century. However, revealing patterns at regional scale (that one of the south Bay of Biscay in our case) requires more sophisticated multivariate indexes able to depict ecological processes depending on oceano-climate temporal variability. The SBC index proposed here fits better to this regional context at the scale of a whole bay (regional scale) because it relies on a large number of environmental variables and especially ones that describe oceanographic conditions. The winter NAO index is correlated to the SBC index. Overall, a higher autocorrelation of factors within the SBC index than for NAO is more prone to describe natural processes with lag effects between subsequent years. It also highlights the possibility to better detect statistically significant trends and consequently may serve as a predictor tool.

One other factor of interest of any multivariate index such as the MOCI SBC is that its use can be further refined by using the second and third principal components. It also gives the opportunity to extract other finer temporal details such as those describing seasonal or monthly variations and also finer spatial details within a same oceanic bay.

Stenseth *et al.* (2003) pointed out that ecologists have two alternatives when studying the effects of climate on any given ecosystem either use local weather measures either choose large-scale climate indice the latter ones being said to out perform the former (see Stenseth & Mysterud, 2005). They listed the many advantages use of large-scale climate indices. In particular, they wrote that 'using a large-scale index is similar to the use of principal components regression, where a PC analysis is first used to reduce the number of predictor variables.' We disagree partially with this view as the large-scale indices can be either univariate (calculated from SLP or SST) or multivariate. The reverse is true also as local weather can be described by a single variable (temperature for example) or a large number (and be synthetized into a new one using PCA – as we do). What we showed in our study is that (at least in this part of the Atlantic Ocean) a multivariate indice synthetically derived from local weather variables (here the SBC index) better explained changes in animal abundance than the univariate NAO indice (see below and Table 2).

Physical determinism of the southern Bay of Biscay characteristics and biological patterns

Climate change has been related to change in composition and structure of oceanic communities for different taxa such as plankton (Hays *et al.*, 2005), fishes (Genner *et al.*, 2004), seabirds (Schreiber, 2001) and cetaceans (MacLeod *et al.*, 2005). It is also known that marine systems may undergo rapid and key reorganization in plankton and fish communities, a phenomenon known under the term 'regime shift' (Scheffer & Carpenter, 2003; Steele, 2004) which serves also to describe marked climate-linked changes in biological systems (Hays *et al.*, 2005). Such regime shifts have already been identified in the North Sea (Beaugrand, 2004), the North Atlantic (Reid *et al.*, 1998a, b), in the North Pacific Ocean (Hare & Mantua, 2000) and in north-west Scotland (MacLeod *et al.*, 2005). Because the dominance in cetaceans and seabirds communities in the Bay of Biscay is also switching from cold-water (community set A) to warm-water species (community set C), our study may be the first to depict such a regime shift in this area. If true, we make the hypothesis that changes may be not as abrupt as theory predicts and that 'transition' communities (set B in Fig. 4) could occur over a significant period (Fig. 5) as our study clearly shows. It is interesting to note that changes depicted in Fig. 5 follow those described by SBC index (Fig. 2) as confirmed by Pearson correlation coefficient ($r^2 = 0.46$, $P = 0.0005$), thus emphasizing the interest of multivariate index.

The search for mechanistic links between climate and switches in biological communities continues. Simple physical features might be one of the major harbingers of rapid changes in marine systems. We develop the hypothesis that the principal mechanism linking physical conditions of the habitat to the abundance of the different species of marine vertebrates lies in the conditions prevailing at thermocline formation. The intensity and the depth of this vertical stratification following sea agitation and sun exposure determine the seasonal development of the phytoplankton first and then the zooplankton (Hays *et al.*, 2005), at the base of the trophic webs. It is also the case that water temperature affects directly fish egg survival (Richardson & Schoeman, 2004) and indirectly – through the abundance of feeding plankton – the development of larvae and young individual fish during their early life (Horwood *et al.*,

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

2000). Thus, atmospheric and oceanic conditions would determine the abundance of young individual fish that compose, after a time lag of 2–4 years, the major part of the mammal and seabird prey. Of course, those same fish populations make up a target for coastal fisheries. Such a clear physical determinism of the southern Bay of Biscay characteristics and biological richness has two major consequences. First, it means that the marine ecosystem as a whole is heavily affected or determined by a limited number of physical parameters as revealed by the multivariate SBC index. The data suggest that not only biological diversity as a whole but also total biomass, trophic web structure and energetic transfers have been impacted during the last decades. Secondly, in the 40–60% of the variation that remain unexplained by the physical conditions (cf. above and ignoring in a first step measurement errors), anthropogenic activities could also play a role.

Global change vs. human-borne local sources of variation

In many parts in the world, overfishing or indirect effects of fisheries has been considered as the main event responsible for direct decline of fish stocks (Hall, 1999; Pinnegar *et al.*, 2002; Ormerod, 2003; Blyth *et al.*, 2004) and indirect decline in predators population or effect on benthic production processes (Jennings *et al.*, 2001). Indeed, it should now be regarded as only one of the underlying causes as shown by Frederiksen *et al.* (2004) who demonstrate that climate and fisheries together have caused the decline in North Sea Kittiwakes with an equal weighting given to these two factors. In the Bay of Biscay, this is also true for the successive oil-spills such as the Erika (Castège *et al.*, 2004) and more recently the Prestige, pollution events for which the real ecological impact assessment should be estimated in the more complex frame of natural population variations especially for large size mammals and seabirds characterized by a high generation time (Hémery *et al.*, 2002). The consequence is that disentangling short term anthropogenic (such as oil spills) sources of variation from climate change may not be always easy (cf. 'disturbance ecology'; Hémery *et al.*, 2005).

Conclusion

From a methodological point of view, the multivariate oceano-climatic MOCI applied in a regional context (the SBC index, in the Bay of Biscay) shows interesting statistical properties; in particular an important temporal autocorrelation between the conditions of 1 year and those of the following one. This corresponds well to the physical inertia of oceanographic phenomena and their interactions with the atmosphere. Simultaneously, this index was capable of detecting a significant trend in physical and climatic conditions during the last decade. From this point of view, given its multivariate nature, it can be said a robust and pertinent physical index.

In comparison, the univariate NAO index for winter is not or only poorly auto-correlated in time and presents no capacity to detect significant temporal trends for the period 1980–2000. This is due to three facts. The first is this index is defined by only one variable (atmospheric pressure). The second reason is that this variable characterizes the atmosphere which is significantly variable in time and so unstable that only very sharp variations and very strong trend can be detected statistically. The third reason is that it relates to a wide area, perhaps too wide to be of significance and utility for biological investigations. This leads in consequence to erratic information on the physical conditions of the marine ecosystems at a more regional scale. Eventually, by contrast to recent studies (Stenseth & Mysterud, 2005), we conclude that in the Bay of Biscay at least the well-known large scale univariate NAO climate index is better replaced by a regional scale multivariate index such as the MOCI. The debate is open and we would like to advocate scientists to build their own regional multivariate index (MOCI) and test whether it is more useful or not than other well-known and largely used indices in their study area. Then, a meta-analysis across different regions and for different communities will tell whether regional multivariate index outperform large-scale ones.

From a biological point of view, in the context of the Bay of Biscay, we successfully used the multivariate SBC index to explain a major part of annual changes and trends in the abundance of marine vertebrate populations. More important perhaps, also highlighted a possible primary mechanism determining the fluctuations and the evolution of the entire marine community in the context of a global change. The NAO index alone failed to attain these objectives. This is a second reason to further develop the approach with the MOCI at the medium scale and regional level. This approach could also have applications to planktonic and benthic invertebrate animals and algal communities. Globally, as illustrated by the case of the Bay of Biscay, the variations of marine fishes, seabirds and cetaceans communities reflect an important and significant shift northward of the biogeographical limit between communities of cold and hot temperate waters. Ultimately, the more direct impact of human activities, especially those involving pollution by hydrocarbons and over fishing, cannot be cited as the unique cause of the medium and long-term variation of the vertebrate marine communities. Anthropogenic effects cannot be assessed properly without taking into account the

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

underlying temporal variability and trends of the physical natural environment. Thus, adaptive management to climate change appears as a challenging problem (Hulme, 2005).

Acknowledgements

As usual, a 30-year long study cannot acknowledge all the participants without involuntary omissions. Special thanks are due to different cruise leaders, crew members of the Brigade des Douanes Françaises DF43, Direction Interdépartementale des Affaires Maritimes, the 'Institut des Milieux Aquatiques', the 'Musée de la Mer' and the 'Centre de la Mer Côte Basque' (Biarritz), to our students at UPPA and to biologists working on ships (LPO, SEPNB) and especially Bernard Recorbet since 1976. This work was funded in part by the French Ministry of the Environment and the Conseil Général des Landes. A first draft of this manuscript has profited from thoughtful comments by P. Giller, G. Kerby and M. Frederiksen. Many thanks go to two anonymous referees and Mikhaïl Kozlov for providing helpful suggestions and substantially improving the manuscript. This work is dedicated to the memory of Elie d'Elbée who was a main manager of shipboard surveys since the early beginning of the study in 1976.

References

Beaugrand G (2004) The North Sea regime shifts: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography*, **60**, 245–262.

Blenckner T, Hillebrand H (2002) North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, **8**, 203–212.

Blyth RE, Kaiser MJ, Edwards-Jones G, Hart PJB (2004) Implications of a zoned fishery management system for marine benthic communities. *Journal of Applied Ecology*, **41**, 951–961.

Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL (1993) *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman & Hall, London.

Bradley DC, Ormerod SJ (2001) Community persistence among stream invertebrates tracks the North Atlantic Oscillation. *Journal of Animal Ecology*, **70**, 987–996.

Castège I, Hémery G, Roux N, d'Elbée J, Lalanne Y, D'Amico F, Mouchès C (2004) Changes in abundance and at-sea distribution of seabirds in the Bay of Biscay prior to, and following the *'Erika'* oil spill. *Aquatic Living Resources*, **17**, 361–367.

D'Elbée J, Hémery G, Cadioux B (1998) Dietary and foraging behaviour of the British storm-petrel *Hydrobates pelagicus* in the Bay of Biscay during summer. *Ardea*, **86**, 1–10.

D'Elbée J, Prouzet P (2001) Océanographie du golfe de Gascogne. VIIe colloq. Int., Biarritz, 4–6 avril 2000. *Ed. Ifremer*, **31**, 369 pp.

Feistel R, Hagen E, Grant K (2003) Climatic changes in the subtropical Southeast Atlantic: the St. Helena Island Climate Index (1893–1999). *Progress in Oceanography*, **59**, 321–337.

Forchhammer MC, Post E (2000) Climatic signatures in ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, **15**, 286.

Frederiksen M, Wanless S, Harris MP, Rothery P, Wilson LJ (2004) The role of industrial fisheries and oceanographic change in the decline of North Sea black-legged kittiwakes. *Journal of Applied Ecology*, **41**, 1129–1239.

Genner MJ, Sims DW, Wearmouth VJ, Southall PS, Southward AJ, Henderson PA, Hawkins SJ (2004) Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, **271**, 655–661.

Hall SJ (1999) *The Effects of Fishing on Marine Ecosystems and Communities, Fish Biology and Aquatic Resources Series*, vol. 1. Blackwell Science, London.

Hammond PS, Berggren P, Benke H *et al.* (2002) Abundance of harbour porpoise and other cetaceans in the North Sea and adjacent waters. *Journal of Applied Ecology*, **39**, 361–376.

Hare SR, Mantua NJ (2000) Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, **47**, 103–145.

Hays G, Richardson AJ, Robinson C (2005) Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution*, **20**, 337–344.

Hallet TB, Coulson T, Pilkington JG, Clutton-Brock TH, Pemberton JM, Grenfell BT (2004) Why large-scale climate indices seem to predict ecological processes better than local weather. *Nature*, **430**, 71–75.

Hémery G (2001) Biodiversity and adaptations of extant marine birds: an overview. In: *Secondary Adaptations of Tetrapods to Life in Water* (ed. de Buffrénil M), pp. 119–139. Verlag, München.

Hémery G, Castège I, Dupont B, d'Elbée J, André R (2002) *Ecosystème et climat dans le Golfe de Gascogne. Meteorologie Maritime*, **194**, 3–5.

Hémery G, Castège I, Lalanne Y *et al.* (2005) La pollution du milieu marin: vers une ≪ écologie de la perturbation ≫. *Le Courrier de la Nature*, **220**, 39–45.

Hémery G, d'Elbée E, Terrasse JF (1986a) Regulation of a Storm Petrel *Hydrobates pelagicus* population by intermittent breeding. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **303**, 353–356.

Hémery G, Pasquet E, Yésou P (1986b) Data banks and population monitoring in France. In: *Mediterranean Marine Avifauna, Population Studies and Conservation. NATO ASI Series G 12* (ed. Monbaillu M), pp. 163–177. Springer Verlag, Berlin.

Hémery G, Wald L (1986) *Etude par thermographie IR des fronts de marée et des déplacements de masses d'eaux sur les côtes atlantiques françaises et en Manche occidentale*. MNHN/SRETIE, Paris.

Herbland A, Quéro JC (1998) Oceanography of the bay of Biscay. *Oceanologica Acta*, **21**, 388 pp.

Horwood J, Cushing D, Wyatts J (2000) Planktonic determination of variability and sustainability of fisheries. *Journal of Plankton Research*, **22**, 1419–1422.

Hughes H (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, **15**, 56–61.

Hulme PE (2005) Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, **42**, 784–794.

Hurrell JW (1995) Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, **269**, 676–679.

Hurrell JW, van Loon J (1997) Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climate Change*, **36**, 301–326.

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

Jennings S, Dinmore TA, Duplisea DE, Warr KJ, Lancaster JE (2001) Trawling disturbance can modify benthic production processes. *Journal of Animal Ecology*, **70**, 459–475.

Jongman RHG, Ter Braak CJF, Van Tongeren OFR (1995) *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University press, Cambridge.

Kappelle M, Van Vuuren MMI, Baas P (1999) Effects of climate change on biodiversity: a review and identification of key research issues. *Biodiversity & Conservation*, **8**, 1383–1397.

Kitayski A, Golubova EG (2000) Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids. *Journal of Animal Ecology*, **69**, 248–262.

Koutzikopoulos C, Beillois P, Leroy C, Taillefer F (1998) Temporal trend and spatial structures of the sea surface temperatures in the bay of Biscay. *Oceanologica Acta*, **21**, 335–344.

Kozlov MV (2000) Climatic signatures in ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, **15**, 286–287.

Lehman PW (2000) The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. *Progress in Oceanography*, **53**, 115–139.

Leps J, Smilauer P (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data using Canoco*. Cambridge University Press, Cambridge.

MacLeod CD, Bannon SM, Pierce GH, Schweder C, Learmonth JA, Herman JS, Reid RJ (2005) Climate change and the cetacean community of north-west Scotland. *Biological Conservation*, **124**, 477–483.

Møller AP (2002) North Atlantic Oscillation (NAO) effects of climate on the relative importance of first and second clutches in a migratory passerine bird. *Journal of Animal Ecology*, **71**, 201–210.

Ormerod SJ (2003) Current issues with fish and fisheries: editor's overview and introduction. *Journal of Applied Ecology*, **40**, 204–213.

Pinnegar JK, Jennings S, O'Brien CM, Polunin NVC (2002) Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology*, **39**, 377–390.

Post E, Peterson RO, Stenseth NC, McLaren BE (1999) Ecosystem consequences of wolf behavioural response to climate. *Nature*, **401**, 905–907.

Quéro JC, Dardignac J, Vayne JJ (1989) *Les Poissons du Golfe de Gascogne*. IFREMER & MNHN, Brest, 229 pp.

Quéro JC, Porché P, Vayne JJ (2003) *Guide des Poissons de l'Atlantique Européen*. Delachaux & Niestlé, Paris.

Quéro JC, Vayne JJ (1997) *Les Poissons de Mer des Pêches Françaises*. Delachaux & Niestlé, Paris.

Reid PC, Edwards M, Hunt HG, Warner AJ (1998a) Phytoplankton change in the North Atlantic. *Nature*, **391**, 546.

Reid PC, Planque B, Edwards M (1998b) Is observed variability in the long-term results of the Continuous Plankton Recorder survey a response to climate change? *Fisheries Oceanography*, **7**, 282–288.

Richardson AJ, Schoeman DS (2004) Climate impact of plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, **305**, 1609–1612.

Rodriguez C, Bustamante J (2003) The effect of weather on lesser kestrel breeding success: can climate change explain historical population declines. *Journal of Animal Ecology*, **72**, 793–810.

Scheffer M, Carpenter SR (2003) Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observations. *Trends in Ecology & Evolution*, **18**, 648–656.

Schreiber EA (2001) Climate and weather effects on seabirds. In: *Biology of Marine Birds* (eds Schreiber EA, Burger J), pp. 179–207. CRC Press, Boca Raton, FL.

Schwing FB, Murphree T, Green PM (2003) The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, **53**, 115–139.

Seber GAF (1982) *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*, 2nd edn. Griffin, London.

Skellam JG (1958) The mathematical foundations underlying the use of line transect in animal ecology. *Biometrics*, **14**, 385–400.

Souissi S, Ibanez F, Ben Hamadou R, Boucher J, Cathelineau AC, Blanchard F, Poulard JC (2001) A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France). *Sarsia*, **86**, 527–542.

Steele JH (2004) Regime shifts in the ocean: reconciling observations and theory. *Progress in Oceanography*, **50**, 245–262.

Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell JW *et al.* (2003) Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London Séries B*, **270**, 2087–2096.

Stenseth NC, Mysterud A (2005) Weather packages: finding the right scale and composition of climate in ecology. *Journal of Animal Ecology*, **74**, 1195–1198.

Ter Braak CJF, Smilauer P (2002) *CANOCO Reference Manual and Canodraw for Window's user guide: software for Canonical Community Ordination (version 4.5.)*. Microcomputer Power, Ithaca, NY.

Thompson PM, Ollason JC (2001) Lagged effects of ocean climate change on fulmar population dynamics. *Nature*, **413**, 417–420.

Wolter K, Timlin MS (1998) Measuring the strength of ENSO – how does 1997/1988 rank? *Weather*, **53**, 315–324.

Supplementary material

The following material is available for this article online:

Appendix S1. The abundance matrix used in the study for community analysis using CA. Abundance is expressed as the mean number of individuals detected under standardized conditions per nautical mile. Only data from 1979 were used to investigate patterns and trends in seabirds and cetaceans community given that this kind of multivariate analysis admits no missing values.

This material is available as part of the online article from http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

Please note: Blackwell Publishing are not responsible for the content or functionality of any supplementary materials supplied by the authors. Any queries (other than missing material) should be directed to the corresponding author for the article.

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01471.x

ANNEXE VI c :

Article intitulé « Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil arrival: lesson from the "prestige" oilspill in Aquitaine (France)» publié dans la **revue internationale** « **ARDEOLA** » (2007). Cette article présente l'étude pluridisciplinaire de grande ampleur menée par l'ERMMA sur les données collectées au moment de la marée noire du Prestige (ERMMA, CEDRE, DIREN Aquitaine, principaux centres de soins (UMSOM, Hégalaldia)…) et sur **l'impact de la marée noire en Aquitaine**.

Ardeola 54(2), 2007, 289-307

ESTIMATING ACTUAL SEABIRDS MORTALITY AT SEA AND RELATIONSHIP WITH OIL SPILLS: LESSON FROM THE "PRESTIGE" OIL SPILL IN AQUITAINE (FRANCE)

I. CASTEGE* [1], Y. LALANNE**, V. GOURIOU***, G. HEMERY*, M. GIRIN***, F. D'AMICO**, C. MOUCHES**, J. D'ELBEE****, L. SOULIER***** †, J. PENSU††, D. LAFITTE††† and F. PAUTRIZEL*****

SUMMARY.—*Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil spills: lesson from the "Prestige" oilspill in Aquitaine (France).*

Aims: Estimations were made of seabirds mortality at sea and drift in relationship with oil arrival during the "Prestige" oilspill.

Location: South Bay of Biscay (Aquitaine), South-West France.

Methods: meteorological data (Météo France), the amount of hydrocarbons collected along the coast line (CEDRE), number of beached seabirds (UMSOM, DIREN) and their distribution and abundance on wintering areas at sea (MNHN-LAPHY), to assess the joint drift of oiled animals and of hydrocarbons in the south Bay of Biscay (Aquitaine) during the "Prestige" oilspill. For the first time at the time of an oil slick, we experimentally dropped into the open sea (off the French basco-landaise coast) ringed corpses of guillemots *Uria aalge* in order to estimate by capture-recaptures approach the rate of reported bodies (1 over 121) at the coast and thus to appreciate the total mortality of the populations of seabirds (UPPA-MNHN).

Results: It is estimated that seabirds mortality was eleven times the amount of beached birds collected on the Aquitaine coasts. That result was in accordance with the decrease in the number of guillemots (the most beached species) observed at sea after the "Prestige" shipwreck.

Conclusions: It is demonstrated that the pooling of databases of different natures and origins was necessary to assess the impact of oil spill pollutions, such as those of "Erika" and "Prestige", on the animal populations and more generally for marine biodiversity conservation.

* Muséum National d'Histoire Naturelle (USM 305-Conservation des espèces. Département Ecologie Gestion de la Biodiversité). Plateau de la Petite Atalaye, Biarritz, F-64200 France.

** UFR Sciences & Techniques de la Côte Basque - Département d'Ecologie, Université de Pau et Pays de l'Adour, 1 allée du Parc Montaury, Anglet, F-64600 France.

*** Centre of Documentation, Research and Experimentation on accidental water pollution, 715 rue Alain Colas CS 41836, Brest Cedex 2, F-29 218 France.

**** Laboratoire d'Analyses de Prélèvements Hydrobiologiques, 1341 chemin d'Agerrea, Ahetze, F-64210 France.

***** Centre de la Mer Côte Basque (Biarritz), Plateau de la Petite Atalaye, Biarritz, F-64200 France.

† Institut des Milieux Aquatiques, 1, rue de Donzac BP106, Bayonne Cedex, F-64101 France.

†† Unité Mobile de Soins aux Oiseaux Marins - Bretagne Vivante - 186, rue Anatole France - BP 63121, Brest Cedex 3, F- 29231 France.

††† Météo France Aquitaine, Aéroport du BAB, Anglet, F-64600 France.

[1] Corresponding author: iker.castege@univ-pau.fr

Key words: Oil spill, "Prestige", impact, seabirds, mortality estimate, drift experiment, capture-recapture.

RESUMEN.—*Estimación de la mortalidad de aves marinas en altamar y su relación con los vertidos de petróleo: caso de la marea negra del "Prestige" en Aquitania (Francia).*

Objetivos: Estudiamos la mortalidad y la deriva de las aves marinas en mar abierto en relación con la llegada de petróleo durante de la marea negra del "Prestige".

Localidad: Sur del Golfo de Vizcaya (Aquitania), Suroeste de Francia.

Métodos: Hemos relacionado informaciones meteorológicas (Météo France), las cantidades de petróleo colectadas sobre las costas (CEDRE), las cantidades de aves varadas (UMSOM, DIREN) y sus distribuciones o abundancias en los lugares de invernada en altamar (MNHN-LAPHY), para estimar la deriva combinada de las aves y del petróleo en el sur del golfo de Vizcaya durante la marea negra del "Prestige". Por primera vez, durante una marea negra se anillaron cadáveres de arao común *Uria aalge* en altamar para estimar la tasa de cuerpos recobrados por medio del método de captura-recaptura (1 sobre 121) en la costa. Así se pudo estimar la mortalidad total de las poblaciones de aves marinas en Aquitania debidas a la marea negra del "Prestige" (UFR-MNHN).

Resultados: Estimamos que la mortalidad de los aves marinas fue once veces mayor que el número de aves recolectadas en las costas de Aquitania. Este resultado está de acuerdo con la disminución del número de araos comunes (la especie que más se encontró en las playas) observada en el mar después del naufragio del Prestige.

Conclusiones: Demostramos que el cruce de base de datos de distinta naturaleza y origen es necesario para estimar el impacto de una marea negra por petróleo (como la del "Erika" o "Prestige") sobre las poblaciones de aves marinas y de forma más general sobre la conservación de la biodiversidad marina.

Palabras clave: marea negra, "Prestige", impacto, aves marinas, estimación de mortalidad, experimentación de deriva, captura-recaptura.

INTRODUCTION

Every year, in world's oceans and seas, oil spills from ships (either illicitly and deliberately or at the time of shipwrecks) are responsible for the death of a large number of seabirds (Camphuysen, 1998; Camphuysen *et al.*, 2001; Clark; 1992, Heubeck *et al.*, 2003; Wiese *et al.*, 2003). Around the world, most public and research attention has been given to the effects of large catastrophic spills created by accidents such as the "Exxon Valdez" in Alaska, "Torrey Canyon" in British Coast, "Braer" in Shetland Islands, "Sea Empress" in Wales or "Amoco Cadix" in France -where 30 000 to 37 0000 seabirds were killed and collected on the coastline- (Bourne, 1979; Holme, 1969; Ford *et al.*, 1996; Edwards and White, 1999; Piatt *et al.*, 1990).

In France, in the Bay of Biscay, after the "Erika" shipwreck (12 December 1999), which poured 20 000 tons out of its cargo of 30 000 tons of heavy fuel and soiled the French coast, overall 74 000 oiled birds (among them 32 000 and 42 000 seabirds and seaducks, alive and dead respectively; see Cadiou *et al.*, 2003, 2004) were collected on the coast including 80 % oiled Guillemot, the most frequently beached species. More recently, 23180 killed birds (6 120 alive and 17 061 dead) including 90 species were collected in Spain, Portugal and France (including 2 831 killed birds from 29 species only for France) at the time of the oil slick which followed the "Prestige" shipwreck (13 November 2002) near to the Finistere Cape in Galicia (Spain) with 77 000 tons of fuel on board spilling some 63 000 tons at sea (Garcia *et al.*, 2003; CEDRE & Diren Aquitaine, *pers. com.*).

Obviously, any impact of oil surface pollution on seabirds neither depends only on the quality of the fuel nor the total amount poured at the time of the shipwreck (the same is true for illicit discharge in the marine environment) but also varies considerably with the geographic location of the spill, the season during which it occurs, environmental weather conditions as wind and streams (Wiese *et al.*, 2003) and the ecology of the species affected (Reid *et al.*, 2001). Indeed, the drift and dispersal at sea over large distance and thus the subsequent arrival on the coast of floating material such as waste or hydrocarbons, corpses of birds died at sea, depend closely on the direction and the speed of the wind (Wiese *et al.*, 2003; Hope Jones *et al.*, 1968). Moreover, the impact of any oil slick is likely to have an important effect when it occurs during winter (non breeding period) when more species and higher numbers of marine birds are present. It is especially true in the south of the Bay of Biscay given that it is a major wintering zone for many birds species (Hémery, 1985; Castège *et al.*, 2004).

The impact of oil pollution on seabirds is well documented and in many parts of the world, systematic surveys of beached corpses of birds (Beached Bird Surveys) have been used (Camphuysen and Heubeck, 2001; Seys *et al.*, 2002; Wiese *et al.*, 2003). However, if both absolute and relative abundance of dead and live seabirds species found oiled along coastline (so called "beached birds") are usually considered indicators of oil pollution events over time and space, very little is known about the real impact of such contamination on these species at sea. Obviously, after oil spills, only one fraction of these live and dead oiled individuals can be found on the beach. The remnant is made up of oiled specimens dying and disappearing at sea following sinking, decomposition or predation and also of individuals actually beached at inaccessible sites and thus not found (Tanis and Mozer-Bruyns, 1968; Hope-Jones *et al.*, 1970; Flint *et al.*, 1999). As a major consequence, those birds are not taken into account in "oiled bird census".

This study had three aims. The first was to study the relationship between oiled beached birds abundance and arrivals of hydrocarbons along Aquitaine coast using environmental data, bird abundance distribution data at wintering zones at sea and data on oiled seabirds and total amount of hydrocarbons collected at various beaches. The second, very original in the sense that it was carried out for the first time exactly at the time of the oil slick, was to launch an original release experiment of corpses of guillemots at sea off the coast which received most impact ("basque and landesaise" coast) in order to estimate the fraction of the oiled individuals which died and were not found subsequently on the coast following the "Prestige" oilspill. Guillemot corpses were ringed so that capture-recapture (CMR) estimates provided the rate of discovery of individuals at the coast and thus enable to appreciate the total mortality of seabirds. Eventually those results were compared with the spatio-temporal distribution at sea of species in the absence of pollution.

MATERIAL AND METHODS

The study area is located along the Aquitaine coast (Fig. 1) where almost all oiled beached birds were collected and oil arrivals recorded in France. Data for oiled beached birds were collected from the 1 January 2003 (when the first oiled birds were discovered and collected by various rehabilitation centres along the Aquitaine coast) and the 31 March 2003 (when the main wildlife rehabilitation centres closed). Data relative to oil arrivals were collected from 1 January 2003 (when the first oil arrivals on the beaches were noted) and 15 May 2003. Data of the national long-term data base (1980 - 2004) standardized monitoring study of abundance at sea of seabirds and cetaceans were used (Hémery *et al.*, 1985; Castège *et al.*, 2004).

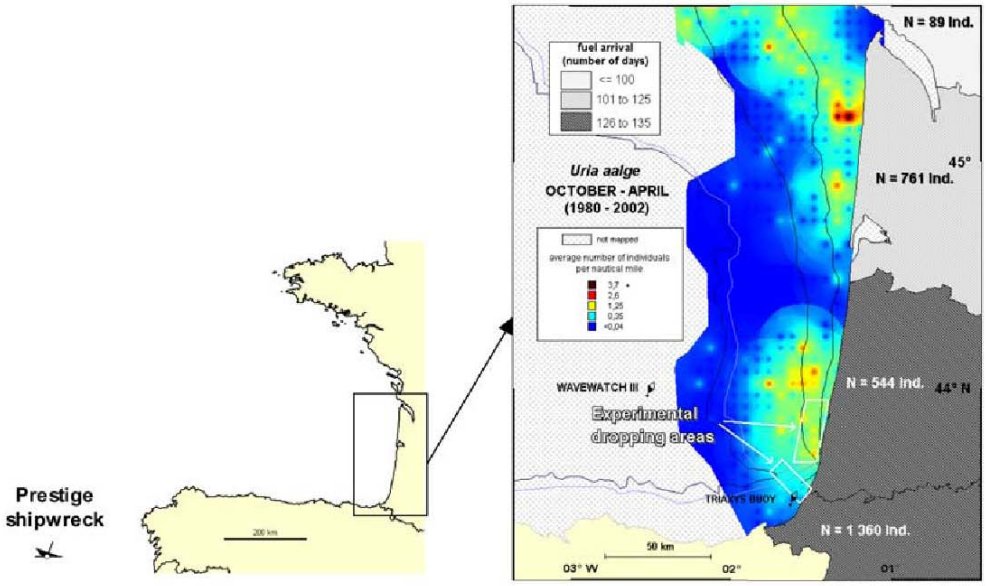


FIG. 1.—Left: location of the "Prestige" shipwreck and the study area. Right: geographical distribution of guillemot abundance at sea in winter (October - April 1980 - 2002, abundance expressed as the average number of individuals per nautical mile); experimental dropping areas ; location of WAVEWATCH III and Triaxys buoy; number of beached birds and days of oil arrivals on the coast represented by administrative regions (Pyrénées-Atlantiques, Landes, Gironde, Charentes-Marîtimes).
[Izquierda: localización del hundimiento del "Prestige" y de las áreas de estudio. Derecha: distribución y abundancia de las araos en alta mar durante el invierno (octubre— abril 1980 - 2002; abundancia expresada por el número medio de individuos por milla náutica); zonas experimentales donde se depositaron los cadáveres; localización del WAVEWATCH III; número de aves varadas en la plaza y días de la llegada de petróleo a la costa de las distintas regiones administrativas.]

Data collection

Weather data

Use was made of environmental conditions known to affect the number of oiled birds (dead or alive) found on the beach (Wiese *et al.*, 2003) such as wind direction, speed and frequency. Weather information (wind speed and direction) and sea state were obtained from "La Tour des Signaux" station based on the Adour estuary (3 measurements per day at 9 a.m., 11 a.m., 17 p.m.) and the Météo France station located in Biarritz city. Off-shore wind data (i.e. coming from coast and transporting ashore floating waste) and on-shore wind data were respectively coded –1 and +1 and multiplied by the wind speed. Data for swell (height, mean period and direction) were measured in situ by a Triaxis directional wave buoy ashore off Bayonne (location: 43°31' N, 1°36.8' W; Abadie *et al.*, 2005; Fig. 1). This TRIAXIS wave buoy (Axys Technology) performs hourly measurements and proceeds to the computation of statistical and spectral wave parameters for the measurement period. These parameters were sent every hour to the coastal station located at the Adour river mouth.

A second data set composed by WAVEWATCH III (Tolman, 1991; 1999) was used to complete the TRIAXIS dataset. WAVEWATCH III is a third generation spectral model used for instance by the U.S. Navy to give simulations of sea states every three hours (*http://www.fnmoc.navy.mil*; location 44°N, 2°30'W).

Beached birds data

Daily data of oiled seabirds (alive or dead) were collected by various wildlife rehabilitation centres [Hegalaldia, Biarritz (64) ; Union Française des Centres de Sauvegarde de la faune sauvage (UFCS) - Unité Mobile de Soins pour Oiseaux Mazoutés (UMSOM), Pouydesseaux (40); LPO-Certe (33)] along the Aquitaine coast (Fig. 1) between January and March 2003. This data set was made available to us by the "DIREN Aquitaine" (Bordeaux).

Oil arrivals data

Daily quantities of hydrocarbons were collected at various beaches along the Aquitaine coast by the Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution (CEDRE) which was responsible for the activity of depolluting sites.

Total mortality estimate for seabirds

Experimental release of corpses

An estimation of the rate of discovered beached individuals is required to assess the total mortality of the populations of birds. Using a CMR approach (Graham Bell, 1974; Seber, 1982), we experimentally released at sea 121 ringed corpses of guillemots, the most collected species in term of number of individuals collected on the coast after the "Erika" and "Prestige" oil spill (Cadiou *et al.*, 2004). The chosen released zones corresponded both to the coast line which received most impact from the "Prestige" pollution and to sectors used by wintering guillemots (Fig. 1). The corpses of freshly dead oiled guillemots collected in different rehabilitation centres were used and marked with combinations of standard metallic MNHN rings and an additional band made of a large (3 x 5cm) orange plastic flag. The experiment was replicated on three dates (February 18, March 18 and April 18, 2003), releasing corpses from coastguard vessels following a line transect methodology. For each experiment, two samples were used: the first on a South-east - North-west transect along the Basque Coast and the second along a South-North transect along the Landesaise Coast (Fig. 1). Each corpse was released every 800 m along the transect, their geographical coordinates being systematically recorded using a Global Positioning System.

Assessment of floating time

An additional *ex situ* experiment (aquariums at the Biarritz "Sea Museum") was carried out to estimate the floating time of the specimens at sea before sinking naturally. This parameter is required in the drift model for corpses (see below). At the same time, a sub-sample (from the sample of dead birds used in the release experiment at sea) made of 8 oiled corpses of guillemots recovered from the rescue centres was plunged in salt water aquariums pumped directly at sea and constantly renewed to mimic natural conditions (air and sea temperature, salinity, microbial communities...).

Corpses drift modelling

Time vectors of the corpses drift were obtained using wind direction and intensity measured 3 times a day (9 am, 11 am, 5 pm) multiplied by a drift coefficient at sea (see Appendix

1 for details). This coefficient is estimated for corpses of guillemot on average to 2.5 % of the wind speed (Hope Jones *et al.*, 1970; Wiese and Jones, 2001). In the study area, the surface current was considered negligible (SHOM, 1973) and thus was not integrated into the drift model. Eventually, modelling drifting guillemot corpses along the Aquitaine coast was performed using Statistical Analysis System (SAS institute).

Total mortality estimation

Estimates for the total mortality of the populations of seabirds (including in particular the oiled individuals which died at sea or were beached but not found on the coast) were derived from the average impacted birds number using mark-recapture method during the release experiment (18 February - April). Asymptotic Standard Error (ASE) was calculated by SAS software (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, release 8.2). Because wind speed and direction strongly influenced the number of beached birds, a wind coefficient (W) was calculated for each period using the wind on-shore rate.

$W = \Sigma$ on-shore wind velocity / Σ wind velocity

The estimated impacted bird number obtained during the release experiment (February - April) was extrapolated to the beginning of the disturbance event (04 January - February) knowing the wind coefficient for the two periods (see § 3.2).

Statistical analysis

Principal Component Analysis (PCA) was used to investigate linear correlations between weather parameters (wind speed an direction), swell (height, mean period and direction), oiled beached birds arrivals and hydrocarbons arrivals (Stabox V. 6.3). The PCA matrix related to 15 explanatory variables [wind (measures per day and added by step of one day time), swell (height, mean period and direction), state of the sea] and 12 variables to explain (additional) [oiled beached birds (alive, dead and total) day per day and shifted by step of one day time, arrivals of hydrocarbons on Aquitaine coast] and on 72 statistical units (January 19 at March 31, 2003). Prior to analysis each variable was normalized. Correlation analysis between hydrocarbons arrivals, beached birds arrivals and weather data was performed using non parametric Kendall test (SAS institute V.8).

RESULTS

Total mortality estimate of the marine bird populations

The *ex situ* experiment with floating corpses in salted water aquariums indicated that all the individuals were already steadily decomposed when 20 days old and sank between 25 and 30 days, respectively. A maximum floating time of 30 days was logically retained and it was assumed that beyond 30 days at sea, all guillemots corpses have disappeared. Thus, no simulation was carried out beyond 30 days in the drift model.

Using the simple drift model (Appendix 1), theoretical routes were mapped for each of the 121 released birds (Fig. 2). During this simulation period of bird corpses drift, wind conditions were almost offshore (61 % with 44.5 % of south-eastern) carrying away (*i.e.* ashore) all floating material including bird corpses (Fig. 2). It appeared that a majority of dropped birds (n = 84) would have disappeared at sea after 30 days. Among the 121 corpses of oiled ringed guillemots released at sea, the model indicated that 37 birds should have been beached along Pays Basque and Landes coast (Fig. 2). However, only one guillemot (FU0991) was recaptured on 19 April, 2003 on the beach of Anglet

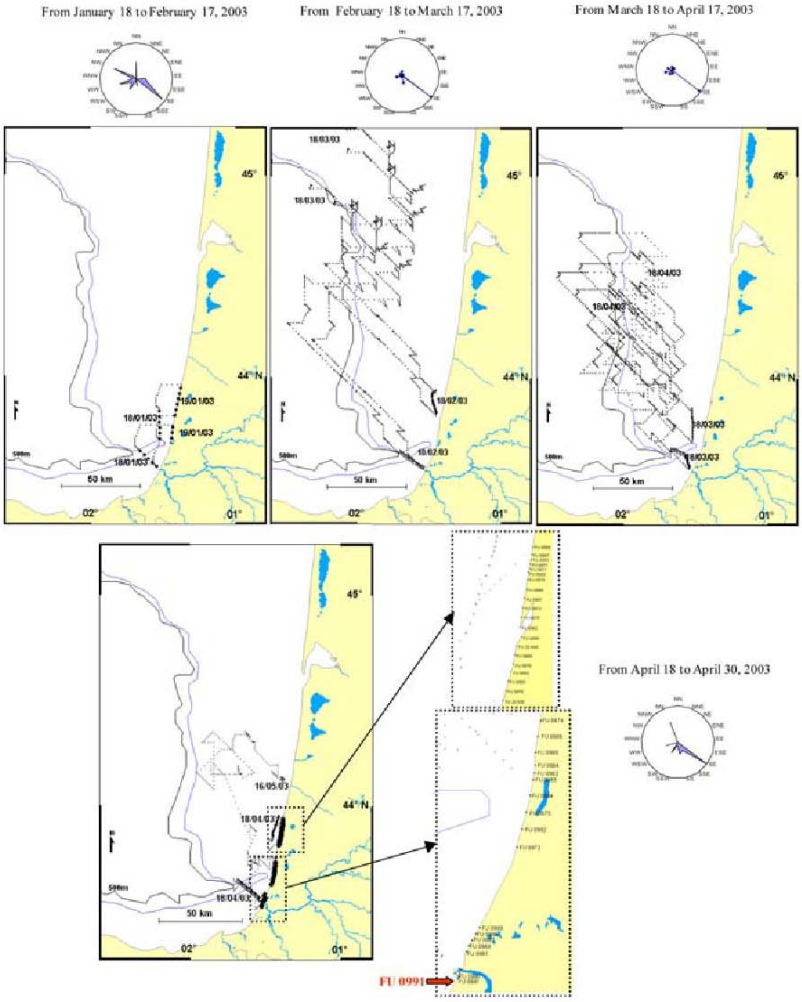


FIG. 2.—Drift model of guillemots corpses at sea : theoretical route for each bird is represented from the dropping point till disappearance or beach arrival; **b)** *n* = 40 corpses, drift from February 18 to March 17; **c)** *n* = 41corpses, drift from March 18 to April 17; **d)** *n* = 40 corpses, drift from April 18 to April 30. The recaptured corpse (FU 0991) the April 19, 2003 is represented. **a)** drift simulation from 18 January to 17 February of a virtual sampling from the same dropping area (*n* = 11 corpses). Wind direction (number of days) is also represented for each drift simulation period.
[Modelo de deriva de los cadáveres de las araos en el mar: ruta teórica de cada aves representada desde el punto desde el cual se arrojo al mar hasta su desaparición o llegada a la playa; ***b)*** n = *40 cadáveres, derivas desde el 18 de febrero al 17 de marzo;* ***c)*** n = *41 cadáveres, derivas desde el 18 de marzo al 17 de abril;* ***d)*** n = *40 cadáveres, derivas desde el 18 al 30 de abril. La recaptura del cadáver (FU 0991) del 19 de abril de 2003 se representa: a) como la simulación de la deriva desde el 18 de enero al 17 de febrero de una muestra virtual de la misma área donde se arrojaron las aves* (n = *11). La dirección del viento (número de días) se representa también para cada periodo de simulación de derivas.]*

TABLE 1

Compared estimates of birds impacted in the study area during the "Prestige" oil spill: A) mortality estimate from beached bird census (data collected by various rehabilitation centres); B) total mortality estimate from CMR modelling, the recapture probability was estimated during the second period (P2, released corpses at sea experiment). Then, the estimated impacted bird number of the second period was extrapolated to the first one knowing the wind conditions (see text).
[Comparación de las estimas de aves afectadas por el vertido del "Prestige" en el área de estudio: A) mortalidad estimada por censo de las aves varadas en las playas (datos obtenidos por varios centros de rehabilitación); B) mortalidad estimada a partir de los modelos de captura-recaptura (CMR), la probabilidad de recaptura se estimó para el segundo periodo (P2, cadáveres arrojados al mar de forma experimental). Conociendo éstas y las condiciones de viento, se pudo extrapolar el número de aves afectadas en el primer periodo (P1; ver texto).]

Period	**Beached bird number**	**Wind coefficient (*W*)**	**estimated impacted bird number (*n*)**	**Asymptotic Standard Error**		**recapture probability (*P*)**
				n	*p*	
January 04 - February 17 (P1)	2 612	0.6483	18 739	18 807	-	-
February 18 - April 30 (P2)	95	0.3979	11 501	11 543	0.00823	0.00826
TOTAL	2 707	1.04	30 240	22 067	-	-

(Fig. 2). It is important to note that this unique catch was made exactly at the time and at the location where the simulation model indicated it (Fig. 2d).

Capture Marking Recapture modelling provided an estimation of the value for total mortality equal to 30 240 killed birds in Aquitaine area (Table 1). This estimate was eleven times the amount of beached birds collected despite a large Asymptotic Standard Error (ASE).

Correlation between arrivals of oiled beached birds, hydrocarbons and environmental conditions

The two dimensional plan provided by PCA explained 75 % of the total variance (Fig. 3). The active variables, apart from the period and the direction of the swell, were very well represented and correlated positively. The explanatory variables describing wind strongly contributed to the formation of the PC1, the maximum contribution being for 7 days of cumulated wind. The state of the sea, the height and the period of the swell contributed to the formation of the PC1 and PC2 and were strongly correlated. The number of beached birds (alive, dead and total) and oil arrivals were well represented on the correlations circle of the PC1 x PC2 plan and expressed as a gradient along the PC1. The number of beached birds (alive, dead and total) were strongly correlated but not synchronised directly with arrivals of hydrocarbons.

Beached birds were strongly correlated with the wind measured the very same day ($P < 0.05$, Kendall test; January - February included when all the rehabilitation centres were operational). The oil arrivals were strongly and significantly correlated with birds beached 8 days before ($P < 0.05$; January - February included; Fig. 4). Oil arrivals were strongly correlated with the variables described by 7 days of cumulated wind ($P < 0.05$, Kendall test; January - March included). The state of the sea (strong-

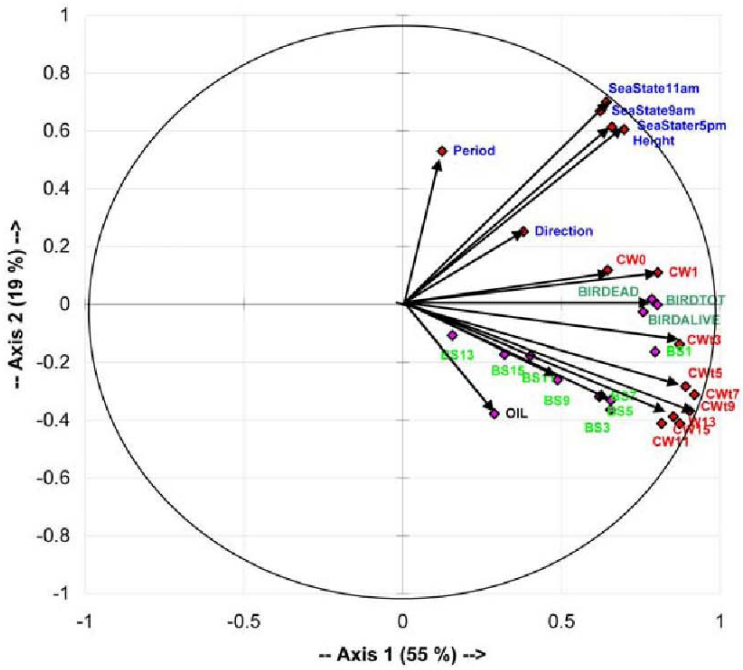


FIG. 3.—Correlation circle within the PC1-PC2 plan of the Principal Component Analysis (PCA). The fraction of the variance captured by the PC's is indicated on the axis. Abbreviations used: **CW** = wind cumulated (added by step of one day time), **Height, Period and Direction** = Swell, **BirdDead, BirdAlive** and **BirdTotal** = Beached birds collected, **BS** = Beached birds shifted by step of one day time, **Sea state** (measured 3 times a day) and **Oil** = arrivals of hydrocarbons .
[Representación circular de las correlaciones de los componentes principales (PC1-PC2) obtenidos del Análisis de Componentes Principales (PCA). La fracción de la varianza capturada por cada PC se indica en el eje.]

ly correlated with wind intensity), height, period and direction of the swell were not strongly correlated with beached birds (alive and/or died) and the oil arrivals.

DISCUSSION

Total mortality estimate of the marine bird populations

As several other authors have done, here too it is pointed out that after other spills offshore winds versus onshore winds can be an explanation of the decreasing number of birds drifting ashore in one period (Stowe, 1982, in Camphuysen *et al.*, 2001). During the "Prestige" crisis, weather conditions have strongly influenced the number of beached birds. This explained the poor rate of simulated beached corpses (only 37 individuals over 121 released at sea could have been found on the beaches according to our drift model), due to frequent offshore winds (61 %) moving ashore corpses which disappeared at sea (Fig.2), a result in accordance with previous studies using wood-

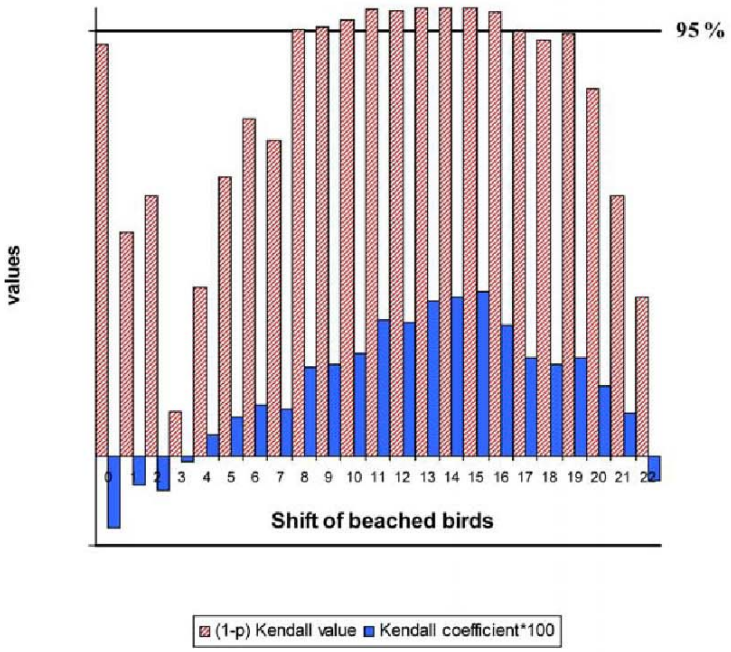


FIG. 4.—Correlation Kendall test between oil arrivals and beached birds shifted by step of one day time (between 0 and 22 days). The black line indicates the significant value [(1 - *P*) > 95]. The Kendall rate is presented.
[Prueba de la correlación de Kendall entre las llegadas de petróleo y de las aves a la playa con un cambio de un día por cada intervalo (entre 0 y 22 días). La línea negra indica el valor de significación [(1 – P) > 95].]

en blocks (Flint and Fowler, 1998). Disappearance was attested by the *ex situ* experiment revealing a maximum floating time of 30 days. Given the wind conditions during the crisis, if the maximum floating time provided by Wiese (2003) had been used, the same number of simulated beached birds woiuld have been found (Fig. 2). This time afloat was likely to be less if sea state (accelerating decomposition process) and predation was added. Indeed, Wiese (2003) found that 70% of floating individuals *Uria* spp. sank within 5 days whilst other sank before 20 days. The present modelling approach proved to be of great help in understanding or predicting patterns of corpses drift. The simple drift model designed on other models previously tested (Hope Jones *et al.*, 1968) was quite efficient as the only individual found (FU 0991, "Cavalier" beach (Anglet) the 19 April 2003, Fig.2) was collected exactly at the date and location expected by the drift model.

The major lesson drawn from this study was that the impact of the "Prestige" would be strongly underestimated if only collected beached birds were considered. The CMR experiment showed that the mortality during the release experiment averaged 11 500 birds corresponding to an extrapolated whole amount of 30 240 birds directly killed in Aquitaine waters by the "Prestige" oilspill; it is approximately eleven times the amount of beached birds collected. The wide ASE associated to this

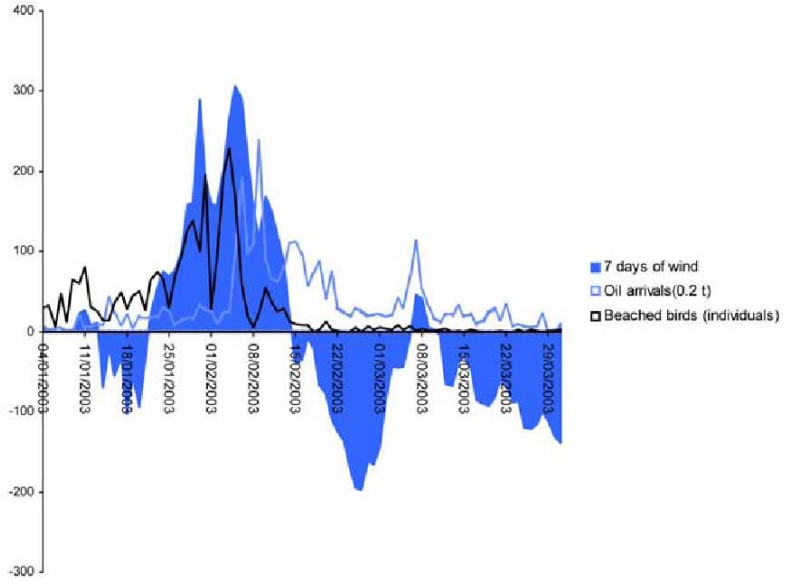


FIG. 5.—Daily variation in beached birds abundance (expressed as individual numbers day^{-1}), oil arrivals (x 0.2 tons day^{-1}) and wind (7 days of additional data.day^{-1}) during the study period.
[Variación diaria de la abundancia de aves varadas (expresada como número de individuos x día^{-1}), llegada de petróleo (x 0,2 toneladas x día $^{-1}$) y viento (7 días de datos adicionales x día^{-1}) durante el periodo de estudio.]

estimate is largely explained by the very low recapture rate. This low recapture rate is not a pitfall as a useful estimate of population size can be obtained even when no individuals have been recaptured (Graham Bell, 1974). One may also consider that the release experiment from the 18 January to the 17 February (P1; Fig. 2) was not carried out because of delayed administrative authorisation whilst the number of beached birds was maximum (Fig. 5); note that at that time, the drift model simulated virtually an important number of beached corpses (Fig. 2). Certainly, if these data could have been incorporated, the final estimation would have been more precise. Nevertheless, because wind conditions and beached birds are strongly correlated, it was decided to extrapolate the estimated impacted bird number of the second period (CMR experiment) to the first period.

During the CMR experiment (18 February - 30 April; P2), if the recapture number would have been more important, the estimated impacted bird number would have been decreasing and stabilizing quickly. The simulation (Fig. 6) indicated that the estimated impacted bird number strongly would have decreased if two extra birds had been recaptured: 11 501 (± 11 543) to 3 832 (± 6 738) respectively for 1 to 3 recaptured birds. Then the estimation decreased slowly from 4 recaptured birds. Because the estimated impacted bird number depend on the recapture number, it would be interesting to standardize the frequency and the travelled distance of beached birds survey in order to maintain a strong and continuous recapture probability.

The experimental release in April was continued because i) there were still wintering

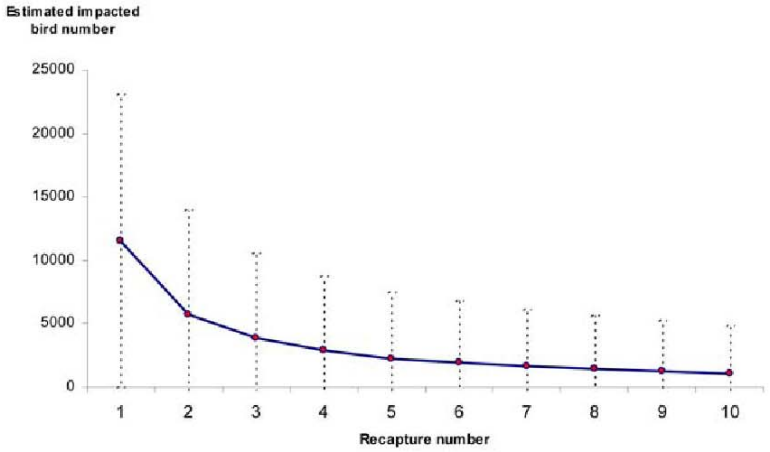


FIG. 6.—Estimated impacted bird number in relation to the number of recapture birds during the CMR experiment. Vertical bars indicate the Asymptotic Standard Error.
[Número estimado de aves afectadas en relación al número de recapturas durante el experimento de captura-recaptura (CMR). Las barras verticales indican el error estándar asintótico.]

seabirds (particularly guillemots; Fig. 7) at sea and also ii) even if most wildlife rehabilitation centres were closed some of them were not. Apart from this apparent weakness in the present study, many results were in agreement to greatly emphasize that the true impact of the "Prestige" on marine birds was far beyond the number of birds collected on the coastline. The important decrease of collected beached birds in February and March did not indicate a decrease of the mortality of seabirds at sea but on the contrary, these two months revealed a maximum abundance of seabird populations and mainly those of the Common Guillemot which was the most impacted species (Fig. 7; Castège *et al.*, 2004). Thus, the impact of the "Prestige" would have been strongly underestimated if only beached birds were accounted for, particularly during this period, because as we highlighted above, birds dead at sea drifted ashore with highly frequent off- shore winds at this time (Ruiz-Villareal *et al*, 2006).

This is not the first time that this severe underestimation has been pointed out. In Europe, if each oil spill event have been characterized by an estimate of bird mortality relying only on beached bird number, by contrast, few have tried to assess whether this estimate was reliable or not. For example, in their drift experiments, Bibby and Lloyd (1977) showed that between 11 and 59 % of ringed corpses were found on the coast (Table 2). Hope Jones *et al.* (1970) recaptured only 20 %. In 1966, after the shipwreck of the Liberian tanker "South America", the Hydrobiological Delta Institute calculated that the number of birds perished at sea was between 8 to 11 times more important than what could be counted on the coast line (*in* Tanis and Bruyns, 1968). In Alaska, after the shipwreck of the "Exxon Valdez" in 1989, using extrapolation of the number of dead birds recovered on the coastline and observations from aerial and ship-based surveys, Piatt *et al.* (1990) also estimated that the total mortality from oil pollution was 3 to 10 times more important. After the "Prestige" shipwreck, the underestimation of mortality varied from 5 to 13 times according

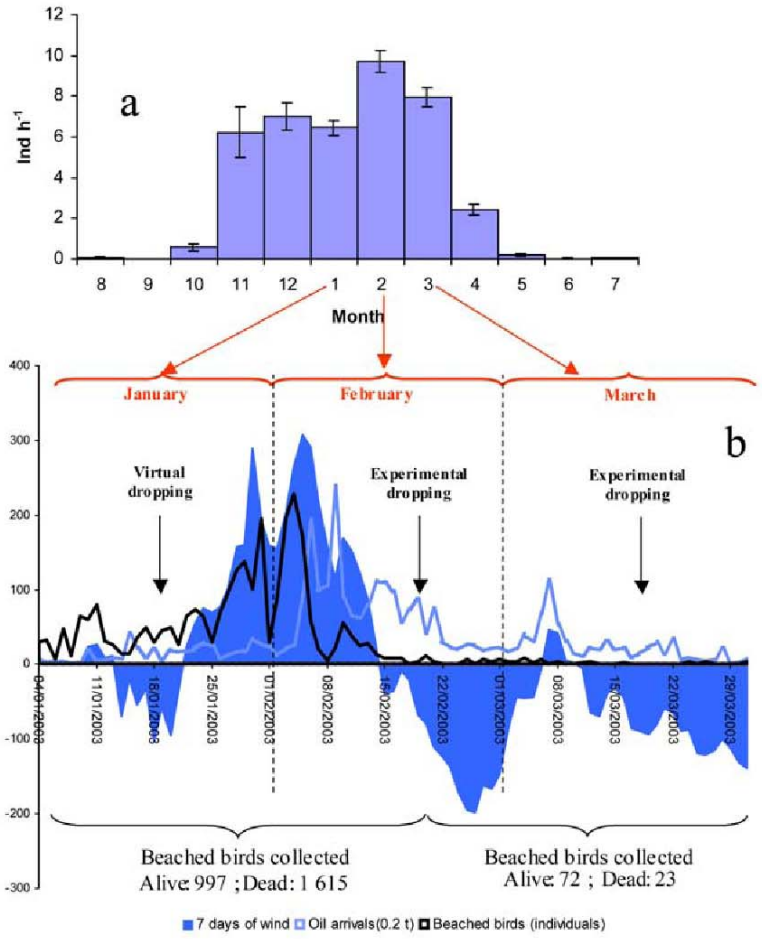


FIG. 7.—a) Seasonal variation in guillemot abundance at sea expressed by the average number of individuals per hour (1980 - 2002); b) evolution of beached birds and oil arrivals during the period of the study. *[a) Variación estacional de la abundancia de araos en el mar expresado por el número medio de individuos por hora (1980 - 2002); b) evolución de las aves varadas y de la llegada de petróleo durante el periodo de estudio.]*

to the studies (Table 2). Arcos *et al.* (2004) estimated this underestimation between 6.5 to 10.8 times more important using drift blocks experiment.

Our CMR-based study is in accordance with those results despite revealing a slightly higher underestimation (x 11) than many other studies above. This could be explained by the fact that our work used standardized methodology combining simultaneously and at the exact time of oilspill *in situ* release and *ex situ* floating corpse's experiments to match perfectly the intrinsic characteristic of the oil spill. However, caution is required before comparing any results with other estimates describing other oil spill events. Indeed, each

TABLE 2

Some total mortality estimate of marine birds (all species) quoted in literature.
[Algunas estimas de mortalidad de aves marinas obtenidas de la literatura.]

Topic	Year	Location	Beached birds collected	Estimate of total mortality death toll	Estimate Methods	Source
Experiment	1966		-	(x 8 to 11)	?	Tanis and Bruyns (1968)
Drift carcasses experiment	1973-1974	Irish Sea	-	11 % to 59 % (x 1.7 to 9)	CMR	Bibby and Lloyd (1977)
Drift carcasses experiment	1969	Irish Sea	-	20 % **(x 5)**	CMR	Hope Jones *et al.* (1970)
Exxon Valdez	1989	Alaska	30 000	100 000-300 000 **(x 3 to 10)**	Aerial and ship-based survey	Piatt *et al.* (1990)
Erika	1999	France (Britain)	74 000	80 000- 150 000 **(x 1.1 to 2)**	Empirical	Cadiou *et al.* (2003)
Prestige	2002	Spain (Galice)	23 181	250 000-300 000 **(x 10.8 to 13)**	Empirical	Dominguez *et al.* (2003)
Prestige	2002	Spain (Galice)	23 181	115 000-230 000 **(x 5 to 10)**	Empirical	Garcia *et al.* 2003
Drift blocks experiment (Prestige)	2002	Spain (Galice)	23 181	150 000-250 000 **(x 6.5 to 10.8)**	CMR	Arcos *et al.* (2004)
Drift carcasses experiment (Prestige)	2003	France (Aquitaine)	2 707	30 240 **(x 11)**	CMR	Our study

oil spill is different and presents its own particular characteristics [(geographic location of the spill, season during which it occurs, ecology of species affected (abundance, breeders, winterers…) and environmental weather conditions such as wind].

Aside from the main trends described above, this study also revealed subtle patterns. For example, even if the estimate of the total mortality of marine birds presented an important ASE (due to a poor rate of recaptured corpses), this was in accordance with the decrease in numbers of guillemots (the most affected species) observed at sea (Fig. 8). During the three years following the "Erika" oil spill, no significant decrease in the abundance

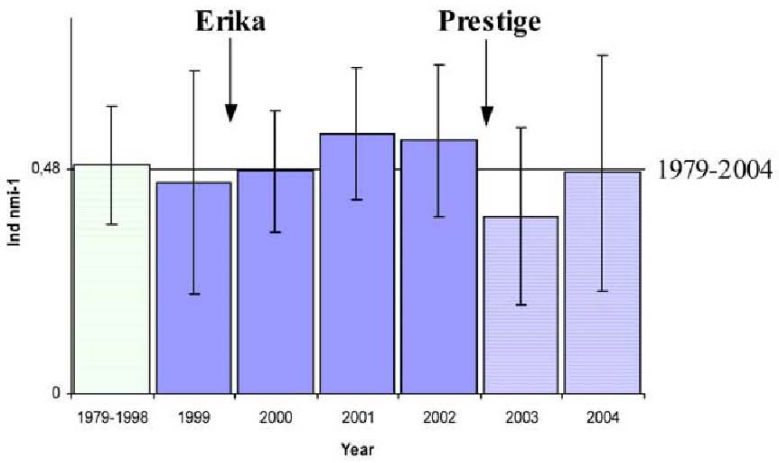


FIG. 8.—Variation of guillemots abundance (mean number of individuals per nautical mile) in the south of the Bay of Biscay (1979-2004). Verticals bars represent standard errors obtained under standardized conditions (Castège *et al.*, 2004).
[Variación en la abundancia (número medio de individuos por milla náutica) de araos en el sur del Golfo de Vizcaya (1979 - 2004). Las barras verticales representan un error estándar (Castège et al. *(2004).]*

of guillemots at sea was observed while a decrease was noted despite not significant ($P > 0.05$) after the "Prestige". This decrease could be explained by the combined effect of both oil spills. Indeed, most of the individuals present in the Bay of Biscay were young birds (< 2 years old). As they grow older and especially as they initiate breeding (at 3 - 5 years old), guillemots do not winter any more the Bay of Biscay but stay in northern areas (Cramp and Simmons, 1983). Thus, those surviving individuals from the cohorts affected by the "Erika" were likely to be not observed in the Bay of Biscay during the subsequent years. However, a low rate of juveniles production, resulting in fewer individuals being observed in the Bay of Biscay in winter, occurred three to five years after the catastrophe when these birds recruited into the breeding population. Eventually, it appeared that both the long term impacts of "Erika" and the underestimated gross mortality caused by the "Prestige" were likely to explain the decrease in the number of guillemots observed in the south of the Bay of Biscay.

The applied issue is that, because seabirds have a late sexual maturity (Schreiber and Burger, 2002), it is crucial to monitor the seabird's abundance affected by oil spills at least five years after the accident.

Correlation between arrivals of oiled beached birds and hydrocarbons

It has been demonstrated here that beached birds patterns were strongly correlated with wind measured the same day ($P < 0.05$). This suggests that birds beached on the Aquitaine coast came from a population that wintered in coastal waters where their abundance is maximum (Fig.1), and in particular Aquitaine and near Spanish areas. It is unlikely that beached birds may have come from remote areas such

as Galicia because of limited floating time and rapidity of the response.

Moreover oil arrivals were strongly correlated with the variables described by 7 days of cumulated wind ($P < 0.05$). This result is not surprising as the shipwreck occurred in a remote place and the oil drifted slowly and with complex patterns before reaching French coastal waters and soiled the Aquitaine coast (CEDRE, 2005). Oil arrivals were strongly and significantly correlated ($P < 0.05$) with birds beached 8 days before (Fig.4). This suggests that once oiled, birds reach the nearest coast mainly because of impermeability loss (Hémery *et al.*, 2005). This phenomenon can explain the early arrival of birds on the coast before the oil as this is often observed during pollution by hydrocarbons (Camphuysen and Heubeck, 2001).

The applied issue is clearly that the beached birds precede (about 8 - days advance in the case of "Prestige") the arrivals of hydrocarbons on the beaches.

Conclusion

This study showed that in the case of "Prestige", oil arrivals on Aquitaine coast were strongly and significantly correlated with birds beached 8 days before. As quoted in literature for others oil spill, this further confirm that beached birds can be used as indicators of oil pollution.

The originality and novelty in this approach was to assess real total mortality through *in situ* and *ex situ* experiments carried out exactly at the time of oil spills. The derived parameters (i.e. floating time, expected proportion and location of beached corpses, mortality estimate and confidence interval) matched perfectly the intrinsic characteristics of the oil spill, thus giving the best 'warranty' in term of estimate reliability. Furthermore, the combination of a simple drift model to a CMR experiment proved to be a powerful strategy. However, because each oil spill is different in nature and presents its particular characteristics (geographic location of the spill, season during which it occurs, ecology of species affected, environmental weather conditions…) any estimate of mortality calculated after an oil spill may not be extrapolated to others.

Broadly speaking, the main question in assessing the real impacts of any oil spill on seabirds population is to know if the number of birds recovered on beaches after the spill is true or represents only a fraction of the real mortality. In this study, it is demonstrated how the impact of the "Prestige" oil spill was strongly underestimated by the sole consideration of beached bird collection. In particular, it was obvious that off-shore wind masked the real mortality whilst bird abundance at sea was maximum (February - Mars). This leads to advocating the use of drift models, even as simple as the one proposed in this paper, either to simulate expected location of beached corpses either to assess true mortality using CMR method for example. Using such an approach, the total mortality of marine birds was demonstrated to be about eleven times the amount of beached birds collected on the Aquitaine coast.

This result is in accordance with those provided by the ongoing standardised monitoring of seabirds abundance at sea. This further explains why guillemots declined recently in the south of the Bay of Biscay; indeed, it is hypothesised that the differed impact of the "Erika" shipwreck, expected between 3 or 4 years after the catastrophe, added to the mortality caused by the "Prestige".

Because of their complexity, in particular effects delayed in time, true assessment of oil spill impact needs further monitoring of marine ecosystems on a long term basis, at least five years after the accident. More generally, the pooling of databases of different nature and origins proves to be necessary to apprehend the impact of pollutions, such as those of "Erika" and "Prestige", on the animal populations and more generally for the conservation of the marine biodiversity.

ACKNOWLEDGEMENTS.—We thank the officers and crews of the Douanes Françaises and Affaires Maritimes. Many thanks to the biologists working on ships since 1976. This work was completed in collaboration with Arnaud GUENA (CEDRE) and Nicole ROUX-HEMERY (MNHN). We thank also the voluntary workers of the various rehabilitation centres [Hegalaldia, Biarritz (64) ; Union Française des Centres de Sauvegarde de la faune sauvage (UFCS) - Unité Mobile de Soins pour Oiseaux Mazoutés (UMSOM), Pouydesseaux (40) ; LPO-Certe (33)] and the DIREN Aquitaine (Bordeaux) which provide us the beached birds data. Thanks to the "Tour des Signaux", the LASAGEC (UFR Montaury) and Philippe MOURGUIARD (IRD) for their help and data. We wish to thank also Jeannine HARAMBILLET (former manager) and the staff of the Musée de la Mer de Biarritz. We thank Joël BRIED (Universidade dos Açores) for the improvements made to the text. This work was partly funded by the Conseil Général des Landes, The Secretariat Général pour les Affaires Régionales Aquitaine and the Conseil Régional Aquitaine.

BIBLIOGRAPHY

ABADIE, S., BUTEL, R., DUPUIS H. and BRIÈRE, C. 2005. Paramètres statistiques de la houle directionnelle au large de la côte sud Aquitaine. *CR-Geoscience*, 337: 769-776.

ARCOS J. M., ÁLVAREZ D., LEYENDA P., MUNILLA I. and VELANDO A. 2004. *Seabird mortality caused by the «Prestige» oil spill: preliminary insight from a drift blocks experiment.* Abstracts of the 8º Seabird Group Meeting, Aberdeen, 2-4 abril 2004. *The Seabird Group*

BIBBY, C. J. and LLOYD C. S. 1977. Experiments to determine the fate of dead birds at sea. *Biological Conservation*, 12: 295-309.

BOURNE, W. R. P. 1979. The impact of Torrey Canyon and Amoco Cadiz oil on north french seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, 10: 124.

CADIOU, B., CHENESSEAU, D. and JOSLAIN, H. 2003. *Marée noire de l'Erika - Contribution à l'étude de l'impact sur l'avifaune. Bilan national des échouages et de la mortalité des oiseaux (BNEMO).* Rapport Bretagne Vivante-SEPNB, LPO Loire-Atlantique, Observatoire des marées noires, DIREN Bretagne.

CADIOU, B., RIAUT, L., MCCOY, K. D., CABELGUEN, J., FORTIN, M., GÉLINAUD, G., LE ROCH, A., TIRARD, C. and Bolinier, T. 2004. Ecological impact of the "Erika" oil spill: Determination of the geographic origin of the affected common guillemots. *Aquatic Living Resources*, 17: 369-377.

CASTÈGE, I., HÉMERY, G., ROUX, N., D'ELBÉE, J., LALANNE, Y., D'AMICO, F. and MOUCHÈS, C. 2004. Changes in abundance and at-sea distribution of seabirds in the Bay of Biscay prior to, and following the "*Erika*" oil spill. *Aquat. Living Resour,* 17: 361-367.

CAMPHUYSEN, C. J. 1998. Beached bird surveys indicate decline in chronic oil pollution in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin,* 36: 519-526.

CAMPHUYSEN, C. J. and HEUBECK, M. 2001. Marine oil pollution and beached bird surveys: the development of a sensitive monitoring instrument. *Environnemental Pollution,* 112: 443-461.

CHAPMAN, B. R. 1981. Effects of the Ixtox I oil spill on Texas shorebird populations. In, Proc. of the 1981 Oil Spill Conf. Am. Petrol. Inst., Washington, D.C., 461-465.

CLARK, R. B. 1992. *Marine Pollution*. Clarendon Press, Oxford.

CRAMP, S. and SIMMONS, K. E. L. 1983. *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and north Africa. The birds of the Western Palearctic.* Vol. III. Oxford University Press, London.

DOMÍNGUEZ, J. 2003. Avifauna del litoral gallego: caracterización, impacto inicial de la marea negra y perspectivas futuras. In, F. González Laxe, (Dtor): *El impacto del Prestige. Análisis y evaluación de los daños causados por el accidente del Prestige y dispositivos para la regeneración ambiental y recuperación económica de Galicia.* Fundación Pedro Barrié de la Maza, A Coruña.

EDWARDS, R. and WHITE I. 1999. The Sea Empress oil spill: environmental impact and recovery. In, Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, DC.

FLINT, P. L. and FOWLER A. C. 1998. A drift experiment to assess the influence of wind on recovery of oiled seabirds on St Paul Island, Alaska. *Marine Pollution Bulletin,* 36: 165-166.

FLINT, P. L., FOWLER A. C. and ROCKWELL R. F. 1999. Modelling bird mortality associated with the M/V Citrus oil spill off St Paul Island, Alaska. *Ecological Modelling,* 117: 261-267.

FORD, R. G., BONNELL, M. L., VAROUJEAN, D. H., PAGE, G. W., SHARP, B. E., HEINEMANN D. and CASEY J. L. 1996. Total direct mortality of seabirds from the Exxon Valdez oil spill. *American Fisheries Society Symposium,* 18: 684-711.

FURNESS, R. W. and CAMPHUYSEN, C. J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. ICES *Journal of Marine Science*, 54: 726-737.

GARCIA L., VIADA C., MORENO-OPO R., CARBONERAS C., ALCALDA A. and GONZALEZ F. 2003. *Impacto de la marea negra del "Prestige" sobre las aves marinas.* SEO/Birdlife, Madrid.

GRAHAM BELL 1974. Population estimates from recapture studies in which no recaptures have been made. *Nature,* 248: 616.

HÉMERY, G. and ROUX-HÉMERY N. 1985. *Répartition des oiseaux marins en mer Manche Atlantique (Observations par navires).* Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

HÉMERY, G., PASQUET, E. and YÉSOU, P. 1986. Data banks and population monitoring in France. In, *Medmaravis et Monbailliu. Mediterranean Marine Avifauna, Populations studies and conservation.*

HÉMERY, G., CASTÈGE, I., LALANNE, Y., D'ELBÉE, J., D'AMICO, F., SOULIER, L., ROUX, N., PAUTRIZEL, F. and MOUCHÈS C. 2005. La pollution du milieu marin: vers une "écologie de la perturbation". *Courrier de la Nature,* 220: 39-45.

HOLME, N. A. 1969. Effects of «Torrey Canyon» pollution on marine life. In, P. David (Ed.): *Hoult Oil on the sea*, pp. 1-3. Plenum Press, New York.

HOPE JONES, P., HOWELLS, G., REESE, E. I. S. and WILSON, J. 1970. Effect of Hamilton Trader oil on birds in the Irish sea in may 1969. *British Birds*, 97:110.

PIATT, J. F., LENSINK, C. J., BUTLER, W., KENDZIOREK, M. and NYSEWANDER, D. R. 1990. Immediate impact of the "Exxon Valdez" oil spill on marine birds. *Auk,* 107: 387-397.

REID, J. B., POLLOCK, C. M. and MAVOR, R. 2001. Seabirds of the Atlantic Frontier, north and west of Scotland. *Continental Shelf Research,* 21: 1029-1045.

RIDOUX, V., LAFONTAINE, L., BUSTAMANTE, P., CAURANT, F., DABIN, W., DELCROIX, C., HASSANI, S., MEYNIER, L., PEREIRA DA SILVA, V., SIMONIN, S., ROBERT, M., SPITZ J. and VAN CANNEYT, O. 2004. The impact of the "Erika" oil spill on pelagic and coastal marine mammals: Combining demographic, ecological, trace metals and biomarker evidences. *Aquatic Living Resour,* 17: 379-387.

RUIZ-VILLAREAL, M., GONZALEZ-POLA, C., DEL RIO, G. D., LANVIN, A., OTERO, P., PIEDRACOBA, S. and CABANAS, J. M. 2006. Oceanographic conditions in North and Northwest Iberia and their influence on the «Prestige» oil spill, *Marine Pollution Bulletin* 53 : 220–238.

SHOM 1973. *Courants de marée de la Côte Ouest de France, de Brest à Saint Jean de Luz*, n° 552

SCHMIDT ETKIN, D. 1999. *Marine spills worldlife: all sources. The Oil Spill Intelligence.* Report Series: 30 Years of Oil Spills. Cutter Information Cooperation, Arlington, MA.

SEBER, G. A. F. 1982. *The estimation of aninal abundance and related parameters*, 2nd Edition. Griffin, London.

SCHREIBER, E. A. and BURGER, J. 2002. *Biology of Marine Birds.* CRC Press. Boca Raton.

SEYS, J., OFFRINGA, H., VAN WAEYENBERGE, J., MEIRE, P.and KUIJKEN, E. 2002. An evaluation of beached bird monitoring approaches. *Marine Pollution Bulletin,* 44: 322-333.

STOWE, T. J. 1982. Experiment to determine the fate of bird corpses in the southern North Sea. In, T. J. Stowe (Ed.): *Beached Bird Surveys and Surveillance of Cliff-breeding Seabirds.* Royal Society for the Protection of Birds, Sandy.

TANIS, J. J. C. and MÖRZER BRUYNS, M. F. 1968. *The impact of oil pollution on sea birds in Europe.* In, International Conference on Oil Pollution of the sea - Rome, Italy 7th - 9th October, 69-74.

TOLMAN, H. L. 1991. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. *Journal of Physical Oceanography*, 21: 782-797.

TOLMAN, H. L. 1999. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA/NWS /NCEP/OMB Technical Note 166, 110 pp.

WIESE, F. K. and JONES, I. L., 2001. Experimental support for a new drift block design to asses seabird mortality from oil pollution. *The Auk*, 118: 1062-1068.

WIESE, F. K., MONTEVECCHI, W. A., DAVOREN, G., HUETTMANN, F. A., DIAMOND, W. and LINKE, J. 2001. Seabirds at risk around offshore oil platforms in the North Alantic. *Marine Pollution Bulletin,* 42: 1285-1290.

WIESE, F. K. and RYAN, P. K. 2003. The extent of chronic marine oil pollution in southeastern Newfoundland waters assessed through beached bird surveys 1984-1999. *Marine Pollution Bulletin,* 46: 1090-1101.

WIESE, F. K. 2003. Sinking rates of dead birds: improving estimates of seabird mortality due to oiling. *Marine Ornithology,* 31: 65-70.

WIESE, F.K., ROBERTSON, G. J. and GASTON, J. 2004. Impacts of chronic marine oil pollution and the murre hunt in Newfoundland on thick-billed murre *Uria lonvia* populations in the eastern Canadian Artic. *Biological Conservation,* 116: 205-216.

[Recibido: 23-03-07]
[Aceptado: 08-11-07]

APPENDIX 1 *[APÉNDICE 1]*

Simple model for corpses drift (see § 2.3.3)

$$\begin{bmatrix} D_d \\ D_i \end{bmatrix}_{t,t+1} = \delta \, \mathrm{x} \begin{bmatrix} W_d \\ W_i \end{bmatrix}_{t,t+1}$$

where:
D_d and D_i represent drift direction an drift intensity for corpses;
W_d and W_i represent wind direction (degree) and wind intensity (km per hour);
δ is the drift coefficient (in this study we assume that δ= 2.5 % for Guillemot corpses - Hope Jones *et al.*, 1970; Bibby and Loyd, 1977).

ERMMA

Environnement et Ressources des Milieux Marins Aquitains

Programme régional

Environnement et ressources des milieux marins aquitains

Le Programme régional « Environnement et ressources des milieux marins aquitains » constitue une démarche inter organismes et pluridisciplinaire comptant actuellement neuf participants principaux :

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Université de Pau et des Pays de l'Adour
UFR Côte Basque
Département d'Écologie

METEO FRANCE
Aquitaine

DOUANES FRANCAISES
Unités aéromaritimes

AFFAIRES MARITIMES
Vedettes A.E.C.

Centre de la mer
Côte Basque

LAPHY
Laboratoire d'Analyses des Prélèvements Hydrobiologiques

musée de la mer
Biarritz

ima
Institut des Milieux Aquatiques

Avec le partenariat de :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
SGAR Aquitaine

CONSEIL GENERAL DES LANDES

CONSEIL REGIONAL
AQUITAINE