

La télémétrie et les systèmes d'enregistrement des données renvoient un nombre croissant d'informations concernant les grands prédateurs marins, dont les poissons, les reptiles, les oiseaux et les mammifères et ceci, essentiellement grâce au système Argos.

Telemetry and logging devices are returning increasing amounts of information about marine top predators, including fish, reptiles, birds and mammals. The Argos system has played a fundamental role in facilitating this success.



Des animaux instruments de mesure océanographique



Avec des détails toujours plus précis, ces dispositifs, qui communiquent par le biais de récepteurs embarqués sur les satellites du système ARGOS, fournissent des informations sur les déplacements des animaux, leurs comportements et dans une certaine mesure, sur leur environnement immédiat. Toutefois, la compréhension des facteurs qui déterminent la répartition des différents animaux marins nécessite une compréhension plus globale de la structure physique et biologique des océans que des échantillons localisés de paramètres environnementaux prélevés peuvent fournir. Les données collectées sur les animaux sont à intégrer dans une approche océanographique plus synoptique. Malgré la richesse des informations océanographiques disponibles, souvent, lorsque nous recherchons des données sur les conditions océanographiques dans des zones où les animaux se dépla-

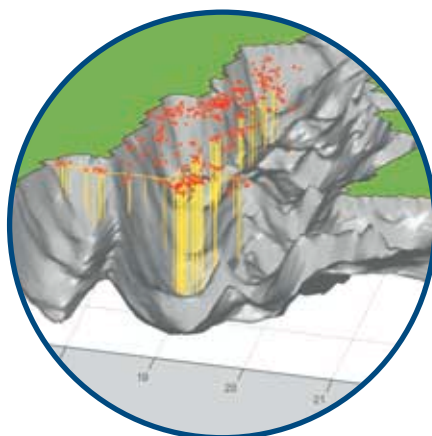
cent, elles sont incomplètes ou font défaut peut-être parce que les animaux évoluent dans des zones océanographiques peu connues en raison de leur inaccessibilité ou d'autres contraintes logistiques. Il arrive aussi souvent que nous ayons besoin d'informations sur une échelle spatiale ou temporelle plus pointue que celle fournies par les modèles océanographiques ou la télédétection. Cette apparente différence entre ce que nous, biologistes, aimerions connaître sur la structure des océans et le peu d'informations disponibles pour bien la décrire, nous motive à fournir davantage de données sur l'environnement grâce à nos tags émetteurs en utilisant les animaux eux-mêmes comme instruments de mesure océanographique. Les océanographes sont également parfois limités par le manque de données pour développer et tester leurs modèles. Il n'est donc pas surprenant qu'aussi bien les biologistes que les

In ever-increasing detail, devices communicating via receivers onboard Argos System satellites provide information on where animals go, how they behave and, to some extent, provide information on their immediate environment. However, understanding the factors that determine the distribution of wide ranging marine animals requires a more general understanding of the physical and biological structure of the oceans than spot samples of environmental parameters can provide. Animal-derived data needs to be integrated with more synoptic oceanographic approaches. In spite of the wealth of oceanographic information available, it is often the case that when we look for data on the oceanographic conditions in areas through which the animals move, we find it is incomplete or lacking. This can be because the animals utilize areas of ocean that are poorly known because of their inaccessibility or as the result of other logistic constraints. It is also often the case that we need information on a finer spatial or temporal scale than oceanographic models or remote sensing can provide. This perceived gap between what we as biologists would like to know about ocean

structure and the limited information available to describe it appropriately provides motivation for us to supply more environmental data from the tags we apply, using the animals themselves as oceanographic samplers. Oceanographers too, are sometimes limited by a lack of data to build and test their models. It is therefore not surprising that the idea of using marine animals as sampling platforms has grown among both biologists and oceanographers alike.

This is not a new idea. The earliest published reference to the approach I have found is from a U.S Navy report written by Evans and Leatherwood in 1972 but I am sure that it occurred to scientists long before that. Indeed, it was an oceanographic application that indirectly sparked the ideas for Kooyman's pioneering work developing dive recorders for seals (*Kooyman, 1981*).

But while the idea of using animals as oceanographic platforms is not new, the technological tools to produce effective, small, low power monitoring equipment have only recently become available because of the availability of very small, low power microelectronics and computing techniques. Additional impetus



Animals as oceanographic samplers

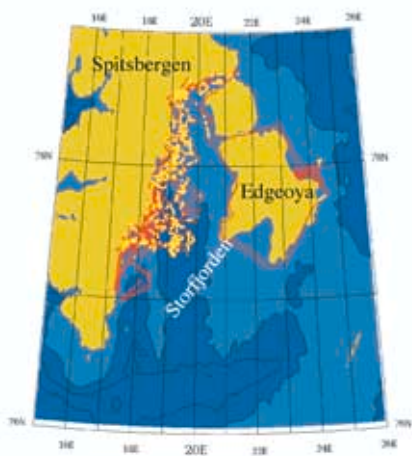
Carte de la répartition des relevés CTD effectués par une baleine blanche au cours de la période de gel automnal dans le Storfjorden, Svalbard, 7-24 novembre 2001.

Les bandes bleues représentent les contours des profondeurs situées entre 100 et 500 m (et plus).

La ligne rouge relie les positions des balises Argos dans leur ordre chronologique de calcul.

Chaque point jaune (N=540) représente la position d'un profil CTD relevé par un CTD-SRDL.

Source : Lydersen et al. 2002.



Map of distribution of CTD-casts performed by a white whale during the Autumn freeze-up in Storfjorden, Svalbard, 7-24 November 2001.

The bands of blue colour represent depth contours at 100-500 m (and greater).

The red line connects Argos locations in the temporal sequence in which they were computed. Each yellow dot (N=540) represents the location of a CTD profile upcast collected by the CTD-SRDL. Data from Lydersen et al. 2002.

océanographes aient eu l'idée d'utiliser les animaux marins comme plate-forme d'instruments pour des mesures océanographiques.

L'idée n'est pas nouvelle. J'ai trouvé une des toutes premières références à cette démarche dans un rapport de la US Navy rédigé en 1972 par Evans et Leatherwood, mais je suis convaincu que les scientifiques en avaient eu l'idée bien avant. En effet, ce fut une application océanographique qui indirectement mit en évidence le travail novateur de Kooyman sur le développement d'appareils d'enregistrement de la profondeur des plongeurs des phoques (Kooyman, 1981).

Alors que l'idée d'utiliser des animaux comme plate-forme océanographique n'est pas nouvelle, les outils technologiques qui fournissent un équipement de surveillance efficace, de petite taille et de faible puissance ne sont apparus que très récemment grâce à des techniques informatiques et de microélectronique miniaturisée de faible puissance, désormais disponibles. Une nouvelle impulsion est donnée au développement de ces techniques grâce à une demande toujours accrue de données océanographiques. Certes, les biologistes sont conscients de cette demande car ils veulent comprendre la répartition des animaux marins et leur interaction avec l'environnement marin, mais elle est également motivée par les besoins en informations de la communauté océanographique elle-même. L'importance du suivi des processus océaniques en temps quasi réel pour les prévisions météorologiques et les analyses climatiques à long terme est de plus en plus évidente. D'autres échantillonneurs à distance innovants tels que les amarres, les bouées, les planeurs sont en cours de développement et peuvent renvoyer des données en temps record. Dernièrement, des programmes tels que GOOS (Global Ocean Observation System) permettront l'assimilation de telles données en temps quasi réel vers des modèles les plus récents de circulation générale.

Un des objectifs principaux de ceux-ci est de représenter et prévoir avec exactitude les variations climatiques sur des périodes saisonnières et à plus long terme. L'utilisation des grands prédateurs marins pour le transport des instruments de collecte de telles données peut y jouer un rôle prépondérant.

Alors que les possibilités offertes par cette approche ne sont pas forcément reconnues par la communauté océanographique, une certaine reconnaissance se développe rapidement actuellement, particulièrement au sein de groupes pluridisciplinaires qui se sont rassemblés autour d'études générales d'avant-garde telles que TOPP (Tagging Of Pacific Pelagics) (Block et al., 2002). Ce vaste projet pilote réunissant des biologistes, des océanographes et des ingénieurs a été soutenu par le projet Census of Marine Life (CoML) financé par la Fondation Sloan qui a lancé ce projet pour encourager l'exploration interdisciplinaire des océans sur une grande échelle. Le financement par le US National Oceanographic Partnership Program (NOPP), géré par l'Office of Naval Research, a permis d'avancer les développements technologiques nécessaires pour élaborer des équipements et créer des bases de données intégrées permettant l'accessibilité des données.

Cette approche a été utilisée récemment pour fournir des profils de salinité et de température d'un Fjord dans l'archipel Svalbard quand il a commencé à geler en hiver (Lydersen et al, 2002). Des enregistreurs émetteurs de nouvelles données construits spécialement par la Sea Mammal Research Unit (SMRU), étaient fixés sur des bélougas ou baleines blanches, une espèce de baleine de l'arctique qui vit dans les eaux souvent recouvertes de glace, inaccessibles aux bateaux et à tout autre moyen de collecte de données océanographiques. Ces appareils (appelés CTD-SRDL : Current/Temperature/Depth -Satellite Relay Data Loggers) étaient utilisés pour étudier la structure océanogra-

is added to this development by ever increasing demands for oceanographic data. These demands are certainly felt by the biologists wanting to understand the distribution of marine animals and how they interact with the marine environment but they are also driven by the data requirements of the oceanographic community itself. The importance of near real-time monitoring of ocean processes for long-term weather and climate analyses and forecasting is increasingly being recognized. Innovative remote samplers such as moorings, buoys, gliders etc. are being developed, each of which can return data on rapid timescales. Ultimately, programs such as the Global Ocean Observation System (GOOS) will enable the assimilation of such near real-time data into state-of-the-art general circulation models. One important purpose of these is to accurately represent and predict climate variability on seasonal and longer timescales. Using larger marine top-predators to carry instruments to collect such data can play a significant role in this effort.

While the opportunities presented by this approach may not yet be widely recognized in the oceanographic community, such recognition is rapidly developing, particularly within multidisciplinary groups brought together by pioneering integrated studies such as TOPP (Tagging Of Pacific Pelagics) (Block et al., 2002). This large pilot project, bringing together biologist, oceanographers and engineers has been supported in part by the Census of Marine Life project (CoML) funded by the Sloan Foundation, which initiated this project to provide a stimulus to large scale, cross-disciplinary exploration of the seas. Funding from the US National Oceanographic Partnership Program (NOPP), administered by the Office of Naval Research has helped to advance the technological developments needed to develop equipment and to create the integrated databases required to make the data accessible.

phique du Storfjorden dans l'archipel Svalbard (cf encart p14) qui est l'endroit où les grands prédateurs arctiques se regroupent (tels que les ours polaires, les phoques annelés et les bélougas). Les instruments étaient dotés de capteurs de température et de conductivité spécialement conçus pour l'océanographie (Compact CT, Alec Electronics, Ltd, Kobé, Japon), outre les capteurs de base et les régulateurs, ainsi que les WildCAT OEM PTT Seimac (Seimac Ltd., Dartmouth, Nouvelle Écosse) et les traditionnels SMRU SRDL (capteurs de profondeur, de vitesse et de surface). Ces tags retransmettaient les informations sur les déplacements par comparaison de position géographique et la profondeur de plongée des baleines; ils utilisaient des logiciels complexes de collecte et de compression de données, et de gestion d'alimentation à l'intérieur d'un régulateur d'émetteur pour optimiser l'énergie des batteries et surmonter les contraintes de largeur de bandes dues aux limites d'énergie disponible et le temps limité des mammifères marins à la surface de l'océan et les protocoles ARGOS (Fedak et al., 2002).

Au cours du déploiement, les baleines bélouga plongeaient systématiquement au fond du Storefjord et se trouvaient dans des zones recouvertes de glace à 90 % où le déploiement de capteurs conductivité-température-profondeur (capteurs CTD) depuis des bateaux aurait été difficile. Au cours de la première période de gel dans le fjord, des profils CTD ont été transmis depuis 540 positions géographiques couvrant une zone de 8 000 km² environ (cf. encart p14). Au cours de cette période, les baleines se trouvaient dans des zones recouvertes entre 4/10^e et 9/10^e de glace. Des localisations ARGOS émises par les baleines en surface ont été sélectionnées pour déterminer deux "transects".

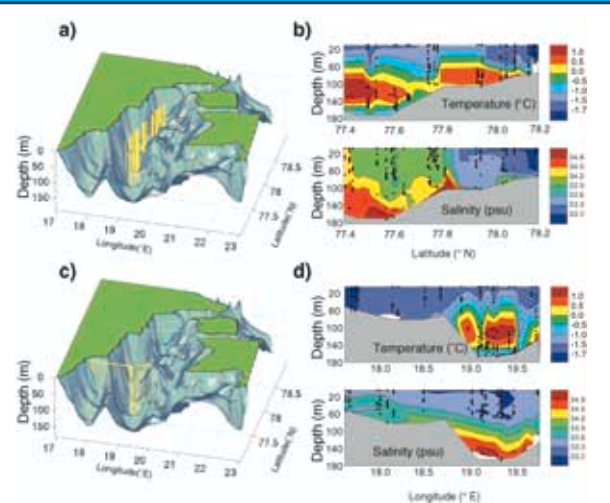
Le transect est-ouest présenté dans l'encart ci-contre date du 18 novembre tandis que le transect nord-sud est une image reconstituée à partir des données collectées entre les 10 et 20 novembre.

Recently, this approach has been used to provide salinity/temperature profiles of a Fjord in Svalbard, during the time it began to freeze in winter (Lydersen et al., 2002). Novel data logger/telemetry devices, purpose built by the Sea Mammal research Unit (SMRU), were attached to Beluga or white whales, a high Arctic whale species that frequents waters that are often ice covered and inaccessible to ships and other oceanographic data collection approaches. These devices (called CTD-SRDs for Current/Temperature/Depth-Satellite Relay Data Loggers) were used to study the oceanographic structure of Storfjorden in the Svalbard Archipelago (figure 1), which is home to important assemblages of Arctic top-predators such as polar bears, ringed seals and belugas. The instruments incorporated oceanographic-quality conductivity-temperature (CT) sensors (Compact CT, Alec Electronics, Ltd; Kobe Japan) in addition to the basic sensors, controller and Seimac WildCAT OEM PTT (Seimac Ltd., Dartmouth, Nova Scotia) in conventional SMRU SRDLs (depth, speed and surface sensors). These tags relayed information on the movements (geographic position) and diving behaviour (depth) of the whales and used complex data collection, data compression and power management software onboard the tag's controller to make the best use of battery energy and overcome the bandwidth constraints imposed by energy availability, the limited surface time typical of marine mammals and Argos protocols (Fedak et al., 2002).

During the deployment, the beluga whales routinely dove to the bottom of the Storefjord and occupied areas with up to 90% ice-cover, where deployment of conventional ship-based CTD-casts would have been difficult. During the initial freezing period in the fjord, CTD-profiles were sent from 540 geographic positions, covering an area of ~8,000 km² (Fig 1). During this period the whale occupied areas that had 4/10th to 9/10th ice-cover. Upcast locations were selected

Transects CTD dans le Storfjorden, Svalbard. Les cartes montrent la localisation des plongées d'une baleine blanche équipée d'un tag CTD le long d'un transect nord-sud (A) et un transect est-ouest (C) et superposé à une carte bathymétrique en trois dimensions du Storfjorden, Svalbard (chaque trait jaune représente un plongeon, la longueur des points correspond à la profondeur du plongeon). Les relevés CTD produits au cours de ces plongées servent de base aux profils de température et de salinité présentés respectivement en B et D. Chaque point en B et D représente une position où une mesure CTD a été effectuée.

Figure extraite de Lydersen et al. 2002.



CTD transects in Storfjorden, Svalbard. The maps show the locations of selected dives performed by a white whale (each yellow spike represents a dive; the length of the spikes represents dive depth) carrying a CTD tag, along a north-south transect (A) and an east-west (C) transect superimposed on a three-dimensional bathymetric map of Storfjorden, Svalbard. CTD-casts produced during these dives are the basis for the temperature and salinity profiles shown in B and D respectively. Each dot in B and D represents a location where a CTD-measurement was taken.

Figure from Lydersen et al. 2002.

OXOXOX



OXOXOX

La caractéristique frappante commune aux deux transects est la température particulièrement élevée de la colonne d'eau. L'eau la plus chaude est située dans les endroits les plus profonds du fjord au-dessus d'une couche d'eau froide plus saline, certainement des restes d'eau dense datant de l'hiver précédent. L'explication la plus probable à cette langue d'eau chaude est l'arrivée par le sud d'eau chaude de l'Atlantique nord.

Les données géographiques dont nous disposons grâce à la balise CTD installée sur la baleine blanche montrent que le courant vers le nord d'eau plus chaude venu de l'Atlantique peut potentiellement influencer sur la chaleur de la colonne d'eau et ainsi avoir un impact sur la formation de glace dans la zone de polynie du Storfjord.

Selon des estimations antérieures sur la formation d'eau sursalée dans le Storfjord, la température de la colonne d'eau était proche du point de congélation, à l'automne et au début de l'hiver (Haarpaintner et al. 2001a), et que les masses d'eau à l'intérieur du Storfjord étaient essentiellement composées d'eaux arctiques (Haarpaintner et al. 2001b). Or, ce n'est pas du tout le cas et les futurs modèles océanographiques du Storfjord devront tenir compte de l'arrivée d'eau chaude en provenance du sud.

Depuis quelques années, les biologistes reconnaissent l'importance d'obtenir des informations sur la température locale grâce aux tags portés par les espèces étudiées (Boehlert et al, 2001; Charrassin et al. 2002; Guinet et al, 1997; Koudil, et al.,

to provide two "transects". The east-west transect shown in Figure 2 is from 18 November, while the north-south transect is a composite picture of data collected during the period 10-20 November. A striking feature in both transects is the substantial heat in the water column. The warmest water is found in the deepest parts of the fjord, overlaying a layer of cold, more saline water, which was probably a remnant from dense water formed the previous winter. The most probable explanation for the warm tongue of water is that it is an intrusion of warm North Atlantic water from the south.

Our oceanographic data, from the white whale's CTD-tag, show that this northward flow of warmer Atlantic water has the potential to have a large influence on the heat content of the water column and therefore also impact ice formation in the Storfjorden polynya area. Previous estimates of brine formation in Storfjorden have assumed the entire water column is near the freezing point in the fall and early winter (Haarpaintner et al., 2001a), and that the water masses in inner Storfjorden consist mainly of Arctic water (Haarpaintner et al., 2001b). This is clearly not the case and future oceanographic models of Storfjorden need to take into account the intrusion of warm water from the south.

For some years, biologists have recognized the value of obtaining local temperature information from tags carried by their study species (Boehlert et al, 2001; Charrassin et al. 2002; Guinet et al, 1997; Koudil, et al., 2000; Weimerskirch et al., 1995). The study described above was the first to use a marine mammal to provide salinity/ temperature profiles from a marine mammal platform. Other efforts to use this approach will soon be published (Hooker and Boyd, 2003) or are underway. These studies will help to make all of the communities involved in study of the seas recognize the value of integrating biological and oceanographic approaches. Biologists already realize that without such integration, they will not understand how ocean processes shape the life histories of the creatures they study and how these processes affect the status of their populations. Ecosystem managers, environmental policy makers and conservationists know that without integration of the biological and oceanographic information, they can not make sensible decisions about management regimes. Furthermore, as the demands of operational oceanography increase, oceanographers will search for new cost effective, innovative technologies to fill the gap between the near real time data required to describe and forecast ocean conditions and the resources provided to collect that data. Therefore, I am convinced that using marine animals to collect oceanographic information, while not a new idea, is an idea whose time has come. I believe that with further development, the approach could have an impact on the study of the "Earth System" nearly as significant as did the development of satellite remote sensing. ■



>>> encart

OXOXO

OXOXOXO

2000; Weimerskirch et al., 1995). L'étude décrite ci-dessus fut la première à utiliser des mammifères marins comme plates-formes pour fournir les profils de température et de salinité. Des articles sur d'autres tentatives d'utilisation de cette démarche seront prochainement publiés (Hooker et Boyd, 2003) ou sont en cours d'élaboration. Ces études permettront aux communautés scientifiques impliquées dans l'étude du monde sous-marin de reconnaître l'importance de intégrer les approches biologiques et océanographiques. Les biologistes reconnaissent déjà que sans cette intégration, ils ne comprendront jamais l'influence des processus océanographiques sur l'évolution biologique des espèces étudiées et l'incidence de ces processus sur le statut de leurs populations. Les écogestionnaires, les décideurs en matière de politique environnementale et les défenseurs de l'environnement savent que sans l'intégration de ces informations biologiques et océanographiques, il ne leur sera pas possible de prendre des décisions raisonnées en matière de gestion. Par ailleurs, face au besoin accru d'océanographie opérationnelle, les océanographes rechercheront des technologies innovantes et rentables pour réduire les différences entre les données en temps quasi réel nécessaires pour décrire et prévoir les conditions océanographiques et les moyens mis en œuvre pour collecter les données. Je suis donc convaincu, même si l'idée n'est pas nouvelle, que le temps est venu d'utiliser les animaux marins pour la collecte de données océanographiques. Je pense qu'une approche approfondie pourrait contribuer autant à notre connaissance du "Système terrestre" que le développement de la télé-détection satellitaire. ■

References:

- > Block BA, Costa DP, Boehlert GW, Kochevar, RE. (2002) Revealing pelagic habitat use: the tagging of Pacific pelagics program OCEANOL ACTA 25 (5): 255-266.
- > Boehlert, G.W., D.P. Costa, D.E. Crocker, P. Green, T. O'Brien, S. Levitus and B.J. LeBoeuf. 2001. Autonomous Pinniped Environmental Samples: Using Instrumented Animals as Oceanographic Data Collectors. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*. 18:1882-1893.
- > Charrassin JB, Park YH, Le Maho Y, et al. (2002) Penguins as oceanographers unravel hidden mechanisms of marine productivity *ECOL LETT* 5 (3): 317-319
- > Evans, W.E. and Leatherwood, J.S. (1972) The use of a marine mammal as an oceanographic survey platform. Report number NUC TP 331, US Naval Undersea Center, San Diego, Ca. 15 pp.
- > Fedak, M.A., Lovell, P., McConnell, B.J. and Hunter C (2002) Overcoming the constraints of long range radio telemetry from animals: getting more useful data from smaller packages. *Integrative and Comparative Biology* 42(3) 3-10. (Formerly *American Zoologist*).
- > Guinet, C., M. Koudil, C. Bost, J.P. Durbec, J.Y. George, M.C. Mouchat, P. Jouventin 1997. 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. *Mar Ecol Prog Ser* 150, 11-20.
- > Haarpaintner, J., J.-C. Gascard, and Haugan P. M. (2001a) Ice production and brine formation in Storffjorden, Svalbard, *J. Geophys. Res.- Oceans*, 106, 140001-140013.
- > Haarpaintner, J., J. O'Dwyer, J.-C., Gascard, Haugan P. M., Schauer, U., and Østerhus, S. (2001b) Seasonal transformation of water masses, circulation and brine formation observed in Storffjorden, Svalbard, *Ann. Glaciol.*, 33, 437-443.
- > Hooker, S.K. and Boyd I.L. (2003-In press.) Salinity sensors on seals: using marine predators to carry CTD dataloggers. *Deep-Sea Research (new techniques)*
- > Kooyman, G.L. 1981. *Weddell Seal, consummate diver*. Cambridge University Press. 135 pp. AISN:0521236576
- > Koudil, M., J.B. Charrassin, Y. Le Maho, and C.A. Bost. (2000). Seabirds as monitors of upper ocean thermal structure. King penguins at the Antarctic polar front, east of Kerguelen sector. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*. 323:377-384.
- > Lydersen, Christian; Nøst, Ole Anders; Lovell, Phil; McConnell, Bernie J.; Gammelsrød, Tor; Hunter, Colin; Fedak, Michael A.; Kovacs, Kit M. (2002) Salinity and temperature structure of a freezing Arctic fjord—monitored by white whales (*Delphinapterus leucas*). 10.1029/2002GL015462 11 December
- > Lydersen C., Anders Nøst, O., Kovacs, K. M. and Fedak, M. A. (Submitted). Temperature data from Norwegian and Russian waters of the northern Barents Sea collected by free-living ringed seals.
- > Rual, P. (1996) Onboard quality control of XBT bathy messages, in *Summary of Ship-of- Opportunity programmes and technical reports, Intergovern. Oceanograph. Commn (of UNESCO) & World Meteorol. Org., Rep. IOC/INF-1021, Paris, 25 January 1996, pp. 142-152, 1996.*
- > Weimerskirch, H., R. P. Wilson, C. Guinet, and M. Koudil. (1995). Use of seabirds to monitor sea-surface temperatures and to validate satellite remote-sensing measurements in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 126:299-303.

>>> Mike FEDAK



>>> De gauche à droite, les ingénieurs et biologistes de l'équipe de la SMRU impliqués dans le développement du CTD-SRDL : Clint Blight, Phil Lovell, Frazer Monks, Mike Fedak, Bernie McConnell, Colin Hunter and Rory Beaton.

The software and hardware designers and biologist of Sea Mammal Research Unit telemetry team involved in the development of the CTD-SRDL. From left to right, Clint Blight, Phil Lovell, Frazer Monks, Mike Fedak, Bernie McConnell, Colin Hunter and Rory Beaton.

Synthèse modifiée à partir d'une présentation faite lors du Symposium international sur le système d'enregistrement des données biologiques qui a lieu du 17 au 21 mars au National Institute of Polar Research, à Tokyo, Japon. Une version détaillée est présentée dans les actes de la manifestation. Taken and modified from a presentation at the International Symposium on Biologging Science. March 17-21 National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan. More detailed version submitted to meeting proceedings volume.