

Des éléphants de mer océanographes



L'océan exploré par des phoques Des éléphants de mer océanographes

ÉQUIPÉS D'UNE BALISE ET DE CAPTEURS, des phoques géants collectent au gré de leurs pérégrinations des données inédites sur l'océan Antarctique.

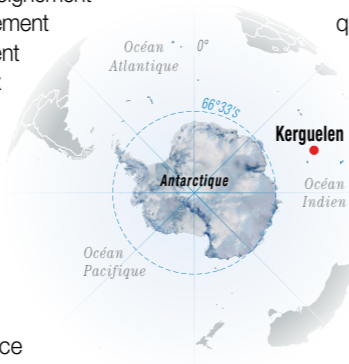


CEBEC-CNRS

CHRISTOPHE GUINET

Spécialiste des prédateurs de l'océan Austral, ce chercheur du CNRS arpente régulièrement depuis 1988 les îles Crozet et Kerguelen pour étudier les orques et les éléphants de mer. Il est membre du comité d'experts du Cercle Polaire.

Gréant parmi les phoques, l'éléphant de mer est l'un des principaux prédateurs de l'océan Austral. Sillonnant ses eaux froides durant huit à dix mois, il ne revient à terre qu'un mois ou deux par an pour se reproduire et changer de pelage. Ce sont alors plusieurs dizaines de milliers d'individus qui envahissent les îles subantarctiques à la fin septembre, au début du printemps austral, chacun revenant sur la plage qui l'a vu naître ou sur une plage voisine. L'éloignement des rares archipels qui parsèment l'océan Austral limite fortement les échanges entre animaux qui se reproduisent sur des îles différentes et quatre grandes populations se sont ainsi individualisées. La plus grosse, en Géorgie du Sud et dans les îles de l'Atlantique Sud, compte 450 000 individus. La deuxième en importance numérique, avec 200 000 animaux, est celle de l'océan Indien, dont les trois quarts se reproduisent aux îles Kerguelen. La troisième se situe dans le Pacifique Sud, avec 75 000 individus sur l'île Macquarie au sud de la Nouvelle-Zélande. Enfin, une



XAVIER DESMIER

quatrième, plus petite encore, est localisée dans l'archipel des Shetland du Sud.

Les éléphants de mer ont payé au cours du XIX^e siècle un très lourd tribut aux phoquiers. La graisse de ce phoque, l'un des combustibles privilégiés pour éclairer de grandes villes telles que Londres au XIX^e siècle, était l'objet de toutes les convoitises.

L'espèce du Pacifique Nord, l'éléphant de mer boréal *Mirounga angustirostris*, a même failli totalement disparaître, moins d'une dizaine d'individus ayant miraculeusement survécu à la lance des chasseurs. Dans l'hémisphère



UN ANIMAL TECHNICIEN. Collée sur le poil de l'animal, la balise satellite transmet en temps quasi réel les données de température et de pression enregistrées.

CEBEC-CNRS/SEAOS

Sud, après la surexploitation du XIX^e siècle, la chasse de l'éléphant de mer austral *Mirounga leonina* a été régulée et les effectifs des principales populations de l'océan Austral, de Géorgie du Sud, des îles Kerguelen, Heard et Macquarie se sont progressivement reconstitués malgré la chasse. Alors que quelques populations sont stables, voire en légère augmentation, d'autres sont au contraire en diminution continue depuis les années 1960. Ces déclinés observés ne semblent pas pouvoir être imputés à l'exploitation commerciale des éléphants de mer car, paradoxalement, ce n'est qu'après la cessation de cette chasse raisonnée en 1960 que les effectifs des populations d'éléphants de mer des îles Kerguelen, Heard et Macquarie ont très sensiblement diminué au cours des années 1970. En l'espace de dix

ans, ces deux populations ont perdu 50 % de leurs effectifs alors que dans le même temps, celle de Géorgie du Sud, forte d'une centaine de milliers de femelles, restait stable. Le développement récent des pêcheries australes est une des causes possibles invoquées pour expliquer ce déclin. L'effet que pourrait avoir eu la mise en place de cette exploitation des ressources marines, principalement des poissons benthiques (qui vivent près des fonds) comme la légine, connus pour être consommés par des éléphants de mer mâles, ne semble pas résister à l'examen des faits. Malgré l'absence de pêcheries, les colonies de Crozet, des îles Marion et Macquarie ont décliné au même rythme que celle de Kerguelen où la



pêche australe s'est installée. Au contraire, la population de Géorgie du Sud est restée stable malgré le développement des pêcheries dans cette région.

Autre cause invoquée, les changements régionaux d'abondance et de distribution des proies en relation avec des variations des conditions océanographiques à grande échelle qui pourraient avoir induit une diminution des chances de survie des jeunes éléphants de mer. La masse au sevrage des jeunes avoisine les 120 kg, néanmoins de très grandes différences individuelles sont observées. Certains ne pèsent

Des migrations de plusieurs milliers de kilomètres

qu'une soixantaine de kilogrammes alors que d'autres peuvent exceptionnellement dépasser les 200 kg. On a pu montrer que la masse au sevrage du jeune conditionne son avenir. Plus le jeune est gras, meilleures sont ses chances de survivre à ses premières années en mer. La masse au sevrage est corrélée à différents facteurs tels que l'âge ou l'expérience des mères. Le petit des femelles jeunes, qui n'ont pas totalement achevé leur croissance et manquent d'expérience, est sevré à une masse corporelle plus faible que celui des petites de femelles plus âgées, plus grandes et expérimentées. Mais les facteurs climatiques et océanographiques déterminent aussi une grande part des variations de la masse corporelle du jeune au sevrage. En effet, conditions climatiques et caractéristiques océanographiques locales influent largement sur la quantité de proies que les femelles peuvent capturer durant les huit à dix mois qui précèdent leur retour à terre et la mise bas. Parce qu'elles restent à terre et jeûnent pendant toute la période d'allaitement, c'est la quantité de graisse que chacune a accumulé durant cette période en mer qui détermine la qualité et la quantité de lait qu'elles peuvent produire pour nourrir leur petit avant de le sevrer. Pour tester la plausibilité de ces différentes hypothèses, un programme de recherche international associant des chercheurs britanniques, australiens et français était lancé en 2004, le SEaOS (Southern Elephant seal as Oceanographic Samplers), avec pour objectif d'identifier, au sein de l'océan Austral, les zones d'alimentation et les domaines océanographiques exploités par les différentes populations

XAVIER DESMIER

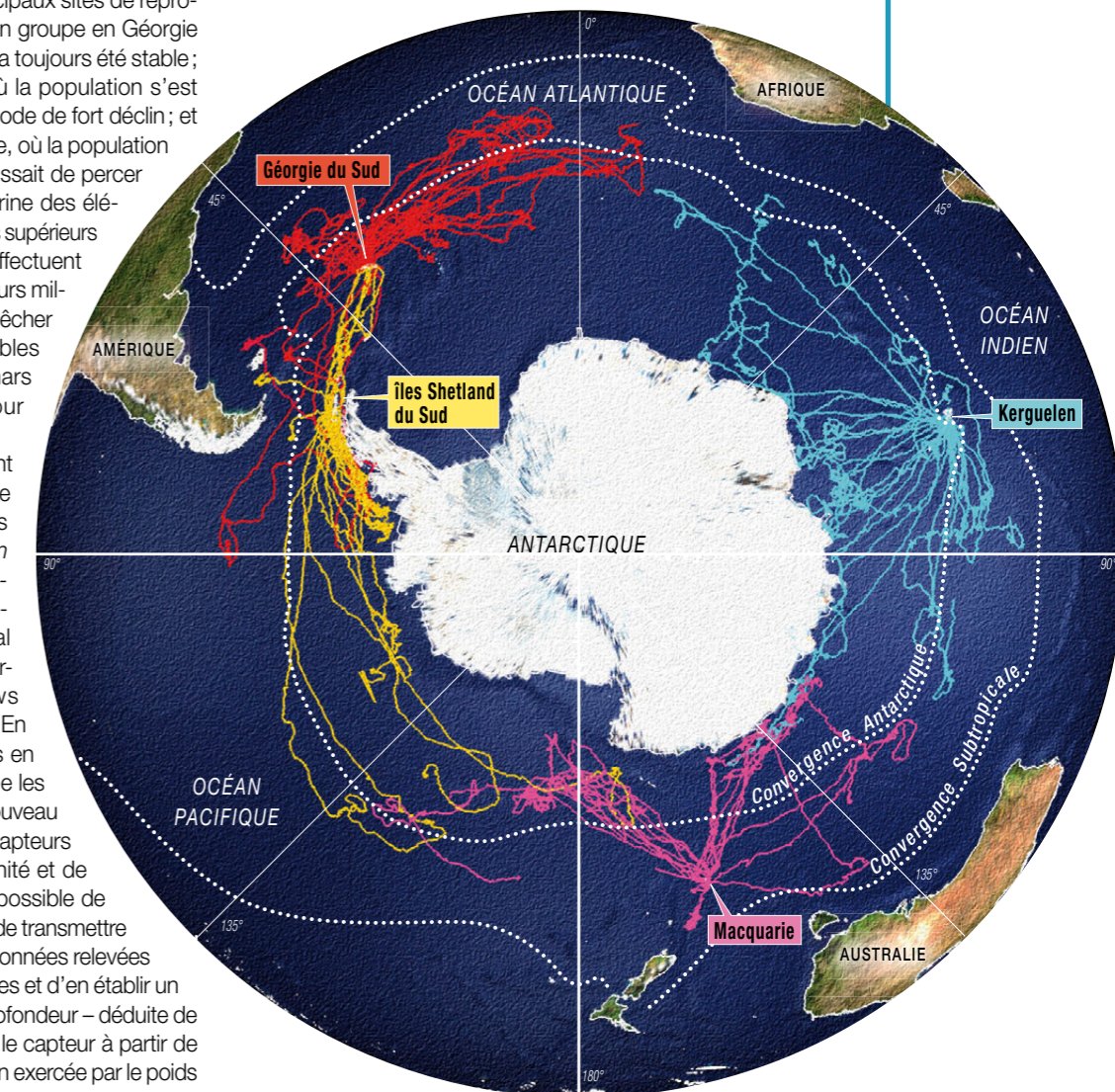
CEBC-OMRS/SEaOS

d'éléphants de mer et de vérifier si le succès de pêche de ces animaux varie d'une région à l'autre. Pour ce faire, des éléphants de mer originaires des trois principaux sites de reproduction ont été suivis: un groupe en Géorgie du Sud où la population a toujours été stable; un autre à Kerguelen où la population s'est stabilisée après une période de fort déclin; et un troisième à Macquarie, où la population diminue toujours. Il s'agissait de percer les secrets de la vie marine des éléphants de mer, prédateurs supérieurs de l'océan Austral qui effectuent des migrations de plusieurs milliers de kilomètres pour pêcher les quantités considérables de poissons et de calmars dont ils ont besoin pour vivre.

Ces éléphants de mer ont été équipés d'une nouvelle génération de balises Argos (lire, page 46, « Un grand pas pour l'océanographie polaire ») développée par le Sea Mammal Research Unit de l'Université de Saint Andrews (Écosse, Royaume-Uni). En plus de suivre les trajets en mer des animaux comme les balises classiques, ce nouveau système est équipé de capteurs de température, de salinité et de pression. Il est dès lors possible de mesurer, d'enregistrer et de transmettre en temps quasi réel les données relevées au cours de leurs plongées et d'en établir un profil en fonction de la profondeur – déduite de la pression mesurée par le capteur à partir de la relation entre la pression exercée par le poids de la colonne d'eau et la profondeur (1 bar par tranche de 10 mètres de profondeur). Ces mesures permettent d'identifier très précisément les caractéristiques océanographiques des écosystèmes marins traversés par ces animaux lors de leur migration et celles de leurs sites d'alimentation. Il devient alors possible d'étudier comment les variations des conditions océanographiques affectent le succès de pêche des éléphants de mer.

La pose d'une balise nécessite la capture d'un éléphant de mer, ce qui n'est pas une mince affaire... L'animal est puissant et un coup de mâchoire peut avoir des conséquences

Sur les traces des éléphants de mer



UNE ESPÈCE, QUATRE POPULATIONS

Au terme de quatre années de suivi par balises Argos, quatre populations d'éléphants de mer austral ont été identifiées: Géorgie du Sud (en rouge), Kerguelen (en bleu), Macquarie (en rose) et péninsule Antarctique (en jaune).

Chacune occupe un vaste domaine océanique qui lui est propre mais des individus appartenant à deux colonies différentes peuvent exploiter les mêmes zones d'alimentation en mer.



CAPTURE D'UN JEUNE ÉLÉPHANT DE MER.
Trois chercheurs suffisent à peine à maîtriser le jeune phoque mâle dont le poids atteint déjà 400 kilos.

dramatiques. Mais à terre il est peu mobile et ne peut que difficilement échapper aux biologistes. Une fois endormi, son état physiologique est déterminé à partir de ses mensurations et d'analyses de sang.

Un animal qui passe 90 % de son temps sous l'eau

La balise est collée sur les poils du dessus de la tête, seule partie de l'animal exposée à l'air lorsqu'il respire en surface. Les données sont enregistrées par la balise tout au long de la plongée, mais les signaux par lesquels elles sont envoyées au satellite Argos doivent impérativement être émis hors de l'eau pour pouvoir être captés. Une fois les manipulations terminées, l'animal est relâché et la balise, telle un chapeau, le suit dans tous ses déplacements. À son retour à terre, près d'un an plus tard, on recapture l'animal pour lui ôter sa balise et effectuer divers prélèvements et mesures qui seront comparés

trajet migratoire. Il passe près de 90 % de son temps sous l'eau, plongeant entre 400 et 800 mètres de profondeur en moyenne (*lire ci-contre*, « *Carnet de plongée* »). Mais la plupart des individus peuvent descendre bien plus profondément, le record étant détenu par un mâle de Kerguelen à 2 200 mètres. Dans le monde animal, seuls les cachalots et certaines baleines à bec plongent aussi profond.

Après trois ans, les données collectées par le programme SEaOS montrent que la distribution des éléphants de mer varie avec le sexe des individus. Les femelles adultes exploitent de façon privilégiée la zone de bordure des glaces et les tourbillons des zones frontales polaires. Les mâles concentrent leur activité de recherche de nourriture principalement sur les plateaux continentaux qui bordent l'Antarctique et les îles subantarctiques. Les variations du succès de la pêche peuvent être suivies lors de plongées très particulières, assimilées à des plongées de repos ou de digestion. L'animal nage activement jusqu'à 200-300 mètres de profondeur, probablement afin d'éviter son plus redoutable prédateur, l'orque, piètre plongeuse. Cette profondeur atteinte, il cesse toute activité natatoire et se laisse dériver passivement dans la colonne d'eau. Or les caractéristiques de cette dérive dépendent de l'état d'engraissement de l'animal. La graisse étant moins dense que l'eau, plus l'éléphant de mer est gras, plus il tend à flotter. Il remonte donc plus ou moins rapidement vers la surface selon la quantité de graisse qu'il a stockée. À l'inverse, lorsque l'éléphant de mer s'amaigrit, la proportion de graisse diminue. Devenu plus dense que l'eau de mer, il tend à couler pendant les phases de dérive. Ainsi, les variations fines du profil de dérive des plongées de repos permettent de déduire la qualité alimentaire de la zone visitée par l'éléphant de mer et d'identifier les sites où il se nourrit.

Des différences notables dans le choix des zones de pêche sont observées entre les principales populations d'éléphants de mer. Les zones de pêche préférées de la population de Géorgie du Sud sont uniquement situées dans les eaux

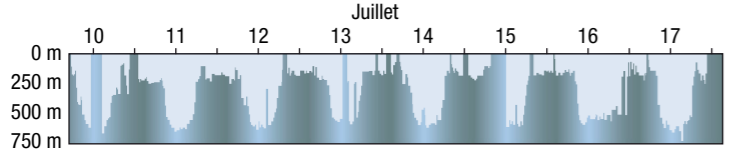
Record de plongée à 2 200 mètres

fraîches comprises entre le front subtropical (environ 40° sud) et le front polaire (environ 50° sud). Les populations de Kerguelen et, dans une moindre mesure, de Macquarie, exploitent préférentiellement les eaux froides antarctiques. Cette étude confirme la très forte affinité des

éléphants de mer de Kerguelen et Macquarie avec la banquise antarctique : près de 40 % des femelles de ces deux colonies concentrent leur activité de pêche en bordure de la banquise antarctique alors que de nombreux mâles passent l'hiver au cœur de la glace de mer à parfois plus de 600 km de la limite des glaces. Cependant, pour atteindre ces zones favorables et revenir sur leur site de reproduction, les éléphants de mer de Kerguelen et de Macquarie doivent traverser des zones particulièrement défavorables, entre la bordure de la banquise et la zone du front polaire, et voyager pratiquement un mois de plus que ne le font les éléphants de mer de Géorgie du Sud. Les importantes diminutions des effectifs d'élé-

DUR DE SE JETER À L'EAU !

Une fois sevrés, les jeunes éléphants de mer, ou bombons, restent seuls plusieurs semaines, jusqu'à ce que la faim les oblige à prendre la mer.



CEBC-CNRS/SEaOS

CARNET DE PLONGÉE.

L'éléphant de mer effectue de 60 à 80 plongées par jour, de 20 à 30 minutes chacune, et concentre les plongées profondes dans la journée.

à ceux effectués lors de la première capture pour évaluer l'évolution de son état physiologique. Si l'animal n'est pas recapturé, la balise tombe naturellement lors de la mue à son second retour à terre. Entre 2004 et 2007, une centaine d'éléphants de mer ont été équipés de ces balises à Kerguelen, Macquarie, en Géorgie du Sud et en péninsule Antarctique. Si l'éléphant de mer est mal adapté à la vie terrestre, il possède d'incroyables aptitudes à la vie aquatique. En mer, il effectue des plongées profondes et régulières tout au long de son



XAVIER DESMIER

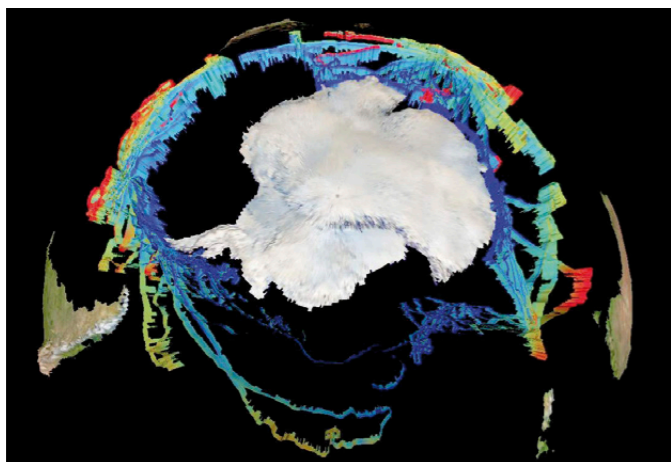
phant de mer observées à Kerguelen et à Macquarie pourraient ainsi être une conséquence directe du changement de régime climatique et océanographique qui a affecté l'océan Austral à la fin des années 1960. Associée à un réchauffement des eaux de surface, une diminution de près de 25 % de l'étendue de la banquise a été décrite et semble avoir eu un impact considérable sur l'abondance du stock

Cette étude, initiée par des biologistes marins, a suscité l'intérêt de plusieurs océanographes pour qui obtenir une information continue et de qualité sur l'océan Austral est crucial. Chacune des balises posées sur les éléphants de mer fournit, quotidiennement et en temps quasi réel, un profil de température et de salinité à des profondeurs comprises entre 400 et 2 000 mètres, dans une région où les informations hydrologiques manquent cruellement.

L'océan Austral est le plus inaccessible des océans

Lors de leurs trajets, les éléphants de mer traversent la plupart des grands courants de l'océan Austral, structures frontales à forts gradients verticaux de température et de salinité, et des zones de convergences périantarctiques où les différences de température et de salinité sont essentiellement horizontales. Nos éléphants échantillonneurs collectent ainsi des données à fine échelle, permettant, par exemple, la description des tourbillons et de la structure des courants dans les principales zones frontales du courant circumpolaire, ou convergence antarctique, mais aussi dans la zone couverte par la banquise antarctique. Il est en outre possible, en travaillant simultanément sur les mâles et les femelles des différentes populations d'éléphants de mer, d'obtenir des informations océanographiques sur l'ensemble des régions de l'océan Austral. Les seules exceptions sont les gyres de la mer de Weddell et de la mer de Ross, des tourbillons à grande échelle que les éléphants de mer semblent consciencieusement éviter.

L'océan Austral est probablement l'océan le



CEBC-CNRS/SEAOS/SMRU

PÊCHE EN EAUX FROIDES.

Les éléphants de Kerguelen et Macquarie se nourrissent dans les eaux glaciales (bleu foncé) couvertes par la glace, à 2 000 km de leur île natale.

de krill à la base de la plupart des réseaux trophiques antarctiques : en effet, la diminution d'abondance du krill a probablement été suivie par la réduction des effectifs des poissons et des calmars en bordure du continent austral, les proies dont dépendent les éléphants de mer de Kerguelen et de Macquarie. Cette diminution d'abondance des proies, outre un effet direct sur le taux de survie des adultes, pourrait avoir eu un effet indirect par la baisse de la masse corporelle des jeunes au sevrage.

Un grand pas pour l'océanographie polaire

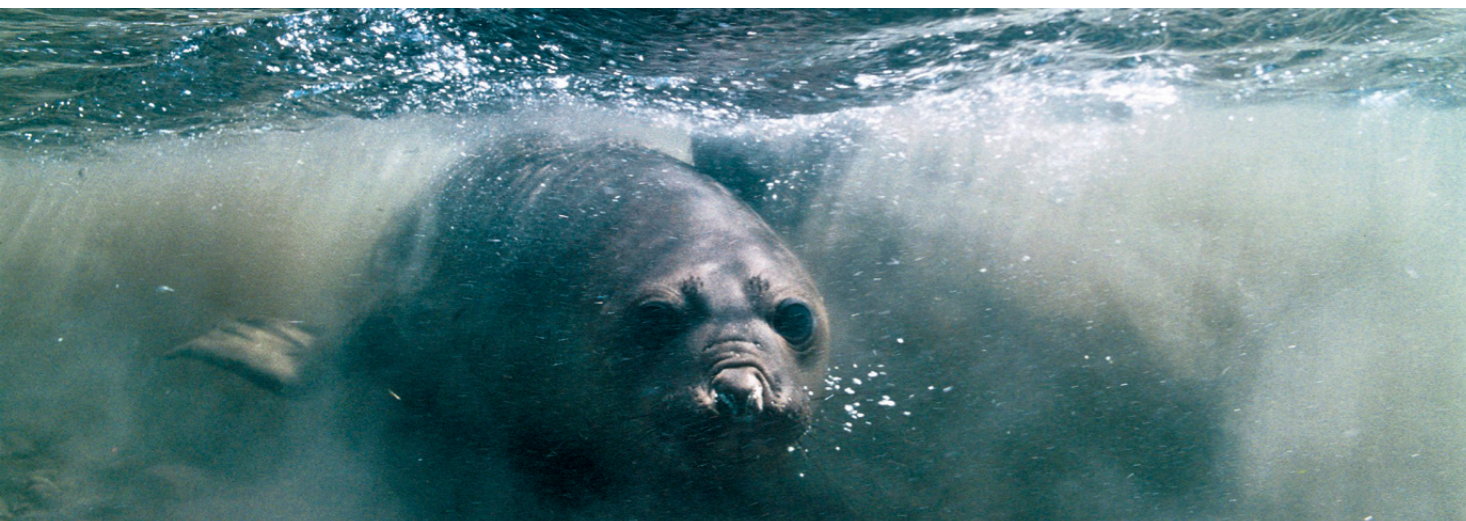
Le développement par les scientifiques et les ingénieurs du Sea Mammal Research Unit de balises Argos qui incorporent un capteur CTD miniaturisé (salinité et température) permet l'enregistrement et l'envoi par satellite des données de plongée et de localisation d'animaux marins dans leur milieu naturel. Il s'agit d'un véritable progrès pour l'océanographie polaire. L'unité de base contient une plate-forme de transmission satellite, qui transmet les données de position via le service Argos, ainsi que des capteurs de conductivité (indicateur de la salinité de l'eau), de température et de pression (indicateur de la profondeur de plongée) de haute résolution. Pour que les données fournies par ces balises « animales » soient utilisables par les océanographes et les climatologues, biologistes,

ingénieurs et physiciens ont largement collaboré. Les algorithmes de compression des données ont été essentiellement développés par l'équipe d'océanographie physique du Muséum national d'histoire naturelle. Pour répondre à l'exigence des océanographes quant à la qualité des mesures hydrologiques, les capteurs ont été étalonnés avec le concours du Service hydrographique et océanographique de la Marine française. Des essais en mer ont été réalisés avec l'aide de l'Institut national des Sciences de l'Univers et de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor, qui ont permis de s'assurer de la qualité et de la résolution des données fournies et d'appliquer le cas échéant les corrections nécessaires à une bonne reproductibilité des données transmises par chacune des balises. C. G.

XAVIER DESMER



UN CHAMPION D'APNÉE PROFONDE.
À 1 000 m de profondeur, l'animal, dont les poumons sont pourtant écrasés par la pression, continue de chasser grâce à l'oxygène stocké directement dans ses muscles.



XAVIER DESMIER

Satellites, navires, sondes et phoques géants

RELEVÉ DE TEMPÉRATURE PENDANT L'EMBACLE.

Les déplacements de l'animal révèlent le recul des eaux chaudes au nord de Kerguelen à l'arrivée de l'hiver.

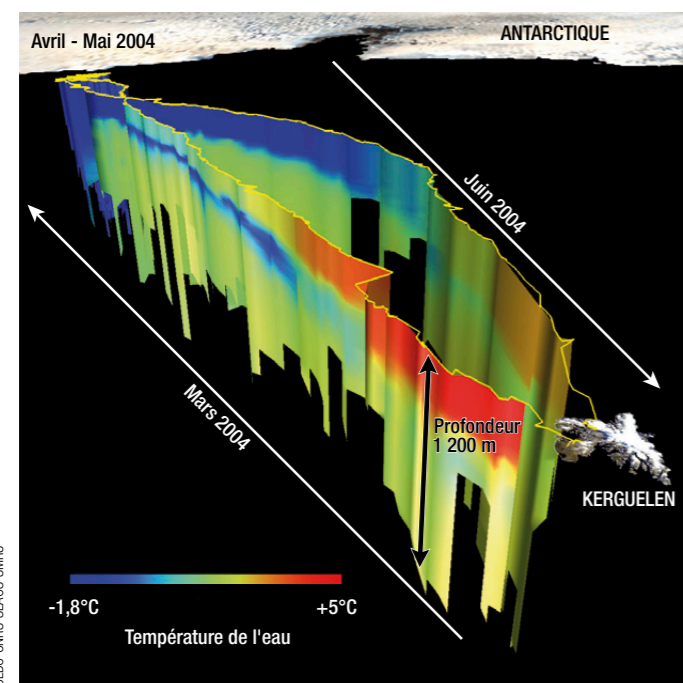
moins accessible et le moins connu, en raison de son isolement géographique et des conditions climatiques qui y règnent. Or il joue un rôle fondamental dans les échanges de température et de gaz carbonique entre océan et atmosphère et, par conséquent, dans la régulation du climat de la planète. C'est dans cet océan que s'effectue l'essentiel des échanges d'eau et de chaleur entre les océans voisins, Atlantique, Indien et Pacifique, et l'atmosphère. On sait que les variations de la quantité de

chaleur stockée dans les eaux de l'océan Austral influencent la distribution et l'abondance du krill et par conséquent celles de ses prédateurs : manchots, phoques ou baleines. L'utilisation des éléphants de mer comme opérateurs océanographiques est particulièrement appropriée pour collecter des données hivernales pour l'océan Austral, qui sont difficiles et extrêmement coûteuses à obtenir par des méthodes classiques alors que la banquise recouvre une large surface de la mer. L'emploi de navires océanographiques conventionnels pour collecter de telles données, outre leur coût élevé, ne peut pas garantir l'accès aux 20 millions de km² d'océan que la glace de mer recouvre pendant les mois d'hiver. La seule autre solution est l'utilisation de bouées dérivantes munies de capteurs divers. Cependant cette technologie ne permet pas une couverture importante des zones de hautes latitudes. Par ailleurs les bouées dérivantes ne peuvent pas être dirigées vers des zones présentant un intérêt particulier alors que le choix d'éléphants de mer de populations et de sexes différents permet de cibler des régions spécifiques. Les bathythermographes lancés depuis les bateaux de ravitaillement ou de commerce apportent également des informations importantes. Mais les données acquises par ce biais sont limitées aux principales voies de navigation et concernent essentiellement les profils de température. Les mouillages fournissent des séries temporelles à long terme, mais leur nombre est limité compte tenu de leur coût et de la difficulté des opérations logistiques associées à leur mise en œuvre. Une révolution

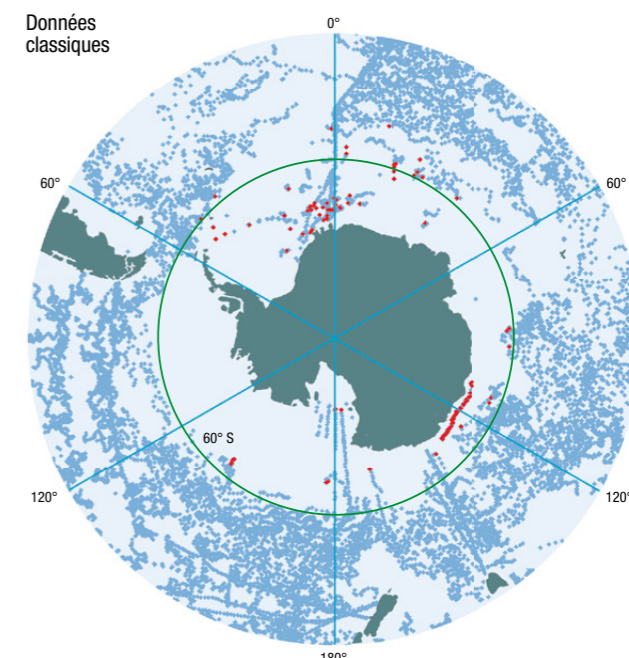
dans les systèmes d'observation est en cours, fondée sur les satellites et sur les flotteurs profilers autonomes (Argos) qui permettent d'obtenir pour la première fois des mesures globales pour l'étude des océans. Mais même ces nouvelles technologies ne sont pas en mesure d'échantillonner en routine dans la zone de glace de mer : les mesures par satellite des températures de surface et de hauteur de la mer sont impossibles en zone couverte par la banquise et les profileurs ne peuvent pas fonctionner dans ces conditions trop rigoureuses. Ainsi, pour la zone s'étendant de 60° S au continent Antarctique et comprise entre 20° E et 140° E, moins de 300 profils obtenus par ces méthodes sont répertoriés dans la base de données océanographiques Coriolis Godae. En revanche, en trois ans de programme SEaOS, les éléphants de mer en ont collecté plus de 5000. À ce jour, les données « éléphants de mer » représentent plus de 98 % des profils de température et de salinité obtenus sous la glace de mer. Intégrées dans la base de données Coriolis, elles alimentent le modèle océanographique opérationnel Mercator en données in situ indispensables pour ajuster en temps réel les calculs effectués à partir des données satellites pour l'estimation de la hauteur de la mer et de la température de surface. Par ailleurs ces données servent pour des études d'océanographie physique fondamentale visant à étudier la circulation des masses d'eau dans l'océan Austral. Elles contribuent aussi à l'observation et au suivi des effets à moyen terme du réchauffement global sur cet océan.

Transposer la méthode à l'océan Glacial arctique

Dans le cadre des actions menées pendant l'Année polaire internationale (2007-2008), ces recherches sont approfondies par la mise en œuvre du programme international MEOP (Marine Mammal Exploration of the Oceans - Pole to Pole). Élargissant les techniques développées sur l'éléphant de mer austral à l'océan Arctique, pour lequel tout le monde reconnaît que les impacts du changement climatique sont plus marqués, des balises sont déployées sur les phoques du Groenland. Dans l'océan Austral, nos travaux se poursuivent pour préciser les facteurs de vulnérabilité des populations d'éléphants de mer aux changements océanographiques en cours, tout en continuant à utiliser ces animaux pour obser-



CEBC-CNRS-SEaOS-SMFRU



CEBC-CNRS/SEaOS

COMBLER LES DÉSERTS OCÉANOGRAPHIQUES.

Si les outils classiques (sondes, satellites...) sont très efficaces pour la collecte de données en pleine mer (en gris), les éléphants de mer ouvrent l'accès aux eaux couvertes par la banquise (points rouges).



LE JEU, C'EST DU SÉRIEUX !

En imitant leurs aînés, les jeunes mâles acquièrent les gestes pour conquérir à leur tour un harem.



XAVIER DESMIER

Pour en savoir plus

- <http://biology.st-andrews.ac.uk/seaos/index.html>, site du programme SEaOS
- <http://www.smru.st-andrews.ac.uk/>, site du Sea Mammal Research Unit (SMRU), Université de Saint Andrews, Écosse, Royaume-Uni
- <http://www.zoo.utas.edu.au/awru/AWRU1020.htm>, site de l'Antarctic Wildlife Research Unit (AWRU), Université de Tasmanie, Australie
- <http://www.mercator-ocean.fr/>, site de modélisation en 3D de l'océan utilisant les données de la base Coriolis
- <http://www.argos-system.org/>
- <http://www.cebc.cnrs.fr/ecommm/argonimaux.html>, site du Centre d'Études biologiques de Chizé (CEBC), CNRS, France, destiné aux scolaires et à leur professeur, du primaire à la terminale. Il est possible d'étudier les trajets et les données océanographiques collectées par les éléphants de mer sur le site.

ver et mieux décrire l'océan Austral. Désormais, l'obtention de données océanographiques via des prédateurs marins est considérée comme un outil efficace pour appréhender les conséquences du réchauffement global et étudier les phénomènes climatiques et océaniques de grande échelle.

Demain les éléphants de mer permettront de mesurer les concentrations en phytoplancton de l'océan Austral. Ce nouveau développement technologique est effectué avec le soutien du Centre national d'Études spatiales pour obtenir une mesure écologique particulièrement importante. Dans l'océan Austral, du fait du brassage

permanent exercé par le vent, le maximum de concentration du phytoplancton n'est pas observé à la surface, comme dans les zones tempérées ou tropicales, mais à des profondeurs généralement comprises entre 30 et 100 mètres. Les satellites qui mesurent la concentration de chlorophylle à la surface des eaux ne sont donc pas capables de visualiser précisément le phytoplancton austral. Ces nouvelles données sont très attendues par les biologistes marins et les climatologues, qui pourront ainsi évaluer beaucoup plus précisément les quantités de carbone fixées par le phytoplancton dans le domaine austral et préciser le pouvoir de piégeage du

gaz carbonique par l'océan Antarctique. D'un point de vue biologique, ces travaux vont nous permettre de quantifier les variations de productivité de l'océan Antarctique en fonction des variations, naturelles ou non, du climat et leurs conséquences pour un ensemble de prédateurs marins clefs, dont l'éléphant de mer. ■

Des éléphants de mer océanographes



www.lecerclepolaire.com

Tiré à part extrait du numéro 1 de la revue Pôles Nord & Sud publiée par Le Cercle Polaire