

que mâles et femelles de cette espèce exploitent des secteurs océanographiques différents. Ainsi les femelles se nourrissant plus au Nord étaient en contact avec les flottilles de palangriers dont les hameçons destinés à la capture des thons subtropicaux tuent des milliers d'oiseaux chaque année.

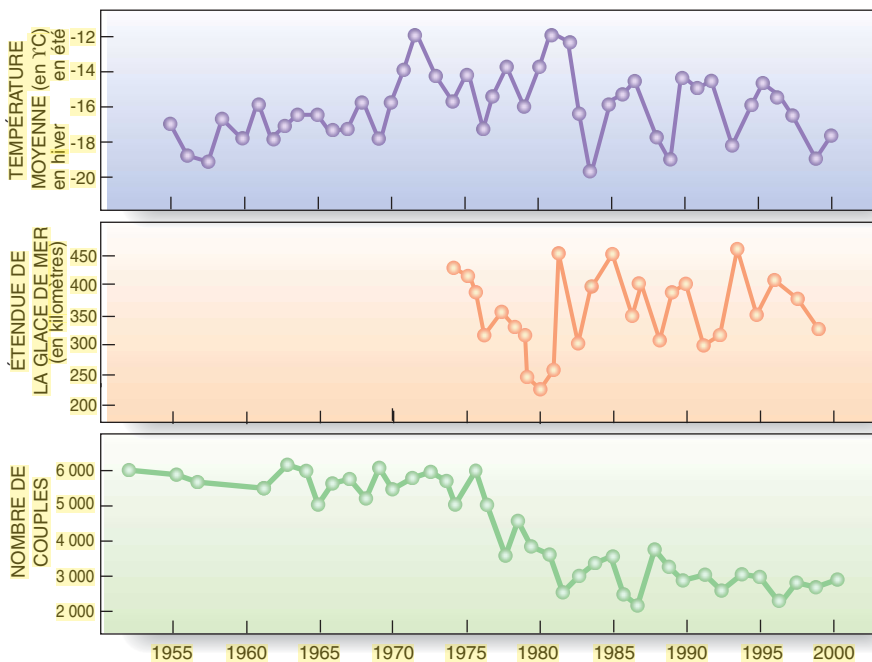
Cet exemple montre que les fluctuations des effectifs ne sont pas obligatoirement la seule conséquence de la variabilité environnementale. Les activités humaines peuvent influencer directement ou indirectement sur les populations. Ainsi, les populations d'otaries ou de manchots royaux en forte augmentation actuellement ont été exploitées massivement jusqu'au début du XX^e siècle et les effectifs du XIX^e siècle ne sont même pas encore reconstitués aujourd'hui.

On a montré que des anomalies environnementales sévissant avant ou au début de la saison de reproduction perturbent le nombre d'individus qui se reproduisent, tandis que les conditions défavorables pendant la reproduction diminuent la survie des individus l'hiver suivant. Au cours d'une étude réalisée sur une communauté de huit espèces d'albatros et de pétrels des îles Crozet et Kerguelen, nous avons cherché à comprendre comment la variabilité environnementale perturbe la reproduction de ces espèces. Des vagues d'augmentation de la température des eaux de sur-

face, dues au phénomène El-Niño, traversent l'océan Austral tous les quatre à cinq ans. Nous avons montré que, pour les espèces exploitant les eaux antarctiques localisées au Sud du front polaire, l'apparition, dans le Sud des archipels, de températures de surface anormalement chaudes réduit les performances reproductrices.

Variabilité environnementale et changements globaux

Lorsque ces épisodes chauds apparaissent pendant la période qui précède la ponte, bon nombre d'oiseaux adultes en mauvaise condition physique s'abstiennent de se reproduire ou échouent dans leur tentative de reproduction. Au contraire, les espèces qui pêchent dans les eaux subtropicales localisées au Nord des archipels sont favorisées par ces événements chauds et leur succès reproducteur s'améliore. Ainsi, l'augmentation de la fréquence ou de l'intensité des événements chauds dans l'océan Austral, associée à un réchauffement planétaire global, aurait des effets contrastés sur la communauté des prédateurs supérieurs. Certaines espèces seraient favorisées et pourraient voir leurs effectifs augmenter, alors que d'autres tendraient à disparaître de Crozet et de Kerguelen. Certaines populations coloniseraient des sites plus proches de leurs zones d'alimentation.



3. ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES DÉMOGRAPHIQUES du manchot empereur de la terre Adélie. Dans les années 1970, au cours d'une période chaude anormalement longue (en haut), la population des manchots a notablement diminué (en bas). Durant cette période, l'étendue de la glace de mer était réduite (au milieu). Aujourd'hui, la population de ce manchot s'est stabilisée.

L'Antarctique est un laboratoire parfait pour l'étude de l'influence des changements globaux sur les écosystèmes, car l'atmosphère, l'océan et la glace de mer y sont en interaction étroite. En effet, l'écosystème marin dépend de la variabilité à long terme et à court terme de la glace de mer et des conditions océanographiques. Ainsi, la production du krill antarctique est favorisée lorsque la glace de mer est étendue. Or les manchots empereurs se reproduisent sur la glace de mer, en hiver, et se nourrissent de krill et de petits poissons pélagiques.

Pour la population de Terre Adélie, on dispose de données démographiques à long terme, sur près de 50 ans. Après avoir brutalement diminué dans les années 1970, les effectifs des manchots empereurs sont aujourd'hui stables. Nous avons montré que ce déclin était dû à une hausse de la mortalité adulte qui était elle-même liée aux anomalies de plusieurs paramètres océanographiques reliés à l'onde circumpolaire antarctique. La mortalité des manchots empereurs adultes augmente lorsque les températures de surface de la mer sont anormalement élevées et lorsque l'étendue de la glace de mer est réduite.

On ne disposait pas de mesures satellitaires dans les années 1970, mais les relevés de la station météorologique installée à proximité de la colonie de manchots mettent en évidence l'apparition à cette époque d'un épisode anormalement chaud et durable, associé à une faible étendue de la glace de mer. Ces anomalies prolongées ont déclenché une baisse de la survie, qui a elle-même entraîné une chute de la population de manchots empereurs en Terre Adélie de près de 50 pour cent. La population ne s'est pas reconstituée depuis, mais ses effectifs fluctuent avec une périodicité de quatre à cinq ans, c'est-à-dire celle de l'onde antarctique circumpolaire. L'utilisation de modèles démographiques montre que la fluctuation cyclique de la population résulte de la baisse, tous les quatre à cinq ans, de la survie des adultes, lors de l'arrivée d'eaux chaudes et de la rétraction de l'étendue de la glace de mer. Cet exemple est le premier à démontrer que des anomalies climatiques prolongées réduisent directement la survie adulte et, par conséquent, les populations des prédateurs marins.

La mesure des paramètres démographiques des manchots empereurs

ainsi que les enregistrements météorologiques antérieurs aux données satellitaires ont permis de préciser que la chute de l'étendue de la glace de mer antarctique avait eu lieu, au moins dans le secteur de la terre Adélie, dans les années 1970 et non pas dans les années 1960 comme on le pensait auparavant. De plus cette diminution de la glace de mer est vraisemblablement liée à un brusque réchauffement général de l'océan Indien dans les années 1970. Ce réchauffement, mesuré par les températures enregistrées dans les stations météorologiques, a été confirmé par la diminution brutale d'un grand nombre de populations d'oiseaux de mer et de pinnipèdes.

Le rôle de la glace de mer

Toutefois, cette diminution de l'étendue de la glace de mer antarctique n'a pas eu que des effets négatifs sur les populations animales : d'une part, la glace ayant fondu, certaines côtes du continent antarctique ont été libérées et les nouveaux sites disponibles ont été colonisés par des oiseaux marins pour la reproduction ; d'autre part, contrairement au manchot empereur, certaines espèces, tel le manchot Adélie, pourraient profiter de la diminution de l'extension de la glace de mer. Les effectifs du manchot Adélie augmentent depuis le début des années 1980, sans doute parce que la surface de la glace de mer disloquée, sa zone d'alimentation de prédilection, a augmenté.

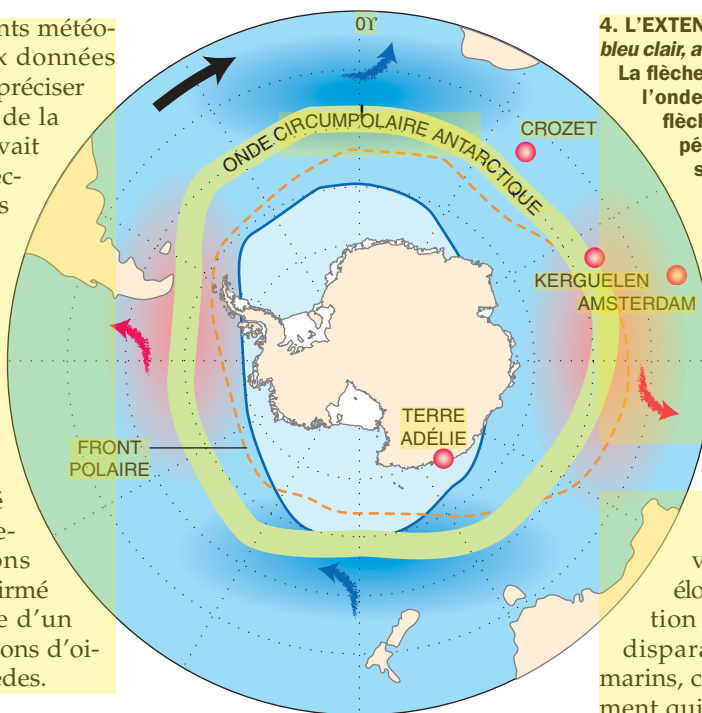
De telles périodes d'extension du manchot Adélie lors d'épisodes de réchauffement avaient été mises en évidence par l'étude d'anciens sites de reproduction. Ainsi, l'analyse des ossements d'oiseaux marins déposés entre le Pléistocène (il y a quelque quatre millions d'années) et aujourd'hui, sur l'île de l'Ascension dans l'océan Atlantique Sud, indique qu'au maximum des glaciations, la température de l'océan était notablement inférieure autour de cette île. La faune aviaire était alors composée soit d'espèces aujourd'hui éteintes, soit d'espèces subantarctiques, tel le puffin fuligineux, qui se reproduisent aujourd'hui à des milliers de kilomètres plus au Sud. Aujourd'hui, seules nichent à Ascension des espèces

tropicales comme les frégates. De surcroît, il y a 6 000 ans, l'Antarctique a connu une période nommée «penguin optimum». Puis, lors d'une période de refroidissement climatique qui eut lieu il y a entre 2 000 et 3 000 ans, la population de manchots a diminué.

Ces exemples montrent que les communautés de prédateurs évoluent en fonction des modifications à court et à long terme du climat et de l'environnement marin. Outre les variations cycliques liées à des phénomènes tels que l'onde circumpolaire antarctique, les effectifs des populations présentent des tendances à long terme : augmentation, stabilité ou diminution (et éventuellement extinction) de certaines populations ou espèces. L'analyse de l'évolution des paramètres physiques de l'océan Austral et des paramètres démographiques des communautés de ces prédateurs autorise des prévisions quant à l'abondance future de ces populations face aux changements climatiques.

On observe aussi un changement de l'aire de répartition des différentes espèces. De tels changements ont déjà été constatés pour certaines espèces d'oiseaux en Europe. Toutefois, les changements climatiques actuels semblent plus rapides que les changements climatiques antérieurs, et les capacités des espèces d'oiseaux et de mammifères marins à coloniser de nouveaux sites sont peut-être limitées : ces espèces, dont les sites de reproduction sont rares, ont

4. L'EXTENSION DE LA GLACE DE MER (en bleu clair, au centre) change selon les années. La flèche noire indique le déplacement de l'onde circumpolaire antarctique, les flèches bleues représentent les températures anormalement froides à la surface de la mer et les flèches rouges les températures anormalement chaudes. Les zones d'anomalies chaudes sont associées à une diminution de l'étendue de la glace de mer et les anomalies froides, à une extension. L'onde met huit à neuf ans pour faire le tour de l'Antarctique et les anomalies chaudes et froides alternent tous les quatre à cinq ans.



peu tendance à se disperser. Or la colonisation de nouveaux habitats favorables, mais éloignés, est parfois l'unique solution pour que la population ne disparaisse pas. Chez les oiseaux marins, ce sont les jeunes essentiellement qui se dispersent. Nous avons montré, par exemple, que chez une population dont les effectifs ont été réduits, les jeunes ont davantage tendance à coloniser de nouveaux horizons.

Grâce aux études à long terme d'oiseaux et de mammifères marins, on peut simuler les conséquences d'un changement chronique des conditions environnementales sur les prédateurs supérieurs. Ces informations reflètent des changements des ressources marines exploitées par ces prédateurs. Ce type d'approche interdisciplinaire est novateur dans la mesure où il met en relation des équipes d'océanographes, de biologistes marins et d'écologistes qui confrontent des séries de données environnementales, physiques et biologiques aux séries démographiques provenant des suivis à long terme des populations de prédateurs marins supérieurs.

Les auteurs appartiennent au Laboratoire d'écologie du CNRS, à Chizé.

C. Barbraud et H. Weimerskirch, *Emperor penguins and climate change*, in *Nature*, vol. 411, pp. 183-186, 2001.

H. Weimerskirch et R.P. Wilson, *Oceanic respite for wandering albatrosses*, in *Nature*, vol. 406, pp. 955-956, 2000.

C. GUINET et al., *Spatial distribution of the foraging activity of Antarctic fur seal (Arctocephalus gazella) females in relation to oceanographic factors : a scale-dependant approach using geographic information systems*, in *Marine Ecology Progress Series*, sous presse.