

La pollution du milieu marin :



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

vers une «écologie de la perturbation»

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

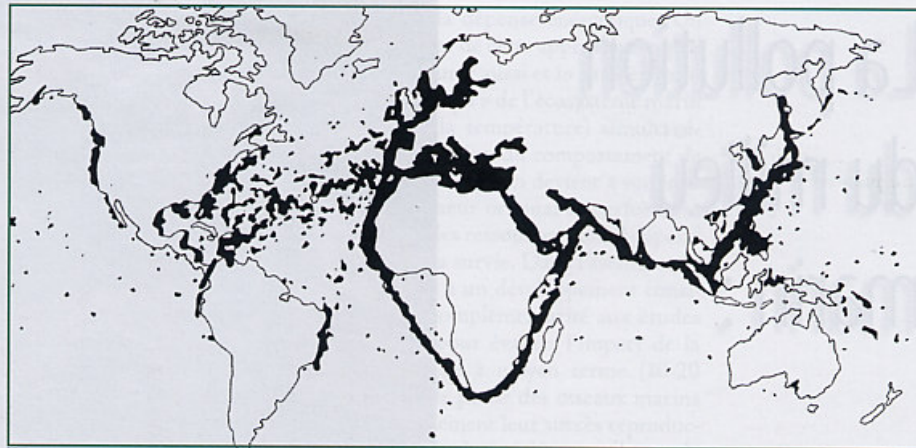
Les accidents pétroliers produisant des marées noires, sans oublier les pollutions chroniques simultanées, perdurent à l'échelle mondiale avec récemment rien qu'en Europe occidentale deux pollutions massives : l'*Erika* en 1999 dans le nord du golfe de Gascogne et le *Prestige* en 2002 qui a touché l'ensemble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

Distribution de la pollution de l'océan mondial par le pétrole. (D'après OCD, in Ramade F., *Éléments d'Ecologie. Ecologie appliquée. Ediscience internationale, 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 phy-

siologiques 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.

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

Photo Marevision/AGE Fotostock



Huître (*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.



Photo Mick Anich/AGE Fotostock-Hoaqui

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.

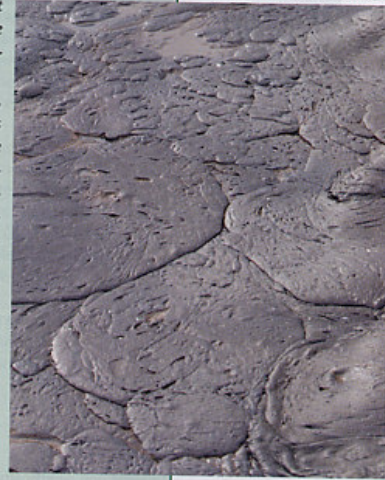
Pour plonger l'oiseau contracte son plumage chassant ainsi cette couche d'air, comme un submersible qui vide ses ballasts, ce qui permet de descendre avec les pattes ou les ailes jusqu'à 60 mètres de profondeur pour s'alimenter. La couche d'air est reconstituée une fois l'oiseau remonté à la surface 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 essaient 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*.

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 *pennanti*)

Photo Jean Bichet TOP-Hoaqui



VERS UNE ECOLOGIE DE LA PERTURBATION

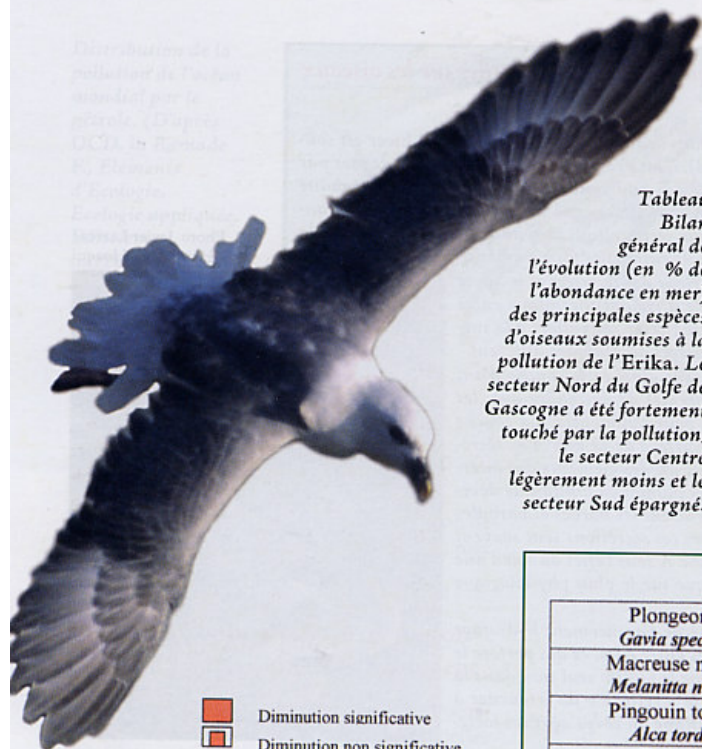


Tableau Bilan général de l'évolution (en % de l'abondance en mer) des principales espèces d'oiseaux soumises à la pollution de l'Erika. Le secteur Nord du Golfe de Gascogne a été fortement touché par la pollution, le secteur Centre légèrement moins et le secteur Sud épargné.

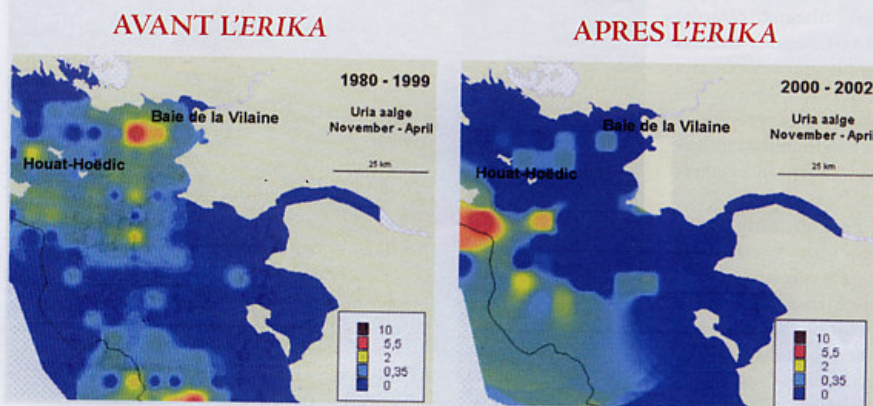
ont totalement disparu dans les trois semaines suivant l'arrivée de la pollution dans le milieu intertidal. Au printemps 2000, en l'absence de ces invertébrés « broueteurs », les algues macrophytes vertes (*Ulva* sp.) autochtones ainsi qu'une algue rouge invasive (*Grateloupia doryphora*) se sont étendues 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

- Diminution significative
- Diminution non significative
- Augmentation non significative
- Augmentation significative

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

figure 1 : Changement significatif de répartition du guillemot de Troil 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.





Photos Laurence Denaix & Hervé Graillot/SPHN

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 (plongeon *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

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

Guillemots de Troïl et mouettes tridactyles.

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 plongeurs a chuté de 52 % dans le golfe de Gascogne.

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



Photos Claude Cocagne/SPHN



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.

amment 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 Troil 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 démographie 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.

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 écophysio-physiologiques 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 détoxifier 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.



Photo Jean d'Elbée

fort du fait de la faiblesse initiale de leurs populations mondiales et de la fraction importante hivernante dans le golfe de Gascogne (plongeurs 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



Photo Claude Cocagne/SPHN

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.

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., Hémerly, 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] Hémerly, 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 Oceanografía