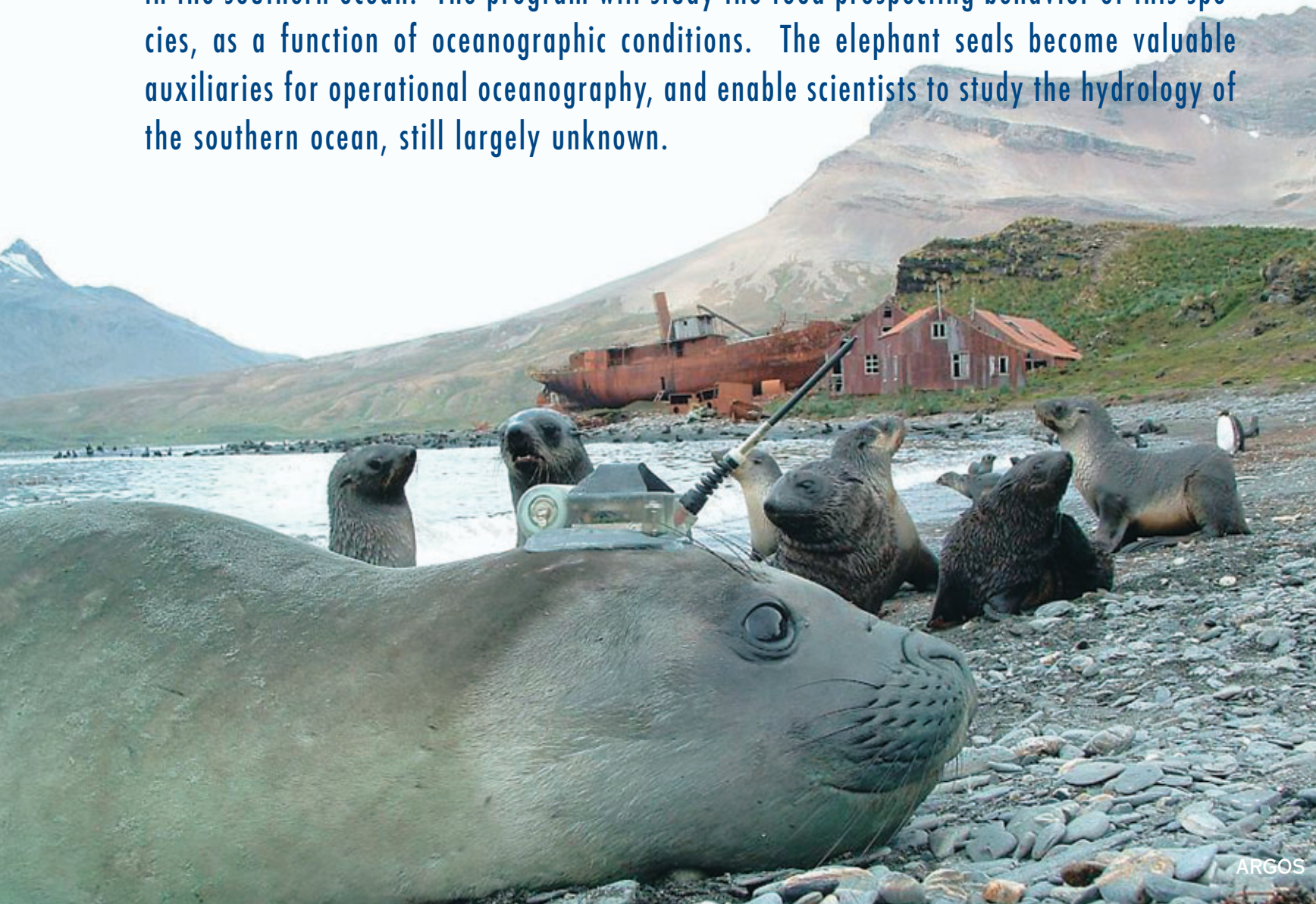
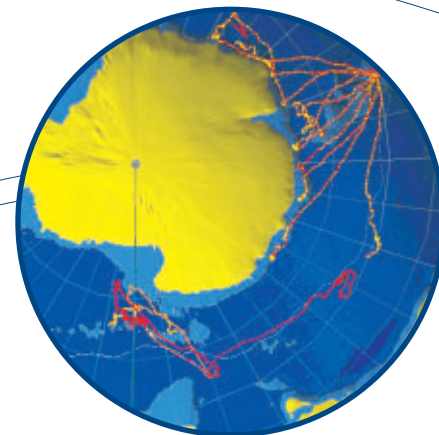


Afin de percer les secrets de la vie marine des éléphants de mer et de comprendre les dynamiques très contrastées de leurs principales populations dans l'océan austral, un projet de recherche international associant des chercheurs britanniques, australiens et français vient d'être lancé. Ce programme vise à étudier le comportement de prospection alimentaire de cette espèce en fonction des conditions océanographiques. Les éléphants de mer deviennent des auxiliaires précieux pour l'océanographie opérationnelle et permettent d'étudier l'hydrologie de l'océan Austral qui demeure encore mal connu.

An international research project, involving British, Australian and French researchers has just been undertaken to try and understand the marine life of elephant seals, and the differences in the movements and migrations of the main elephant seal populations in the southern ocean. The program will study the food prospecting behavior of this species, as a function of oceanographic conditions. The elephant seals become valuable auxiliaries for operational oceanography, and enable scientists to study the hydrology of the southern ocean, still largely unknown.



Les éléphants de mer prédateurs et "océanographes" de l'océan Austral



Ce programme d'étude de l'écologie des éléphants de mer austraux en relation avec les conditions océanographiques a permis d'équiper 24 éléphants de mer (10 dans l'archipel des Kerguelen, 9 en Géorgie du Sud et 5 à l'île Macquarie) d'une nouvelle génération de balises Argos munies de capteurs de pression, température, et salinité développées par le Sea Mammal Research Unit. Cette étude, initiée par des biologistes marins, a attiré l'attention de plusieurs membres de la communauté océanographique française dont l'intérêt pour une information continue et de qualité sur l'océan Austral est vif. Le potentiel démontré par les éléphants de mer pour recueillir des mesures nous a ainsi valu le soutien financier et logistique du Cnes (programme Tosca), de l'institut Polaire et du groupe Mission Mercator/Coriolis. Chacune de ces balises fournit quotidiennement et en temps quasi-réel deux profils de température et salinité à des profondeurs comprises entre 700 et 1500 m dans une région où les informations hydrologiques manquent cruellement. Les données ainsi collectées seront très prochainement intégrées dans la base de données Coriolis qui alimente Mercator en données *in situ* sur l'observation de l'océan.

Le système Mercator est, rappelons-le, basé sur une représentation mathématique (un modèle) de l'océan, contraint en permanence par des observations satellitaires (hauteur de la mer, température de surface) et des données *in situ* (mesures en mer de température et salinité) qui viennent "rectifier le tir" en temps réel.

Actuellement, seul le prototype moyenne résolution de Mercator assimile des observations *in situ*. Dans la vie incrémentale du projet Mercator, l'année 2004 verra l'assimilation des données *in situ* dans le prototype haute résolution (Atlantique Nord et Méditerranée) puis, en 2005, dans le prototype global haute résolution. C'est alors que les éléphants de mer rejoindront l'équipe projet de Mercator!

L'océan Austral, cet inconnu

L'océan Austral est probablement l'océan le moins accessible et le moins connu de la planète, en raison de son isolement géographique et des conditions climatiques qui y règnent. Or cet océan joue un rôle fondamental dans les échanges thermiques entre l'océan et l'atmosphère et par conséquent dans la régulation du climat de notre planète. C'est dans

This research program on the ecology of elephant seals in the southern ocean, related to oceanographic conditions has fitted 24 elephant seals (10 in the Kerguelen archipelago, 9 on South Georgia island and 5 on Macquarie Island) with a new generation of Argos transmitters incorporating pressure, temperature and salinity sensors, developed by the Sea Mammal Research Unit.

The study, which was undertaken by marine biologists, drew the attention of several members of the French oceanography community, who are extremely interested in obtaining continual quality information on the southern ocean. The potential demonstrated by these elephant seals for acquiring measurements has also enabled us to obtain financial and logistical backing from CNES (Tosca program), the Polar Institute and the Mercator/Coriolis mission group. Each of these tags provides daily measurements, in almost real time, for temperature and salinity profiles at depths of between 700 and 1,500 meters in a region in which there is a dire lack of hydrological information. The data thus collected will soon be integrated into the Coriolis database,

which feeds Mercator with *in situ* ocean observation data.

The Mercator system is based on a mathematical representation (a model) of the ocean which is continuously feed by satellite observations (on the sea height, and surface temperature) and *in situ* data (measurements of sea temperature and salinity) which are used to correct the calculations in real time.

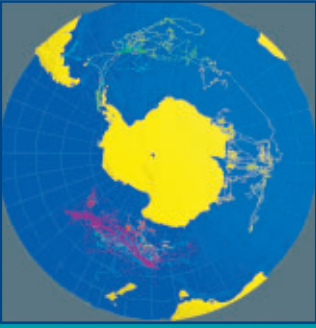
At the current time, only the Mercator medium resolution prototype assimilates *in situ* observations. As the Mercator project evolve in 2004, *in situ* data will be assimilated into the high-resolution prototype (for the North Atlantic and Mediterranean), and in 2005 they will be assimilated into the high-resolution global model. At that stage the elephant seals will join the Mercator project team!

The unknown southern ocean

The southern ocean is probably the least accessible and least charted ocean on the planet, due to its geographic isolation and the governing climatic conditions. However, this ocean plays a fundamental role in heat exchanges between the ocean and the atmosphere, and



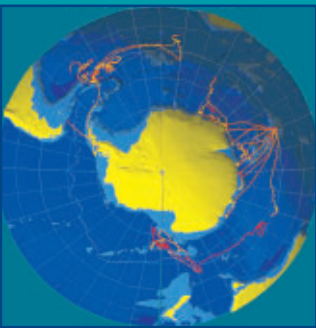
Predator and "Oceanographer", Elephant Seals in the Southern Ocean



Trajectoires des éléphants de mer, issus des trois principaux sites de reproduction : Géorgie du Sud, Kerguelen-Heard, Macquarie. (données SMRU et H. Burton-Anare)

Trajectories of elephant seals coming from the three main reproduction sites of South Georgia, Kerguelen, Heard and Macquarie islands.

(data from SMRU and H. Burton-Anare)



Trajectoire entre le 1^{er} Janvier et le 18 juin 2004 des éléphants de mer équipés de balises argos CTD et partis de Géorgie du sud, Kerguelen et l'Ile Macquarie.

Trajectory between 1 January and 18 June 2004 of elephant seals fitted with Argos CTD tags.

The seals come from the South Georgia, Kerguelen and Macquarie Islands.

cet océan que s'effectue l'essentiel des échanges d'eau et de chaleur avec les océans voisins et l'atmosphère. On sait maintenant 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 de ses prédateurs : manchots, phoques ou baleines.

Les migrations de l'éléphant de mer sont sensibles aux conditions océanographiques

L'éléphant de mer est un prédateur supérieur consommant des quantités considérable de proies (poissons et calmars) qu'il pêche à de grandes profondeurs et qui n'hésite pas, pour rechercher ses proies, à entreprendre d'importantes migrations. Alors que quelques populations sont stables voire même en légère augmentation, d'autres sont en déclin continu depuis les années 1950. Les raisons de ces variations ne sont pas claires, mais des changements régionaux d'abondance et de distribution des proies en relation avec des variations des conditions océanographiques pourraient être en cause.

Quantifier l'influence des variations dans les conditions océanographiques à court, moyen, et long termes sur la distribution et le succès de pêche de ce prédateur marin est l'un des objectifs de ces travaux. Pour cela, trois principaux sites de reproduction sont étudiés : l'un en Géorgie du sud où la population a toujours été stable, un autre à Kerguelen-Heard où elle s'est stabilisée après une période

de fort déclin et un troisième site à l'Ile Macquarie où elle diminue toujours. Les diminutions drastiques observées à Kerguelen et à Macquarie semblent pouvoir être mises en relation avec la diminution observée de la glace de mer. Le suivi des déplacements conduit actuellement sur les animaux des Iles Kerguelen et Macquarie confirme la très forte affinité des éléphants de mer de ces deux populations avec la glace de mer en hiver, et plusieurs individus sont actuellement au cœur du pack-ice à parfois plus de 200 km de sa bordure. Les variations du succès de pêche peuvent être mises en évidence par les fluctuations de flottabilité de l'animal qui influencent la vitesse de plongée : lorsqu'ils s'engraissent, ils ont tendance à flotter, ce qui rend la plongée plus difficile et donc plus lente, et lorsqu'ils maigrissent ils tendent à couler, ce qui leur facilite la pêche!

Un plongeur exceptionnel

Les éléphants de mer sont les plus grands phoques, pesant de plusieurs centaines de kilogrammes jusqu'à plusieurs tonnes. Ils reviennent régulièrement à terre pour se reproduire et renouveler leur pelage. C'est à ce moment là que les scientifiques de terrain les équipent de leur balise. En mer, leurs plongées sont profondes et ininterrompues tout au long de leur trajet. Ils passent près de 90 % de leur temps sous l'eau, plongeant en moyenne entre 400 et 800 m de profondeur. Mais la plupart des individus peuvent descendre bien plus profondément, le record étant détenu par un mâle de Kerguelen à 1850 m. Dans le monde animal, seuls les cachalots semblent

consequently in regulating the climate of our planet. It is here that most of the exchanges of water and heat with the neighboring oceans and the atmosphere take place. We now know that the variations in the amount of heat stored in the waters of the southern ocean influence the distribution and abundance of krill and consequently of its predators: penguins, seals or whales.

Elephant seal migrations are affected by oceanographic conditions

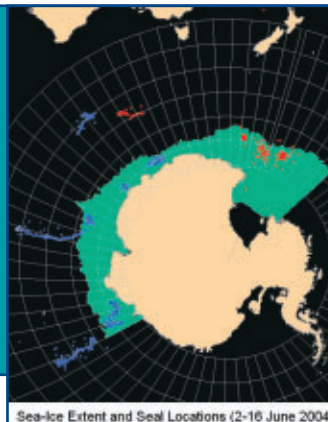
The elephant seal is a predator at the top of a food chain, consuming considerable quantities of prey (fish and squid) which it catches in very deep water. Elephant seals do not hesitate to migrate long distances in search of their prey. While some of the populations have stabilized and are even increasing slightly, others have been continuously declining since the 1950s. The reasons for these variations are not clear, but regional changes in the abundance and distribution of prey, related to variations in oceanographic conditions, might be the cause.

One of the objectives of this work is to quantify the influence of variations in oceanographic conditions in the short, medium and long term on the distribution and fishing success rates of this marine predator. To do this, three main reproduction sites are being studied. One is at South Georgia Island, where the population has always been stable, another is at the Kerguelen and Heard islands, where

Les données de localisation argos (en bleu et en rouge pour les animaux de Kerguelen de Macquarie, respectivement) indiquent qu'au mois de juin les éléphants de mer se trouvaient entre 100 et 200 km à l'intérieur de la banquise (indiquée en bleu ciel).

Ainsi ces animaux nous permettent d'obtenir des informations océanographiques pour la zone du Pack-ice qui est inaccessible aux flotteurs Argos (qui peuvent rester bloqués sous la glace).

Ces résultats soulignent la complémentarité des différentes approches proposées pour étudier l'océan mondial.



Sea-ice Extent and Seal Locations (2-16 June 2004)

Argos location data (shown in blue and red for animals from Kerguelen and Macquarie respectively) indicate that in June the elephant seals were in the interior some 100 and 200 km from the edge of the ice shelf (shown in blue).

These animals thus enable us to obtain oceanographic information for that part of the pack ice which is not accessible to Argos floats (which may remain trapped underneath the ice).

These results emphasize the complementarity of the various approaches proposed for studying the world ocean.

pouvoir concurrencer ces phoques. La durée moyenne des plongées est de 20-30 minutes, et la fréquence est de 60 à 80 plongées par jour.

Lors de leurs trajets, les éléphants de mer traversent la plupart des structures frontales et des zones de convergences péri-antarctiques. Nos éléphants échantillonneurs collectent ainsi des données à fine échelle, permettant, par exemple la description de tourbillons et de la structure des courants dans les principales zones frontales du courant circumpolaire, ainsi que dans la zone de la banquise Antarctique. Le suivi des balises Argos a déjà montré que la distribution des éléphants de mer variait en fonction des différentes classes d'âge et de sexe de la population. Les femelles adultes exploitent les zones adjacentes au continent Antarctique, et celles associées à la divergence Antarctique. Les mâles concentrent leur activité de recherche alimentaire principalement sur les plateaux péri-antarctique et péri-insulaire. Ainsi en travaillant sur des mâles et des femelles, il est possible d'obtenir des données océanographiques concernant des régions différentes.

La seule façon d'obtenir des données durant l'hiver austral

Cette approche est particulièrement appropriée pour collecter des données hivernales pour l'océan austral, qui sont difficiles et extrêmement coûteuses à obtenir par ailleurs.

L'emploi de navires océanographiques conventionnels pour collecter de telles données, outre le fait de leur coût élevé, ne peut pas garantir l'accès aux zones de glace de mer pendant les mois hivernaux. La seule alternative serait l'utilisation de bouées dérivantes, 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 mer de sexe différent permet de cibler des régions particulières. Les bathythermographes (XBT) lancés depuis les bateaux de ravitaillement ou de commerce apportent, eux aussi des informations importantes, mais l'obtention

the population has stabilized after a period of great decline, and the third site is at Macquarie Island, where the population continues to decrease. The drastic decreases observed at Kerguelen and Macquarie appear to be related to the observed disappearance of sea ice. The current monitoring of migrations of animals from the Kerguelen and Macquarie Islands confirms that elephant seals of these two populations are strongly attracted to sea ice in winter, and several individuals are currently in the center of the pack ice, sometimes more than 200 km from its edges.

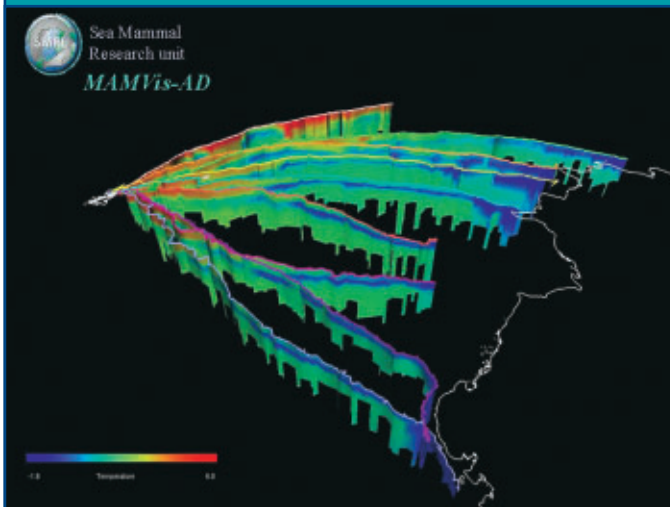
Variations in fishing catches can be revealed by fluctuations in the floatability of the animals which affects the speed of their dives: when they put on fat they tend to float, which makes diving more difficult and thus slower, and when they get thinner they tend to sink, which makes fishing easier for them!

An exceptional diver

Elephant seals are the biggest seals, weighing several hundred kilos and sometimes up to a few tonnes. They regularly return to land to reproduce and renew their fur, which is when scientists in the field attach their tags. Once at sea, they dive very deeply and remain submerged throughout their trajectory. They spend about 90% of their time beneath the water, diving on average between 400 and 800 meters in depth. But most of the individuals can go even deeper, the record being held by a Kerguelen male at 1,850 meters. In the animal world, only Sperm Whales are able to compete with these seals. The dives last an average of 20 to 30 minutes, with 60 to 80 dives per day.

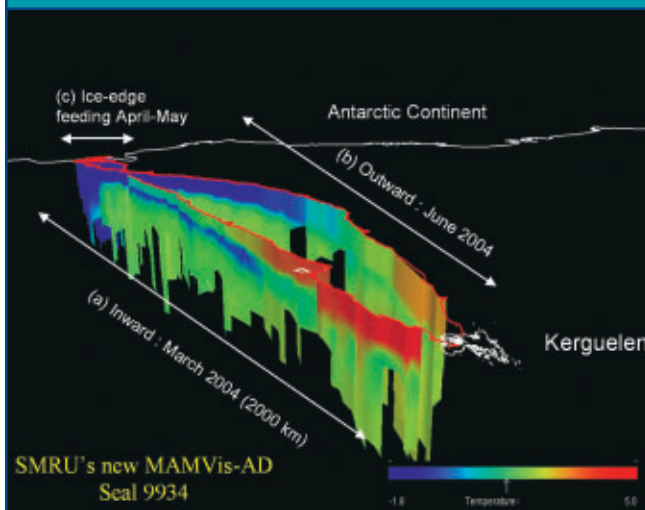
During their trajectories, the elephant seals pass through most of the frontal structures and convergence zones of the peri-Antarctic. Our sampler elephant seals thus collect very fine scale data which enables us, for instance, to describe eddies and the structure of currents in the main frontal zones of the circumpolar current, as well as in the Antarctic pack ice zone.

Ces données brutes nous permettent d'ores et déjà de reconstituer les sections verticales de température et salinité sur les premiers 1 200 m de profondeur, le long de transects de 2 000 km parcourus par les animaux entre Kerguelen et le continent Antarctique. Ces profils ont été obtenus entre le 1^{er} et le 31 mars 2004 par 9 éléphants de mer équipés à Kerguelen. Les données collectées nous permettent d'identifier la couche de mélange de surface constituée d'eau relativement chaude, qui se distingue nettement de la masse d'Eau d'Hiver (ou couche de minimum de température de subsurface) plus froide et qui surplombe l'Eau Profonde Circumpolaire, elle-même plus chaude que l'Eau d'Hiver.



This raw data has already enabled us to reconstitute the vertical sections for temperature and salinity for the first 1,200 metres in depth, along 2,000 km transects followed by animals between Kerguelen and the Antarctic continent. These profiles were obtained between 1 and 31 March 2004 by nine elephant seals fitted with tags at Kerguelen. The data collected enabled us to identify the surface mixing layer consisting of relatively warm water, which can be clearly distinguished from the mass of winter water (or the minimum temperature layer of the subsurface), which is colder and on top of the deep circumpolar water which itself is warmer than the winter water.

Un éléphant de mer équipé à Kerguelen a effectué entre mars et juin un premier aller retour entre Kerguelen et le continent Antarctique, et les données de température des masses d'eau obtenues sont présentées dans la figure ci-jointe. Ce trajet peut être décomposé en trois phases : une phase aller au mois de mars (a), la phase de retour en juin (b) et une phase de séjour en avril-mai dans la banquise antarctique en cours de formation (c). Les températures collectées nous permettent d'ores et déjà de visualiser les changements saisonniers affectant la couche de mélange de surface péri-antarctique. Celle-ci est constituée d'eau relativement chaude qui se distingue nettement de la masse d'Eau d'Hiver (couche de minimum de température de subsurface) plus froide et plus salée et qui surplombe l'Eau Profonde Circumpolaire plus chaude que l'Eau d'Hiver. Au début de l'hiver (juin) on observe le refroidissement et l'épaississement de la couche de mélange sous l'action du refroidissement atmosphérique et des vents.



An elephant seal fitted with a transmitter at Kerguelen made a first round trip between March and June between Kerguelen and the Antarctic continent, and the temperature data obtained for the water masses are shown in the accompanying illustration. This trajectory can be broken down into three phases: an outward phase, during March (a); the return phase in June (b); and a lingering phase in April and May on the Antarctic pack ice, which was forming (c). The temperature collected have already enabled us to visualise the seasonal changes which affect the peri-Antarctic surface mixing layer. This consists of relatively warm water which is clearly distinguished from the mass of winter water (the minimum temperature layer for the subsurface), which is colder and more saline, and which covers the deep circumpolar water, which is warmer than the winter water. For the beginning of the winter (in June) we can see that the cooling and thickening of the mixing layer is affected by atmospheric cooling and winds.

Lors de son séjour en bordure du continent antarctique (c) cet individu est resté à la même position et s'est en quelque sorte mué en station océanographique fixe échantillonnant continuellement pendant deux mois. Ce comportement nous a permis d'observer les changements hydrologiques associés à la formation de la glace de mer. Nous observons tout d'abord une diminution de la température de la couche de surface avec la progression de l'automne. Simultanément, la salinité augmente car du sel est rejeté de la glace en formation. En conséquence, la densité des couches de surface augmente pendant l'automne.

de ces données est limitée aux principales voies de navigation et concerne seulement les profils de température. Les mouillages fournissent des séries temporelles à long terme mais leur nombre est limité compte tenu de leur coût et des opérations logistiques associées à leur mise en œuvre. Une révolution dans les systèmes d'observation est actuellement en cours, basée sur les satellites et sur les flotteurs-profileurs (Argo) autonomes qui permettent d'obtenir pour la première fois des mesures globales pour l'étude de 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 de glace de mer et les profileurs ne peuvent pas fonctionner dans ces conditions. Ainsi, pour la zone s'étendant de 60° S au continent Antarctique et comprise entre 20° E et 140° E, seuls 182 profils obtenus par cette méthode sont répertoriés dans la bases de données de Coriolis Godae, tandis qu'en moins de cinq mois les éléphants de mer en ont collecté plus de 2000.

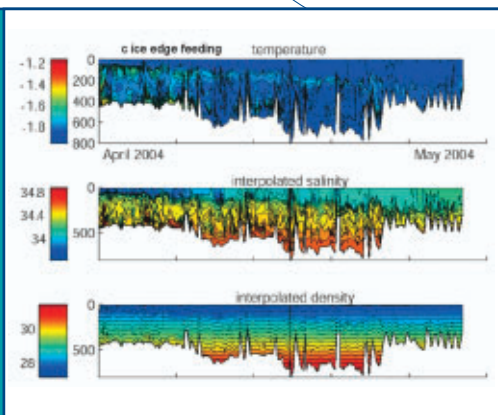
Une avancée technologique

La grande avancée technologique rendant possible cette étude fût le développement par les scientifiques et les ingénieurs du Sea Mammal Research Unit, de l' Université de St Andrews en Ecosse, de balises Argos permettant l'enregistrement et l'envoi par satellite des données de plongée et de localisation d'animaux marins dans leur milieu naturel. Des progrès récents ont permis

Monitoring of Argos tags has already shown that the distribution of elephant seals varies according to the different age and sex categories of the population. Adult females exploit zones adjacent to the Antarctic continent and zones related to the Antarctic divergence. The males concentrate their food search activity mainly on the peri-Antarctic and peri-insular plateaux. Thus by studying males and females it is possible to obtain oceanographic data for different regions.

The only way to obtain data during the southern winter

This method is very suitable for collecting winter data for the southern ocean, as other methods are both difficult to implement and extremely costly. Conventional oceanographic vessels cannot always be used to collect such data, because in addition to their high cost, they are not always able to reach sea ice zones during the winter months. The only alternative would be to use drifting buoys. However, this technology does not cover a significant enough area at high latitudes. Moreover, the drifting buoys, by definition, cannot be sent to zones of particular interest, whereas the choice of elephant seals of different sexes enables us to target specific regions. The bathythermographs (XBT) launched from supply boats or commercial ships also yield significant information, but such data is limited to the main shipping routes and is only for temperature profiles. Moorings supply long term time series, but their number is limited due



During its stay on the edge of the Antarctic continent (c), this individual stayed in the same position and to some extent became a fixed oceanographic station, taking samples continually for two months. This behavior enabled us to observe the hydrological changes corresponding to the formation of sea ice. We first observed a decrease in the temperature of the surface layer as autumn wore on. Simultaneously the salinity increased because salt was rejected from the forming ice. Consequently, the density of surface layers increased during autumn.

d'incorporer dans ces appareils un capteur CTD miniaturisé (salinité et température). 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, température et pression de haute résolution. Pour répondre à l'exigence des océanographes quant à la qualité des mesures hydrologiques, nous avons étalonné nos capteurs avec le concours du Shom, puis effectué des essais en mer avec l'aide de l'Insu et de l'IPEV. Il a ainsi été possible de s'assurer de la qualité et de la résolution des données fournies et d'appliquer le cas échéant les corrections nécessaires aux données transmises par chacune des balises CTD. D'ici quelques semaines, nécessaires pour finaliser les procédures de correction des mesures de chaque balise, l'ensemble des données collectées par les éléphants de mer équipés à Kerguelen sera mis à disposition des océanographes par l'intermédiaire la base de données Coriolis, et les nouvelles données collectées le seront en temps quasi-réel. Ainsi l'obtention de données océanographiques via des prédateurs marins pour appréhender les conséquences du réchauffement global s'avère être également une approche très prometteuse pour l'étude des phénomènes climatiques et océaniques de grande échelle.

to their cost and the logistical operations required to implement them. A breakthrough is currently being made in observation systems, based on the use of satellites and autonomous profiling floats (Argo), which have been used for the first time to obtain global measurements for studying these oceans. But even these new technologies are not able to routinely sample the pack ice zone: satellite measurements of surface temperatures and sea height are impossible in the pack ice zone and profilers cannot function under these conditions. Thus for the zone stretching from 60°S to the Antarctic continent and between 20°E and 140°E there are only 182 profiles obtained with this method, in the Coriolis Godae database, whereas in less than five months the elephant seals have collected more than 2,000.

A technological breakthrough

The big technological advance which made this research possible was the development, by scientists and engineers of the Sea Mammal Research Unit at the University of St Andrews in Scotland, of Argos tags which can record and transmit dive data by satellite, thus making it possible to locate marine animals in their natural environment. Thanks to recent tech-

nological developments a miniaturized CTD sensor is now incorporated in these devices (for taking salinity and temperature measurements). The basic unit includes a satellite transmission platform which transmits the location data via the Argos Service as well as high resolution sensors for conductivity, temperature and pressure. To meet the demands of oceanographers for quality hydrological measurements, we calibrated our sensors with the help of Shom, and then performed tests at sea with support from Insu and the IPEV. We were thus able to guarantee the quality and resolution of the data supplied and, where necessary, to apply corrections to the data transmitted by each of these CTD tags.

In a few weeks time, once we have finalized the correction procedures for the measurements from each tag, all of the data collected by the elephant seals fitted out at Kerguelen will be made available to oceanographers via the Coriolis database, and the new data collected will be provided in almost real time. Thus, the use of marine predators to acquire oceanographic data to try and understand the consequences of global warming has proven to be a very promising method for studying large scale climate and ocean phenomena.



>>> Christophe Guinet est chercheur au Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, unité propre de recherche du CNRS, son thème d'étude est d'évaluer les conséquences des variations des conditions océanographiques sur les performances de reproduction et la distribution spatiales, des oiseaux et mammifères marins.

Christophe Guinet is a researcher for the Chizé Center for Biological Studies (part of the French CNRS). His studies focus on evaluating the consequences of variations in oceanographic conditions on reproduction and movements of birds and marine mammals.



Article written in collaboration with: Frédéric Bailleu, Charles André Bost - Centre d'Etudes Biologiques de Chizé - CNRS - France, Martin Biuw, Mike Fedak, Phil Lovell, Frazer Monks - Sea Mammal Research Unit - University of St. Andrews - Ecosse, Jean-Benoît Charrassin, Young-Hyang Park, Fabien Roquet - Equipe "Physique de l'Océan Austral" - Département Milieux et Peuplements Aquatiques - Muséum National d'Histoire Naturelle - France, Ian Field, Mark Hindell, Clive McMahon - Antarctic Wildlife Research Unit - University of Tasmania - Australie