

participation d'André Ancel et d'Yves Handrich du Centre d'écologie et de physiologie énergétiques (CNRS), à Strasbourg, et en collaboration avec l'Institut de recherche polaire de Tokyo, nous avons mis au point une méthode plus précise, fondée sur la mesure directe de la température dans l'œsophage des manchots, au moyen de micro-sondes. En équipant un manchot d'une sonde de ce type et d'un enregistreur de plongée, on peut mesurer à quel moment et pour quel palier de la plongée l'oiseau capture ses proies, avec une précision de l'ordre de 20 mètres. Les premières estimations ont permis de calculer qu'un manchot royal de 11 kilogrammes capture entre 600 et 1 600 grammes de poisson par jour en mer. L'essentiel des prises intervient en plongée profonde et dans la phase de remontée.

Grâce aux capteurs dont sont équipés les manchots et qui fournissent la localisation en mer, et aux sondes internes qui mesurent les prises alimentaires avec un minimum d'impact sur leur comportement, les biologistes disposent de nouveaux outils pour évaluer la disponibilité de certaines ressources. Ainsi, on peut calculer le succès et l'effort de pêche du prédateur, pour chaque secteur océanique prospecté, en connaissant le nombre de kilomètres parcourus et les paliers de profondeur atteints. Les profondeurs où le succès de pêche est le meilleur indiquent les zones de concen-

tration des proies, et le suivi annuel de ces prédateurs participe à l'évaluation de certaines ressources, difficile à réaliser dans ces contrées inhospitalières.

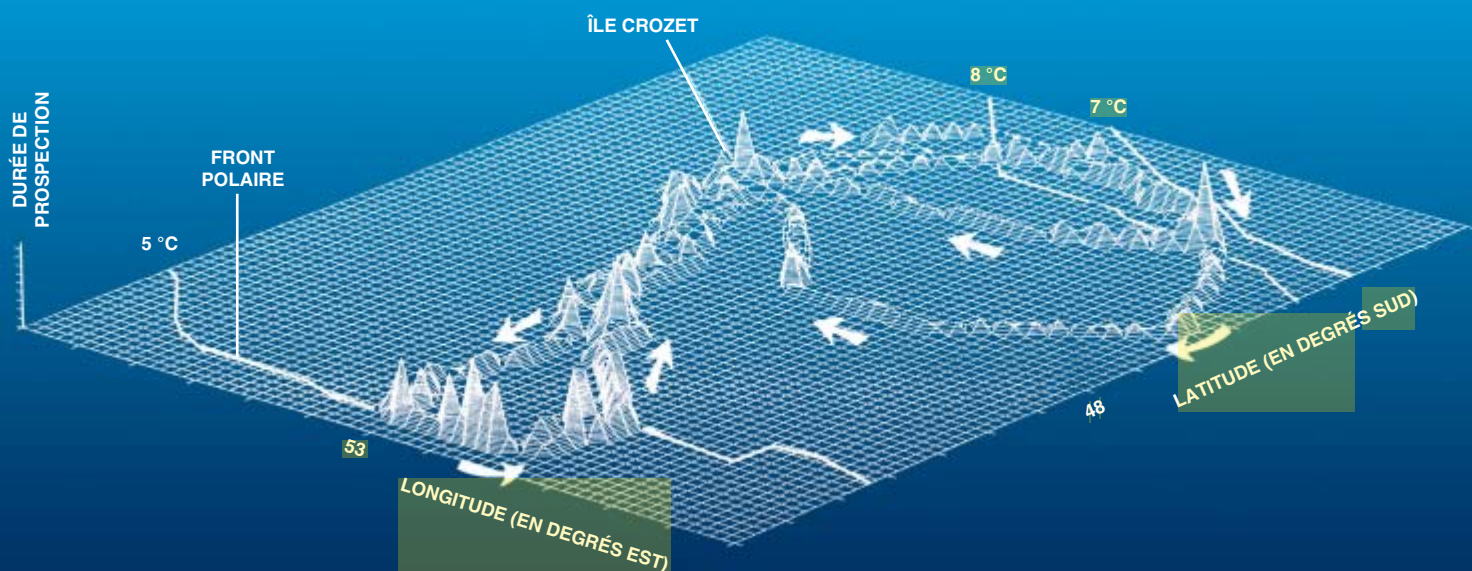
L'utilisation de bio-indicateurs – qui complète les études océanographiques classiques – présente certaines limitations, telles que la nécessité de recapturer l'animal équipé, l'existence de variations interindividuelles dans les techniques de pêche, le degré de spécialisation des prédateurs vis-à-vis de certaines ressources et la mise au point d'outils informatiques puissants pour traiter toutes les données recueillies. Toutefois, les méthodes classiques ont elles-mêmes leurs limites : l'effarouchement des bancs de poissons par l'arrivée du chalut, la difficulté de détecter certaines espèces à l'écho-sondeur, le coût des campagnes océanographiques.

Ces études, qui n'ont pas pour objet de fournir aux pêcheries des informations sur la localisation des bancs de poissons, peuvent révéler une surexploitation locale de certaines populations avant que l'équilibre biologique ne soit rompu et que la dynamique des populations de prédateurs ne soit perturbée. Ainsi, Donald Croll, de l'Université de Santa Cruz, a montré que l'exploitation du krill par les pêcheries de la péninsule antarctique (bien qu'elle soit encore limitée) menace déjà les ressources alimentaires des populations de manchots durant la reproduction.

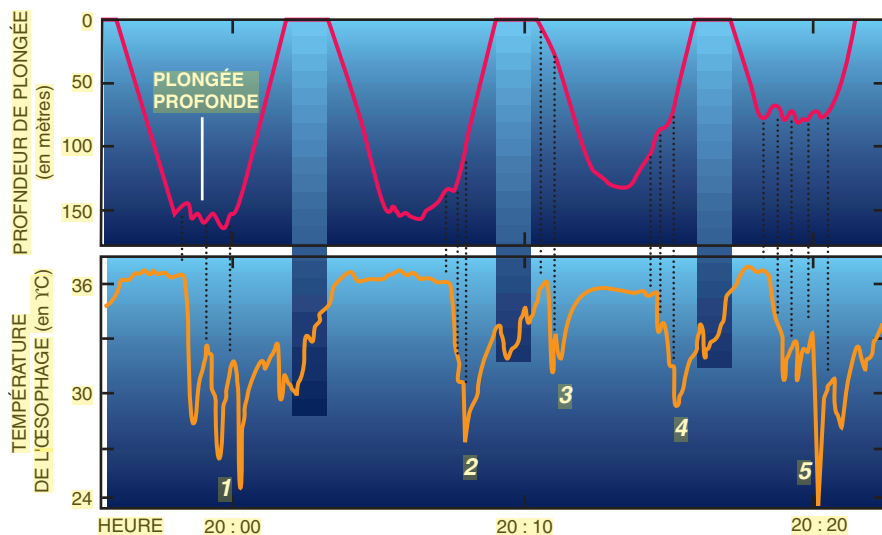
Le suivi des prédateurs en mer

Outre l'impact des pêcheries, on peut aussi évaluer, grâce au suivi des prédateurs marins, celui de la variabilité climatique sur les ressources de l'océan Austral. Ainsi, nous avons montré que la structure thermique de la couche océanique supérieure impose la répartition verticale des bancs de poissons recherchés par les manchots. Cette étude a été menée en comparant les plongées des manchots royaux et la température océanique enregistrée simultanément au cours de leurs plongées. Quelle que soit la saison, les manchots plongent sous la thermocline saisonnière, c'est-à-dire la limite entre la couche océanique profonde et la couche mélangée de surface, car les poissons s'y concentrent. La thermocline est plus épaisse en hiver qu'en été, en raison des vents violents qui brassent la couche océanique de surface et de l'homogénéisation de la colonne d'eau liée au refroidissement hivernal. Cette modification des caractéristiques physiques se traduit par des plongées hivernales plus profondes (jusqu'à 440 mètres contre 350 mètres en été).

Si les manchots suivent fidèlement les migrations saisonnières en profondeur de leurs proies, leurs déplacements en mer reflètent aussi les fluctuations physiques interannuelles. Lorsque la position géographique du



3. TRAJECTS EN MER (ci-dessus) de trois manchots royaux des îles Crozet suivis par des balises Argos, au cours de leur recherche de nourriture. Les pics correspondent aux zones où les ressources sont les plus abondantes.



4. LA PROFONDEUR DES PLONGÉES (en haut) et les captures (en bas) ont été enregistrées chez un manchot royal équipé d'un enregistreur de la pression hydrostatique et d'une micro-sonde mesurant la température interne. Cinq séries de prises alimentaires (de 1 à 5) ont été enregistrées : elles correspondent à une baisse de la température œsophagienne. On constate que les prises alimentaires ont généralement lieu à la profondeur maximale de la plongée (1, 2 et 5).

front polaire varie dans la partie indienne de l'océan Austral, la répartition en mer des manchots royaux change : ainsi, en 1996, ils ont dû augmenter leur trajet pour atteindre les zones poissonneuses (de plus de 55 pour cent) et leur effort de plongée a augmenté en raison de l'éloignement du front. Les séjours en mer étaient plus longs, de sorte que l'approvisionnement des poussins a diminué : le succès reproducteur a diminué.

Afin de mieux évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les chaînes alimentaires de l'océan Austral, les éco-physiologistes du Centre d'écologie et de physiologie énergétiques de Strasbourg et les océanographes du Laboratoire d'océanographie physique du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, ont entrepris d'installer un observatoire de la disponibilité à moyen terme des ressources pélagiques dans la zone atelier de Kerguelen-Crozet. Lors de cette étude, on suivra par télémétrie le succès de pêche des manchots royaux équipés, les performances démographiques et les variations interannuelles du calendrier de reproduction dans diverses colonies. On suivra également la variabilité climatique dans la même zone atelier grâce à des stations hydrologiques permanentes, et à l'altimétrie satellitaire (TOPEX-POSEIDON et bientôt JASON). Le suivi du cycle reproducteur du manchot royal est effectué par Michel Gauthier-Clerc, grâce au système ANTAVIA mis au point par Jean-Paul Gendner, à Strasbourg. Par ce dispositif, chaque individu d'une colonie est

automatiquement reconnu : la détection est assurée grâce à des antennes enterrées sur le lieu où passent les oiseaux, ce qui permet de les identifier grâce à des transpondeurs implantés sous leur peau ; un transpondeur est une étiquette électronique sans batterie qui pèse moins d'un gramme et qui permet l'identification automatique d'un animal sans qu'il soit nécessaire de le capturer plusieurs fois. À terme, on pourra modéliser les conséquences du réchauffement climatique sur les principaux réseaux de l'écosystème austral.

Nous pensons aussi utiliser les manchots et autres prédateurs plongeurs comme des plates-formes océanographiques mobiles, et obtenir à leur insu des données physiques inédites sur le milieu océanique. Ainsi, avec Malik Koudil, du Centre océanologique de Marseille, nous avons reconstitué la courbe

des températures dans la zone du front polaire à partir des profils de températures obtenus en profondeur par les manchots royaux de Kerguelen équipés d'un dispositif qui enregistrait en continu la pression hydrostatique et la température environnante, et d'une balise Argos, qui donnait la position géographique de ces animaux. George Boehlert et ses collègues de l'administration américaine des océans et de l'atmosphère (NOAA) ont équipé 16 éléphants de mer de capteurs de profondeur et de température couplés à un émetteur Argos, au cours d'une étude menée sur trois ans dans le Nord-Est du Pacifique. Au cours de leurs migrations, ces phoques de grande taille (pesant jusqu'à une tonne et demi) s'éloignent jusqu'aux îles Aléoutiennes, en parcourant près de 100 kilomètres par jour. Plongeant parfois jusqu'à plus de 800 mètres, ils ne reviennent respirer à la surface que brièvement, environ toutes les 20 minutes. Au cours d'une période de trois mois, plus de 22 000 données de températures de l'eau ont été obtenues dans une zone océanique où seulement 52 mesures ont été réalisées par des méthodes classiques au cours de la même période. En utilisant les données récupérées au cours des migrations de neuf éléphants de mer seulement, sur trois ans, 76 000 profils de températures ont été obtenus.

L'utilisation des grands prédateurs marins, tels les éléphants de mer, comme auxiliaires océanographiques est intéressante, car, en raison de leur taille, on peut les équiper d'appareils très précis, mais encombrants. D'autres applications sont en cours, dans d'autres écosystèmes, avec des espèces telles que les baleines, les thons, et les requins, équipés de capteurs de plus en plus miniaturisés et précis.

J.-B. CHARRASSIN, Y. LE MAHO et C.-A. BOST mènent leurs recherches au Centre d'écologie et de physiologie énergétiques du CNRS, à Strasbourg. Au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, G. DUHAMEL est professeur dans le Laboratoire d'ichtyologie et Y. PARK maître de conférences dans le Laboratoire d'océanographie physique.

C. GUINET et al., *Foraging behaviour of satellite-tracked king penguins in relation to sea-surface temperatures obtained by satellite telemetry at Crozet archipelago, a study during three austral summers*, in *Marine Ecology Progress Series*, vol. 150, pp. 11-20, 1997.

C.-A. BOST et al., *Foraging habitat and food intake of satellite tracked king penguins during the austral summer at Crozet archipelago*, in *Marine Ecology Progress Series*, vol. 150, pp. 21-33, 1997.

M. KOUDIL et al., *Seabirds as Monitors of Upper-Ocean Thermal Structure. King Penguins at the Antarctic Polar Front, East of Kerguelen Sector*, in *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences, Sciences de la Vie*, vol. 323, pp. 377-384, 2000.

J.-B. CHARRASSIN et al., *Feeding behaviour of free-ranging penguins determined by oesophageal temperature*, in *Proceeding Royal Society of London B*, vol. 268, pp. 151-157, 2001.