

ARGOS FORUM # 81

11 / 2015

ARGOS, AU COEUR DE L'ÉTUDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

**PLUS DE 35 ANS
DE COLLECTE DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES**

SOMMAIRE

Argos, au coeur de l'étude du changement climatique

4 PROGRAMME UTILISATEUR



ÉTATS-UNIS

LES OURS POLAIRES ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Par George Durner

6 PROGRAMME UTILISATEUR



JAPON

UN SYSTÈME D'OBSERVATION DU CLIMAT POUR LES HAUTES LATITUDES

Par Yoshihiro Iijima

8 PROGRAMME UTILISATEUR



AUSTRALIE

DES OISEAUX DU DÉSERT CONFRONTÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Par Reece Pedler, Raoul Ribot, Andy Bennett

10 PROGRAMME UTILISATEUR



JAPON

DES BOUÉES ANCRÉES POUR ÉTUDIER LE CLIMAT OCÉANIQUE TROPICAL

Par Iwao Ukei, Tatsuya Fukuda, Takayuki Hashimukai

12 PROGRAMME UTILISATEUR



ÉTATS-UNIS

PRÉVOIR L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES POISSONS

Par Gen Del Raye, Kevin Weng

14 PROGRAMME UTILISATEUR

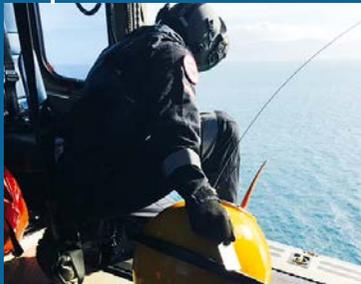


AUSTRALIE

QUEL AVENIR POUR LES MANCHOTS ROYAUX DE L'ARCHIPEL DE CROZET ?

Par Clara Péron

16 PROGRAMME UTILISATEUR



AUSTRALIE
**SURVEILLANCES
DES VAGUES
CYCLONIQUES**

Par Daryl Metters, John Ryan,
Grant Millar

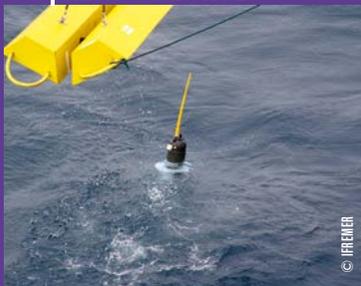
18 PROGRAMME UTILISATEUR



ÉTATS-UNIS
**LES TORTUES
LUTHS FACE
AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE**

Par Ellen Willis-Norton

20 RÉTROSPECTIVE



**PROGRAMME
INTERNATIONAL
ARGO :
UNE RÉVOLUTION
DANS LA RECHERCHE
SUR LE CLIMAT**

Par Howard Freeland,
Mathieu Belbeoch

22 RÉTROSPECTIVE



**ARGOS :
UNE TECHNOLOGIE
PERFORMANTE
AU SERVICE
DE LA RECHERCHE
CLIMATIQUE**

Par Bill Woodward

EDITORIAL

Par Mathieu Belbeoch

Responsable, JCOMMOPS
Commission Océanique Intergouvernementale (COI)
de l'UNESCO, Organisme Météorologique Mondiale

L'un des plus grands enjeux de l'étude du climat est d'obtenir suffisamment d'observations de l'océan dans le temps et dans l'espace pour disposer d'une véritable vision globale du système océanique. Afin de mieux comprendre le rôle de l'océan dans le climat, la Commission Océanique Intergouvernementale (COI) assure la coordination des efforts de surveillance et de suivi de l'état de l'océan par le biais du Système Mondial d'Observation de l'Océan (GOOS), un réseau unifié qui fournit des informations sur le contenu physique, chimique, et biologique de l'océan et permet l'échange de données. Le GOOS constitue la composante « océan » du Système Mondial d'Observation du Climat (GCOS), qui vient à l'appui du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

Dans le cadre du GOOS, le système satellite Argos fournit des observations continues de l'océan de la planète depuis plus de 35 ans. Il aide à comprendre la circulation océanique et l'élévation régionale du niveau de la mer en livrant de précieuses mesures in situ utilisées par les modèles numériques, en complément des mesures satellites.

Alors que la communauté internationale se prépare en vue de la conférence COP21 à Paris en décembre 2015, et que la COI travaille à l'ajout de l'océan à l'agenda de la conférence, les scientifiques continueront d'avoir besoin de systèmes pérennes d'observation globale de l'océan, gouvernés par des instances internationales et intergouvernementales.

Nul doute que le système Argos, à l'avant-scène des technologies nécessaires aux études sur le changement climatique, fera partie de ces systèmes.

L'océan est notre avenir, et comme l'a dit Irina Bokova, Directrice Générale de l'UNESCO, « la pérennité de la planète dépend de la santé de l'océan ».

Toutes les publications ARGOS sont disponibles sur :
www.argos-system.org

#COP21CLS

UTILISER ARGOS POUR COMPRENDRE LA RÉACTION DES OURS POLAIRES AUX MODIFICATIONS DE LA ZONE ARCTIQUE

Une ourse polaire dans sa tanière.

Par George Durner, U.S. Geological Survey, Alaska Science Center



© USGS

L'ours polaire (*Ursus maritimus*) est un prédateur supérieur emblématique qui, grâce à sa faculté à chasser les phoques depuis la surface de la banquise, a pu prospérer dans l'environnement marin arctique pendant au moins 500 000 ans. Les ours polaires ne vivent que dans les mers de l'hémisphère nord, qui restent glacées pendant la majeure partie de l'année. Le récent réchauffement atmosphérique altère le climat mondial de manière significative – tout particulièrement sous les latitudes septentrionales en raison de « l'amplification arctique » – et entraîne la fonte des glaces de mer. La disparition de la glace de mer pousse les ours en dehors de leur habitat de chasse optimal, modifie la distribution des tanières et augmente leurs dépenses énergétiques. L'Alaska Science Center (USGS) utilise le système Argos pour étudier et suivre les ours polaires depuis 30 ans. George Durner de l'USGS explique comment leur comportement évolue en réaction au changement climatique dans l'Arctique.

Dès le début des années 90, les scientifiques ont commencé à étudier la réaction des ours polaires au changement climatique. Comme les ours polaires évoluent dans de vastes régions où les hommes s'aventurent rarement, les observations directes ne pourraient fournir des données que pendant une courte période de l'année et de façon restreinte. Dès 1985, des terminaux de transmission (Platform Transmitter Terminals) fixés à des colliers radio ont fourni des informations de positions ainsi que des données fiables de différents capteurs, indépendamment de la période de l'année et du lieu du déploiement. Cette collecte d'information via le système Argos se poursuit depuis, constituant aujourd'hui une base inestimable de données qui permettent à l'USGS d'évaluer les réactions des ours polaires face à l'évolution de l'Arctique.

Perte d'habitat et prévisions pour le 21^e siècle

Les images satellite fournissent des données cohérentes sur l'étendue, la composition et la dynamique de la banquise depuis 1979. En fusionnant ces données environnementales avec les données provenant des émetteurs Argos, l'USGS a développé des modèles qui ont permis d'identifier les habitats privilégiés des ours polaires. Les modèles montrent entre autres la perte de l'habitat préférentiel des ours dans une grande partie du bassin Arctique depuis quelques années (Fig. 1a).

L'application de ces modèles d'habitat aux prévisions des modèles globaux de glace permet à l'USGS de prévoir une perte de 5 % par décennie de l'habitat préférentiel des ours

polaires au 21^e siècle (Fig. 1b). La santé des populations d'ours polaires étant intimement liée à la glace de mer, les prévisions de diminution continue de leur habitat suggèrent des impacts négatifs sur celles-ci au cours du 21^e siècle. Cette étude a joué un rôle essentiel dans la décision prise par le Secrétaire à l'Intérieur des États-Unis, en 2008, de classer les ours polaires comme une espèce menacée en vertu de la loi sur la protection des espèces en voies de disparition (Endangered Species Act).

Changements dans la répartition des tanières

Toutes nos connaissances sur la période délicate durant laquelle les ourses polaires s'abritent de la neige dans une tanière pour donner naissance aux oursons et les nourrir durant le rude hiver Arctique, ont été obtenues grâce aux données des capteurs embarqués sur des balises Argos fixées sur les ourses.

Avant 1995, les ours polaires présents au sud de la mer de Beaufort se démarquaient des autres populations avec 62 % de leurs tanières situées sur la banquise plutôt qu'à terre. Les années suivantes ce taux a largement diminué pour passer à 37 %.

La composition de la banquise a évolué ; les couches de glace pluri annuelles, solides et épaisses, capables de supporter les tanières pendant plusieurs mois, ont été remplacées par de la glace de première année, fine et plus susceptible de se briser sous l'action des vents et des courants. Il devient difficile pour les femelles de trouver les emplacements nécessaires aux quatre mois à passer dans les tanières avec les oursons. Les données Argos ont permis d'observer ce changement de comportement des ourses polaires en réponses au changement de l'environnement Arctique.



© USGS

Un scientifique de l'USGS installe un collier-émetteur sur une ourse polaire.

Des parcours longues distances

L'allongement de la durée et de l'étendue des eaux libres de glace en été soulève des questions sur les conséquences pour les dépenses énergétiques des ours polaires qui sont appelés à nager bien plus qu'avant. Ils nagent aisément entre les îlots de glace et entre terre et banquise mais avant 1997, la durée et la distance de ces déplacements étaient relativement courtes. Les données provenant des balises Argos ont révélé une augmentation de la fréquence des longs trajets à la nage par les ours sur la période comprise entre 2004 et 2009. En particulier, au cours de l'été 2008, marqué par un retrait des glaces jusqu'à 600 km de la côte nord de l'Alaska, les données Argos ont montré qu'une femelle adulte a nagé pendant neuf jours durant pour atteindre la banquise, couvrant plus de 400 km.

Nager engendrant des dépenses énergétiques importantes, l'augmentation de la fréquence de ces longs trajets pourrait imposer une consommation d'énergie supplémentaire à celle causé par l'éloignement des zones de chasse lié à la diminution de la glace de mer.

Conclusions

Cet article met en lumière trois exemples de l'utilisation d'Argos pour évaluer les impacts du changement climatique sur les ours polaires. L'USGS continue de recueillir des données satellite pour approfondir et améliorer la compréhension de la réponse développée par les ours face au changement de l'environnement Arctique.



GEORGE DURNER

George Durner travaille depuis 1991 comme chercheur en zoologie au sein de l'US Geological Survey (USGS) pour le programme de recherche sur l'ours polaire de l'Alaska Science Center. Avec l'aide d'une équipe de scientifiques de l'USGS, il cherche actuellement à identifier et à décrire les mécanismes sous-jacents à la réaction des ours polaires face à l'évolution de l'écosystème Arctique. Ses études portent sur le rapport des ours polaires à l'habitat, et notamment sur la façon dont ils réagissent et devront réagir dans le contexte de la fonte des glaces de mer. Elles s'appuient sur 29 années d'utilisation des données de localisation des ours polaires grâce au système Argos. Les résultats de ses recherches ont largement servi à éclairer la décision du Secrétaire à l'Intérieur des États-Unis de classer les ours polaires comme une espèce menacée d'extinction en vertu de la loi sur la protection des espèces en voie de disparition (Endangered Species Act).

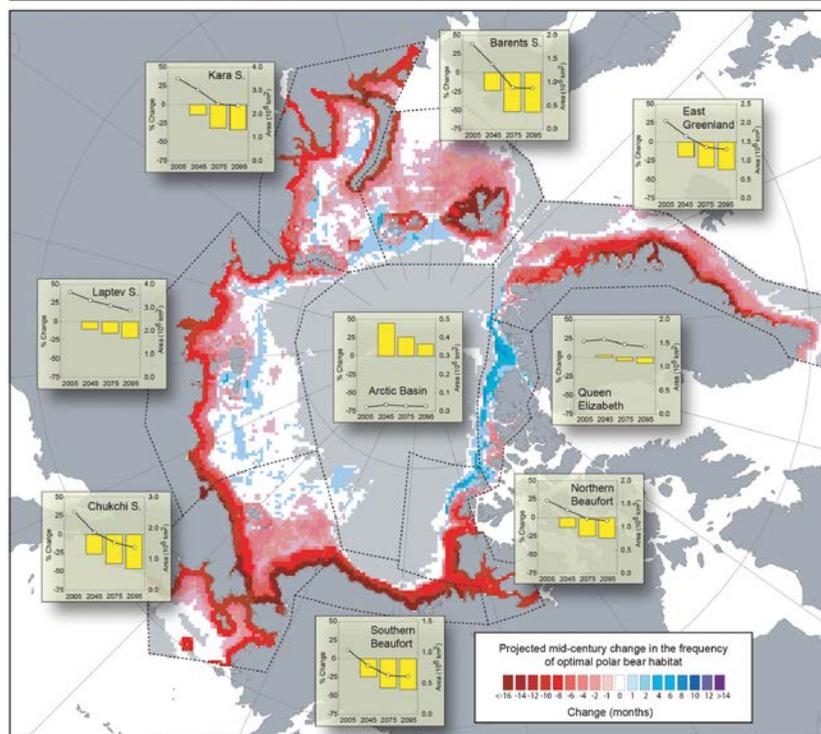
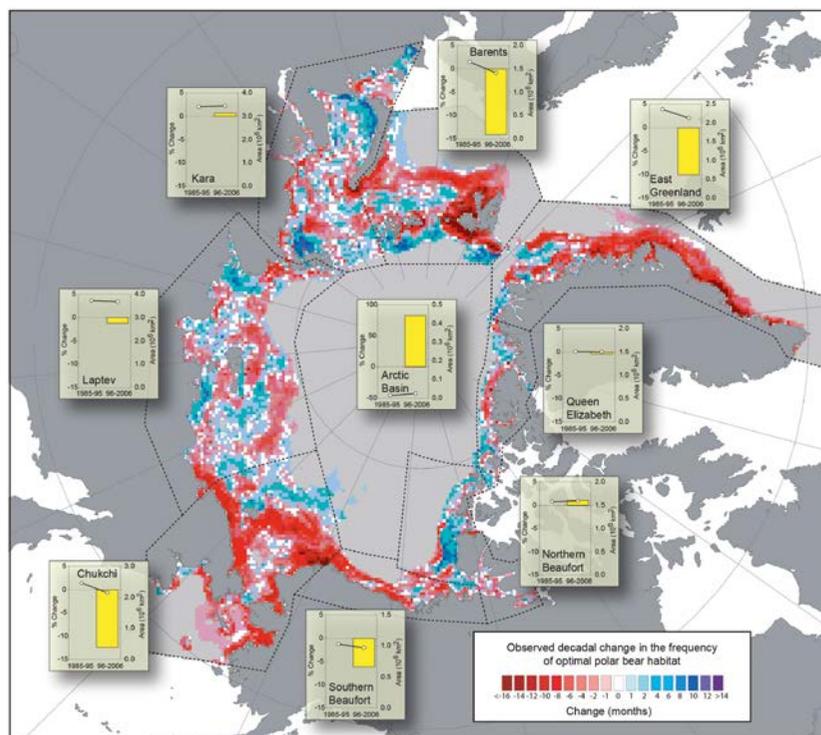


Figure 1. Évolution du nombre cumulé de mois d'habitat optimal pour l'ours polaire :

- ▲ a) observations comparées entre les périodes 1985-1995 et 1996-2006 ;
- ◀ b) prévisions comparées entre les périodes 2001-2010 et 2041-2050.

Les histogrammes intégrés montrent l'évolution de l'habitat par sous-population d'ours polaires. Tiré de Durner et al. 2009, *Ecological Monographs* 79(1): 25/-58.

ARGOS-ACOS : UN SYSTÈME D'OBSERVATION DU CLIMAT EN QUASI-TEMPS RÉEL POUR LES HAUTES LATITUDES



Station ARGOS-ACOS à Bulgan, Mongolie.

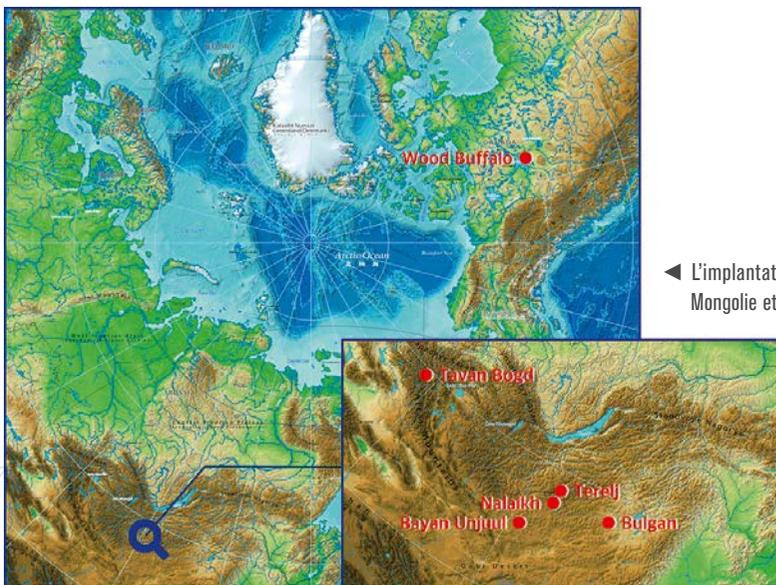
Par Yoshihiro Iijima, Institute of Arctic Climate and Environmental Research, JAMSTEC

L'Arctique se réchauffe quasiment deux fois plus vite en moyenne que le reste de la planète. Des réactions éloignées à ce réchauffement ont été observées sur les continents voisins au cours de la dernière décennie et sont désormais au centre des études sur le climat. Les scientifiques ont observé que des épisodes froids ainsi que d'autres phénomènes climatiques saisonniers se propagent de l'Arctique vers les continents avec un décalage d'une à deux semaines. Aussi l'acquisition de données en quasi-temps réel présente un intérêt considérable, car elle permet de valider les prévisions à moyen terme et aide à comprendre l'interaction entre l'atmosphère et la surface terrestre sur les continents, comme l'explique Yoshihiro Iijima, de l'Institute of Arctic Climate and Environmental Research (JAMSTEC).

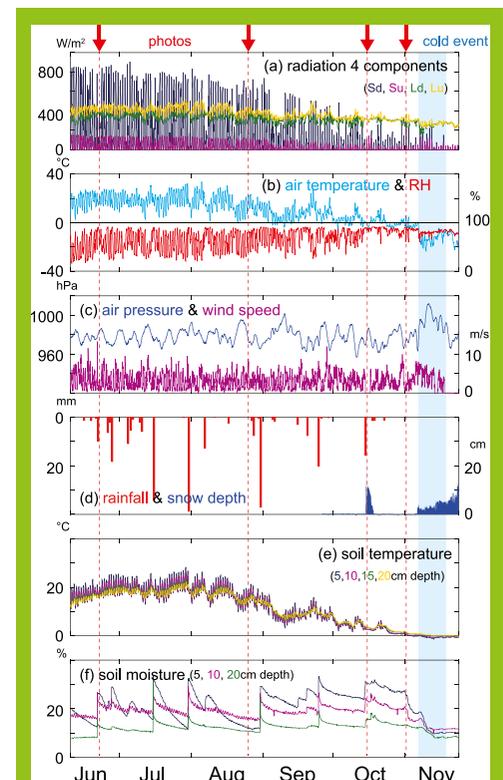
Une coopération internationale

Depuis l'été 2012, la transmission des données via le système Argos est effective sur quatre sites ACOS en Mongolie (Automatic Climate Observation System) exploités conjointement par la JAMSTEC (JAPON Agency for Marine-Earth Science and Technology) et l'IMHE (Institute of Hydrology, Meteorology, and Environment) de Mongolie. En 2014, un autre site ACOS a été installé dans le Wood Buffalo National Park

(WBNP) dans les Territoires du Nord-Ouest du Canada, en coopération avec Parks Canada (voir implantation ci-dessous). Ces stations servent à l'étude des processus à la surface des sols, dans les forêts boréales et dans les steppes situées aux hautes latitudes, deux écosystèmes qui subissent largement les effets du changement climatique arctique et subarctique. En outre, l'ensemble des données archivées servira à valider les modèles de surfaces continentales avec l'intégration des processus cryosphériques (accumulation de neige, gel et dégel du sol, etc.).



◀ L'implantation des sites ARGOS-ACOS en Mongolie et au Canada.



Données climatologiques transmises au WBNP en 2014.

Argos fournit des données primordiales

Les observations réalisées sur le site du WBNP ont mis en évidence des épisodes froids périodiques survenus après octobre 2014, accompagnés de chutes de neige. Une baisse brutale de la température de l'air (inférieure à -10°C) accompagnée d'une accumulation continue de neige s'est produite à partir du 6 novembre 2014. La forte advection d'air froid a continué de sévir en Amérique du Nord avec une importante vague de froid au cours des semaines suivantes. Les données de ré-analyse NCEP / NCAR ont montré qu'un cyclone anormal en Alaska reproduisait un « effet de propagation » du jet stream et donc de l'advection d'air froid provenant de l'Arctique. L'épisode combiné froid/chute de neige a fortement

intensifié le gel du sol, qui est l'un des processus uniques par lequel les anomalies d'humidité du sol s'impriment dans la mémoire climatique de cette région.

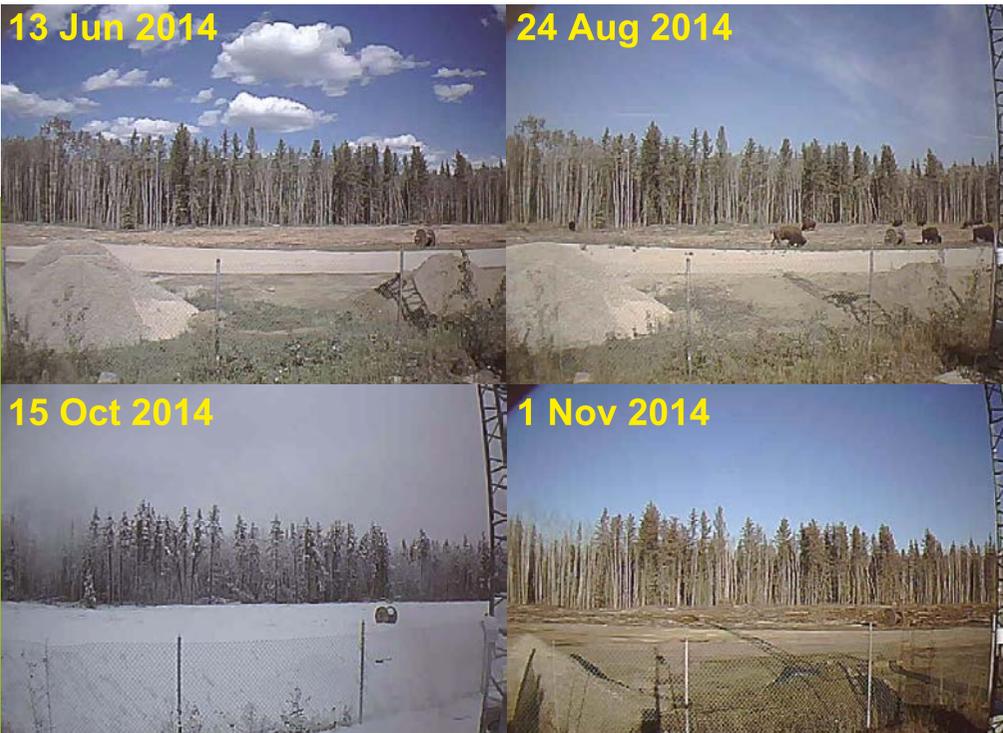
Documents photographiques

Des photographies quotidiennes ont permis de suivre les changements journaliers et saisonniers du paysage en rapport avec les conditions climatiques. La détection d'un épisode de sécheresse à la fin du mois d'août (de nombreux buffles sur les photos) avec une diminution continue de l'humidité du sol constitue également une information utile pour évaluer le risque d'incendie de forêt dans ce parc national.



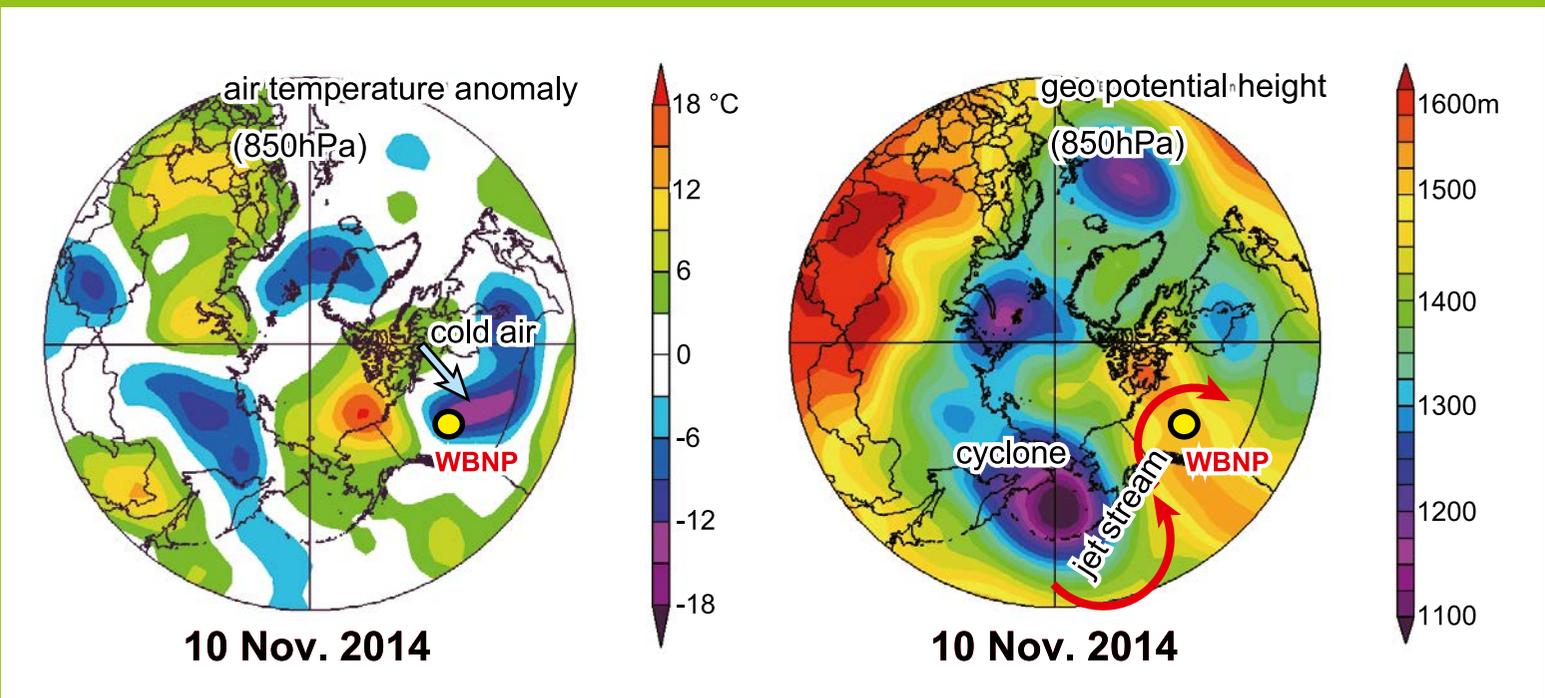
YOSHIHIRO IIJIMA

Climatologue et responsable scientifique à l'Institute of Arctic Climate and Environmental Research (JAMSTEC), Yoshihiro Iijima étudie les processus à la surface du sol liés au changement climatique arctique et sub-arctique, dans la toundra et les steppes boréales.



◀ Les images sont transmises via le haut-débit d'Argos-3. Ci-contre, la vue du WBNP aux quatre saisons.

▼ Conditions atmosphérique lors de l'épisode de froid en Amérique du Nord, en novembre 2014.



SUIVI DES ÉCHASSES À TÊTE BLANCHE : DES NOMADES CONFRONTÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



© Ben Parkhurst

Par Reece Pedler, PhD candidate, Dr. Raoul Ribot, Research fellow, and Andy Bennett, Professor, Centre for Integrative Ecology, Deakin University

Dans un monde de plus en plus marqué par la variabilité du climat mondial, l'Outback australien est connu depuis toujours pour ses climats extrêmes, ses périodes de sécheresse et de pluies torrentielles. Dans cette vaste région intérieure du continent australien, les précipitations ne sont pas seulement très faibles en moyenne mais également imprévisibles, de sorte que de nombreuses espèces animales et végétales vivant dans cet environnement ont développé des stratégies d'adaptation. Ces espèces exploitent au maximum les conditions climatiques favorables de courte durée puis se déplacent lorsque celles-ci se dégradent, ou les surmontent. Malgré son aridité, la région abrite de nombreux habitats aquatiques éphémères et une variété conséquente d'oiseaux effectuant de longs déplacements nomades entre les plans d'eau. La compréhension des stratégies de déplacement de ces espèces est déterminante pour leur conservation, surtout dans un lieu en plein bouleversement climatique, comme l'expliquent Reece Pedler, Raoul Ribot et Andy Bennett.

La zone aride australienne et son climat variable

Actuellement les phénomènes climatiques d'oscillation australe long terme El Niño-La Niña et le dipôle de l'océan Indien sont responsables en grande partie de la variabilité climatique de l'intérieur du pays. Durant la mousson tropicale du nord, la queue des cyclones pénètre parfois loin à l'intérieur des terres et s'accompagne de précipitations intenses qui inondent généralement les lits de rivières et de lacs salés asséchés. Les prévisions sur le changement climatique suggèrent que l'occurrence de ces cyclones tropicaux augmente tout comme son intensité, avec des périodes humides de plus en plus marquées à l'intérieur du

pays, mais également des périodes de sécheresse plus longues et plus rudes. En réalité, ce climat qui compte déjà parmi les plus variables et imprévisibles au monde, est appelé à devenir encore plus contrasté.

Les oiseaux du désert et leurs mystères

Les organismes vivant dans ces zones désertiques ont développé de nombreuses stratégies d'adaptation aux conditions climatiques imprévisibles, un comportement parfaitement illustré par plusieurs espèces d'oiseaux. L'échasse à tête blanche est un petit limicole endémique souvent observé dans les zones humides tempérées et côtières du Sud de l'Australie où il survit lors des fréquentes périodes de sécheresse. Lorsque les grosses pluies

atteignent l'Australie centrale et inondent les lacs salés asséchés, les échasses à tête blanche le détectent d'une manière ou d'une autre à des centaines de kilomètres et quittent leurs refuges côtiers. Dès leur arrivée aux bords de ces lacs récemment inondés, elles se hâtent de s'accoupler, de construire un nid et de pondre leurs œufs, formant des colonies de nidification où des dizaines de milliers de couples profitent de cette courte période de conditions favorables. Ce comportement est resté méconnu pendant très longtemps, les connaissances se limitant à l'observation de la disparition des oiseaux près des côtes et à celles occasionnelles de colonies de nidification sur de minuscules îlots de terre au milieu de vastes étendues désertiques inondées et inaccessibles.

L'utilisation d'Argos pour percer ces mystères

Au cours des trois dernières années, le suivi de ces animaux a révélé beaucoup de choses sur les stratégies comportementales de ces oiseaux pour survivre dans ces environnements. Près de 50 échasses à tête blanche (*Cladorhynchus leucocephalus*) ont été équipées d'un émetteur Argos à panneaux solaires de 5 g (Microwave Telemetry USA) sur des sites côtiers et à l'intérieur des terres. Ce suivi par satellite a livré une profusion d'informations sur leurs mouvements étonnants (Pedler et al., 2014). Il est apparu que ces oiseaux comptent parmi les espèces nomades les plus mobiles, parcourant des centaines, voir



© Reece Pedler

Une échasse à tête blanche équipée d'une balise Argos de 5 g à panneaux solaires près d'un lac intérieur salé.

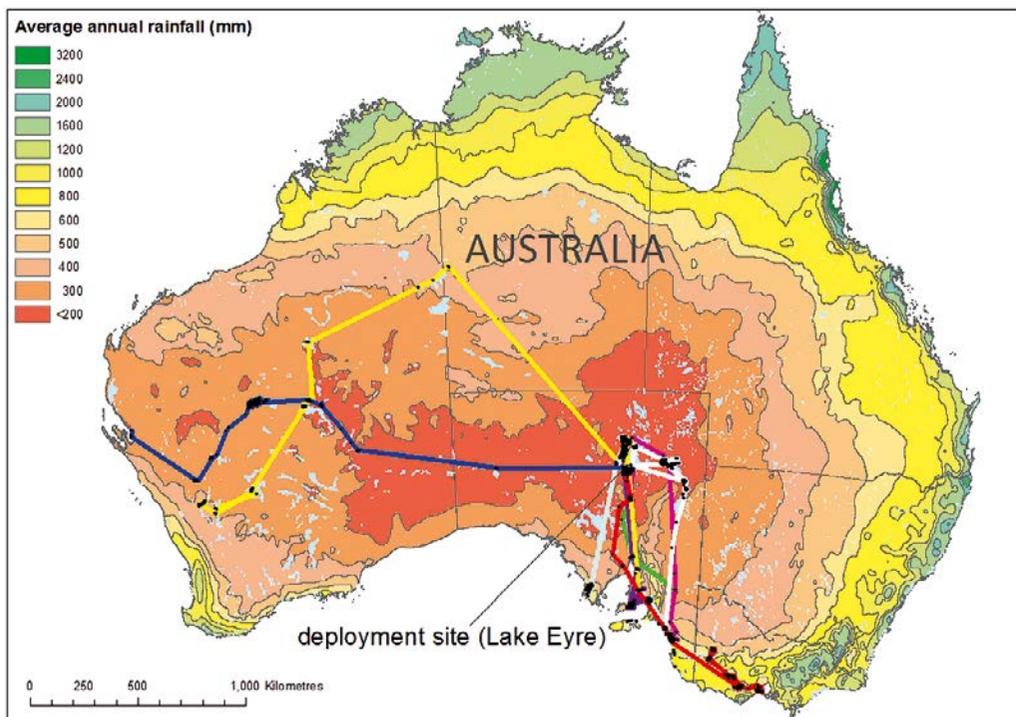
parfois même des milliers de kilomètres par an. Peu après les pluies diluviennes à l'intérieur des terres, les individus suivis par satellite ont réagi très rapidement en quittant les zones humides tempérées côtières en 5 à 15 jours. Ils ont également fait preuve d'une souplesse remarquable en occupant plusieurs zones salines inondées avant d'en changer pour tirer parti le plus longtemps possible de ces conditions favorables. Les données montrent que plusieurs individus ont couvert un trajet de plusieurs centaines de kilomètres en une seule nuit pour atteindre des zones humides récemment inondées. On peut même citer le cas extrême d'un oiseau qui a parcouru plus de 2 000 km à travers le continent en seulement deux nuits pour rejoindre des lacs salés récemment inondés.

Les échasses à tête blanche peuvent-elles s'adapter au changement climatique ?

Alors que les lacs salés des déserts s'assèchent inévitablement et que la nourriture qui s'y trouve se raréfie, les échasses à tête blanche regagnent rapidement les zones humides côtières en volant la nuit sur des distances allant jusqu'à 800 km. Durant les longues périodes de sécheresse, elles restent concentrées sur



▲ Échasses à tête blanche dans un grand lac salé de l'Ouest de l'Australie.



▲ Figure 1 : Déplacements nomades de dix échasses à tête blanche équipées d'un émetteur Argos de 5 g à énergie solaire, lors d'un épisode d'inondation dans la région du lac Eyre, en 2012.

BIBLIOGRAPHIE

Pedler, R.D., Ribot, R.F.H., and Bennett, A.T.D. (2014) Extreme nomadism in desert waterbirds : flights of the banded stilt. *Biology Letters* 10(10).

Pedler, R.D., Weston, M.A., and Bennett, A.T.D (2015) Long incubation bouts and biparental incubation in the nomadic Banded Stilt. *Emu*, in press

ces terres humides côtières, mettant en évidence l'importance de ces sites pour ces populations entre les périodes favorables à leur reproduction dans les terres.

Comment ces oiseaux survivront-ils à l'imprévisibilité croissante du climat ? Les périodes d'intense humidité plus fréquentes entraîneront-elles d'avantages d'opportunités de se reproduire ou ces effets positifs vont-ils contre balancés par les sécheresses plus intenses ?

La nature flexible et nomade de ces oiseaux adaptés à des climats extrêmes pourrait être un avantage pour perdurer alors que d'autres, habitués aux climats prévisibles, déclinent.



REECE PEDLER

Reece Pedler prépare un doctorat à l'université de Deakin (Centre for Integrative Ecology) (Victoria). Il s'intéresse tout particulièrement à la conservation, aux écosystèmes, et à l'écologie des zones arides.



RAOUL RIBOT

Raoul Ribot est chercheur à l'université de Deakin (Centre for Integrative Ecology). Il travaille sur l'écologie du mouvement des oiseaux australiens et leur réaction à l'évolution des environnements.



ANDY BENNETT

Le Professeur Andy Bennett, spécialiste des oiseaux, étudie l'écologie sensorielle et comportementale. Il dirige un programme de recherche sur le suivi par satellite des oiseaux à l'université de Deakin (Centre for Integrative Ecology). Il est président de l'Australasian Society for the Study of Animal Behaviour.

LES BOUÉES ANCRÉES TRITON : SENTINELLES DU CLIMAT OCÉANIQUE TROPICAL

Par Iwao Ueki, Tatsuya Fukuda, Takayuki Hashimukai, JAMSTEC

Le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscillation), le plus fort évènement climatique interannuel du globe, a un impact sur la météo, les écosystèmes, les sociétés et les économies. La modulation d'ENSO est ainsi l'un des sujets qui suscitent le plus d'intérêt actuellement dans les études climatiques tropicales. Depuis ses débuts, le réseau TAO/TRITON joue un rôle essentiel dans l'observation continue d'ENSO, en fournissant de précieuses données de surface et de subsurface des épisodes El Niño, comme l'expliquent Iwao Ueki, Tatsuya Fukuda et Takayuki Hashimukai de JAMSTEC.

Identification des épisodes El Niño

En juillet 2015, la distribution des températures de surface dans l'océan Pacifique tropical (observations satellites) a révélé une structure El Niño caractéristique : une distribution d'ATSM typique (anomalie de température de surface de la mer) positive et négative s'étalant d'Est en Ouest (voir Figure 1). En plus des observations satellites, le réseau de bouées TAO/ TRITON (Tropical Atmosphere and Ocean / Triangle trans-ocean buoy network) composé d'environ 70 bouées ancrées déployées dans l'océan Pacifique tropical (Figure 2), fournit des observations in-situ de ces phénomènes.

Élaboration du réseau TAO/TRITON

Le réseau TAO (pour l'observation océan-atmosphère dans les mers tropicales) a été conçu par le PMEL (Pacific Marine Environmental Laboratory)/NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en 1994. La JAMSTEC (Japan Agency for Marine- Earth Science and Technology) a commencé par installer plus de 10 bouées TRITON (voir ci-dessous) dans la partie occidentale du réseau, en 2000. Le réseau TAO/TRITON est une composante essentielle du système d'observation d'ENSO. Ce dispositif offre l'avantage de pouvoir observer simultanément, en temps réel et à grande échelle les conditions de subsurface et les flux thermiques à

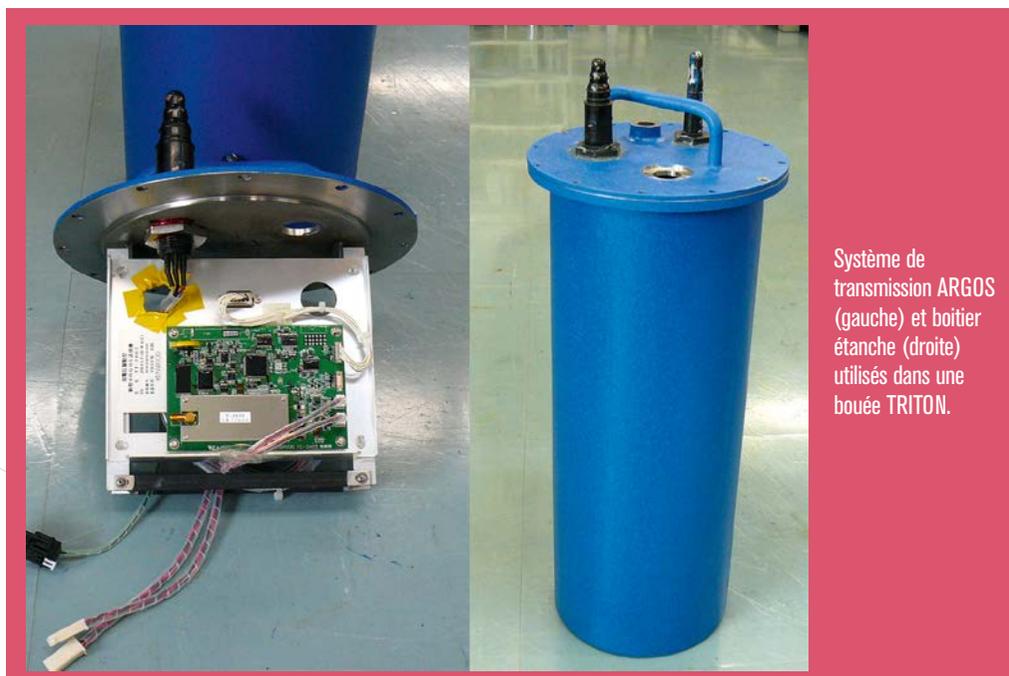
la surface de l'océan. Les données quotidiennement actualisées provenant du réseau TAO/TRITON sont exploitées pour l'étude et les prévisions d'ENSO et des phénomènes associés. De surcroît, plus de 15 ans de séries temporelles de mesures enregistrées via le réseau TAO/TRITON sur l'ensemble du bassin permettent l'étude à l'échelle décennale de la modulation d'ENSO, en plus des épisodes individuels El Niño.

Argos, fournisseur de données in situ en temps utile

La transmission en temps utile des données d'observation est essentielle pour surveiller et prévoir les conditions ENSO



Bouée ancrée TAO/TRITON.



Système de transmission ARGOS (gauche) et boîtier étanche (droite) utilisés dans une bouée TRITON.

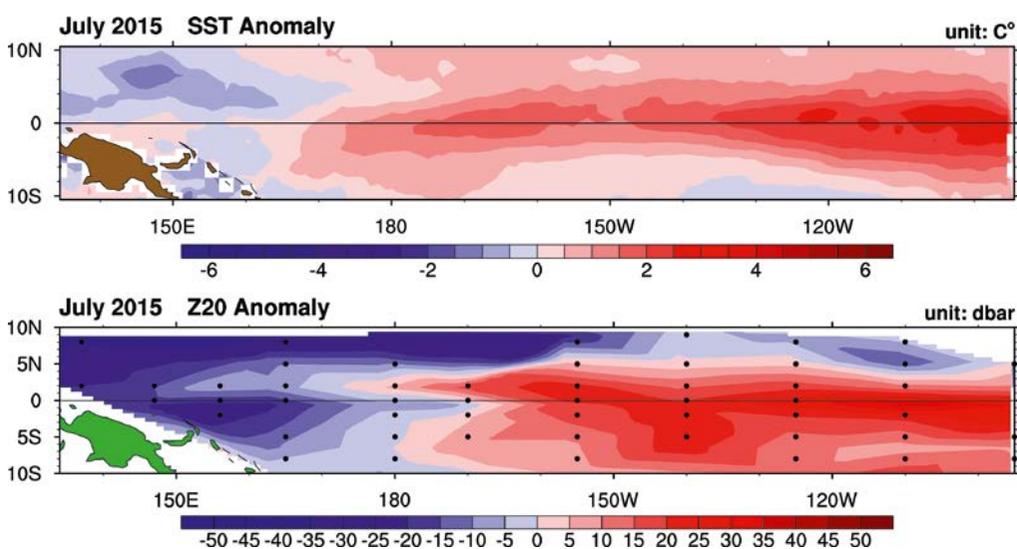
de manière efficace. C'est pour cela que nous utilisons le système satellite Argos.

Pour les bouées TRITON, nous transmettons plus d'une quarantaine de paramètres par heure (vent, température de l'air, humidité relative, pression barométrique, température et salinité de surface, des courants à 10 m de profondeur, etc.) avec trois messages. Chaque bouée envoie généralement 500 à 650 messages par jour. Après un contrôle de leur qualité, les données transmises sont diffusées à la communauté scientifique, aux agences de prévision météorologique et au grand public.

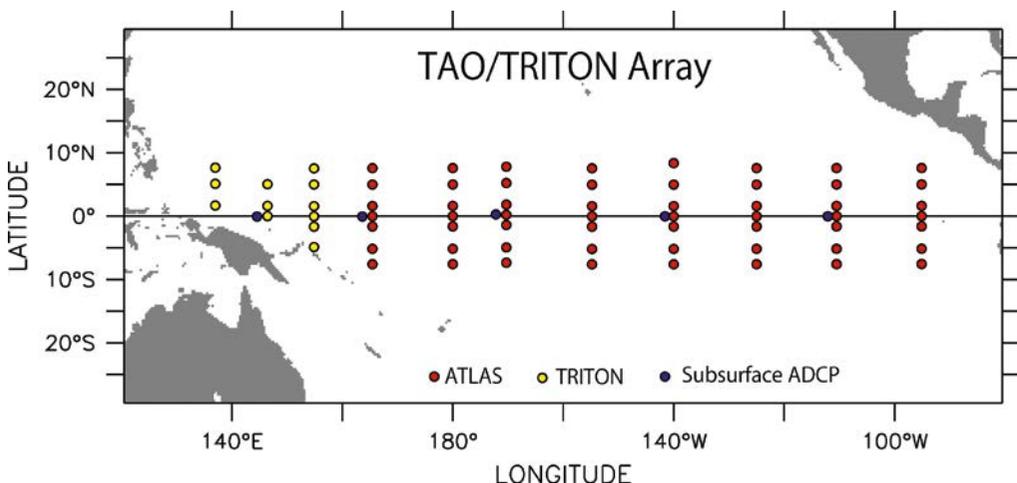
Pour les observations sur les bouées déployées en haute mer, les capteurs et systèmes de contrôle sont exposés à des conditions très difficiles : températures élevées, forte humidité, vibrations à haute fréquence, risques de submersion, etc. Compte tenu de cet environnement rude, nous confinons le système de transmission de données dans un boîtier étanche (voir p. 10), installé sur une bouée de surface. Nous utilisons également le système Argos pour détecter la position des bouées de surface en cas de défaillance du système de transmission principal suite à un acte de vandalisme. La robustesse du système Argos constitue un vrai avantage pour les systèmes d'observation continue.

Perspectives du système d'observation du Pacifique tropical

L'actuel système d'observation d'ENSO a permis d'améliorer considérablement la compréhension du phénomène climatique ENSO et d'optimiser ses prévisions. Mais le système a plus de 20 ans et aurait besoin d'être modernisé pour intégrer les acquis scientifiques concernant ENSO ainsi que les avancées des nouvelles technologies (flotteurs ARGO, gliders sous marins et autres systèmes robotiques). En 2014, le Comité directeur du GOOS (Global Ocean Observing System) et de l'OOPC (Ocean Observing Panel for Climate) a mis en place le TPOS-2020 (Tropical Pacific Observing System), un projet à durée de vie limitée visant à superviser l'évolution du TPOS vers un système plus robuste, intégré et durable, capable de satisfaire aux besoins à venir d'ici 2020 (<http://tpos2020.org>). Les discussions du TPOS-2020 viennent de démarrer concernant la redéfinition du TPOS. Il est question d'intégrer de nouvelles technologies d'observation, ce qui implique l'utilisation d'un système de transmission robuste et efficace.



▲ Figure 1 : Distribution des anomalies mensuelles de température de surface de la mer (TSM) en moyenne (en haut) et des anomalies de profondeur de l'isotherme 20°C (en bas) en juillet 2015, observées par satellite et via le réseau TAO/TRITON.



▲ Figure 2 : Le réseau de bouées ancrées TAO/TRITON.



IWAO UEKI

Iwao Ueki est spécialisé dans l'océanographie physique à la Research and Development Center of Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). Il participe au projet TRITON depuis 15 ans, notamment dans le domaine de la gestion et diffusion des données. Son principal objectif est de parvenir à une meilleure compréhension du climat océanique tropical à travers l'étude des données d'observation.



TATSUYA FUKUDA

Tatsuya Fukuda est ingénieur au Marine Technology Center de la JAMSTEC. Ses travaux portent sur le développement et l'amélioration de systèmes de bouées ancrées. Grâce à son expertise, il a notamment contribué à améliorer le système de communication par satellite sur le dispositif des bouées ancrées.

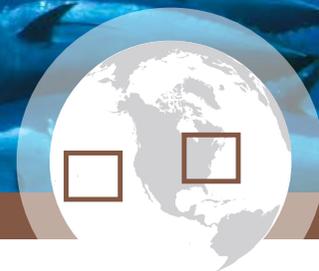


TAKAYUKI HASHIMUKAI

Takayuki Hashimukai est opérateur et responsable de la gestion de la qualité des données au Department of Marine and Earth Sciences de la société Marine Works Japan Ltd. Il assure avec ses collègues le contrôle de la qualité des données transmises quotidiennement par chaque bouée ancrée, ainsi que l'étalonnage des capteurs sur les bouées récupérées. Grâce à leurs efforts, les données diffusées sont de grande qualité.

AMÉLIORER LES PRÉVISIONS DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES POISSONS MARINS

Par Gen Del Raye, University of Hawaii and Kevin Weng, Virginia Institute of Marine Science



Le changement climatique aura des répercussions complexes et différentes sur les poissons marins selon les espèces, de l'albacore aux besoins énergétiques importants, aux tilapias plus sédentaires. Alors que prévoir ces impacts est essentiel pour s'adapter au changement climatique, notre compréhension actuelle des effets du réchauffement, de la désoxygénation et de l'acidification des océans est trop limitée pour être largement exploitée. Notre équipe met actuellement en œuvre un projet visant à développer des modèles spécifiques par espèces, qui pourraient être utilisés comme composante d'une nouvelle génération d'indicateurs du changement climatique. Gen Del Raye et Kevin Weng expliquent que ces modèles intégreront des données de suivi Argos, des observations physiologiques et des variables climatiques afin de fournir une feuille de route aux spécialistes des pêches et de la protection des espèces.

Le thon, espèce fragile dans un océan en mutation

Les pêcheurs et les scientifiques le savent bien, les thons sont des machines réglées très finement, au métabolisme très puissant. Ces caractéristiques leur permettent d'avoir des taux de croissance et de reproduction considérablement élevés. Suivre les thons et faire des mesures de leur environnement grâce à des balises Argos a révélé de fortes préférences pour certaines températures. Couplé à un besoin important en oxygène, cela indique qu'ils pourraient être largement affectés par le réchauffement de l'océan et/ou la désoxygénation – tous deux accompagnant le changement climatique. Les changements notables des aires de répartition des thons, également identifiés grâce aux données Argos lors de précédentes anomalies climatiques tels qu'El Niño, soulignent

cette vulnérabilité. Les thons soutenant toute une industrie de la pêche économiquement très rentable pour des nations insulaires, ces changements prévisibles exigeraient la mise en œuvre de mesures d'adaptation radicales de la part des pêcheurs et des gestionnaires.

Plus vite les scientifiques parviendront à fournir des prévisions détaillées sur l'impact attendu du changement climatique sur la répartition et l'abondance des thons, plus le processus d'adaptation sera efficace et facile à mettre en œuvre.

A contrario les tilapias comptent parmi les poissons les plus robustes, fournissant ainsi un sujet d'étude intéressant en opposition à celui des thons. En effet, dans certains environnements extrêmes tels que la mer de Salton en Californie, les tilapias continuent de prospérer dans des conditions qui se sont avérées fatales pour quasiment toutes les autres espèces de poissons. Mais faut-il parler de « vie » ou « de survie » ?

Des effets non-mortels de concentration en oxygène et en dioxyde de carbone dus à des changements de température, qui plus se produisant simultanément, pourraient affecter les taux de croissance et de reproduction des tilapias malgré leur incroyable résistance. C'est un sujet d'importance car plusieurs espèces de tilapias sont visées par l'aquaculture et certaines semblent particulièrement prometteuses pour l'élevage en zones côtières. Cette activité pourrait s'avérer cruciale pour l'industrie de l'aquaculture de pays dont les ressources en eau douce sont faibles.

Aérobic du thon jaune

Notre équipe a mené des expériences physiologiques à la fois sur le thon albacore (*Thunnus albacares*) et le tilapia du Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), et collecté des données publiques pour tenter de comprendre comment ces espèces très différentes réagiraient à des conditions telles que celles attendues par le changement climatique (Del Raye et al. 2015). Ces données reflètent les réponses spécifiques à chaque espèce à une combinaison de trois variables notables du climat : la température, la concentration en oxygène et la concentration en dioxyde de carbone. Ces paramètres environnementaux produisent tous un effet sur l'aérobic, un indicateur de l'aptitude d'un animal à augmenter son taux métabolique au-delà du taux minimum nécessaire pour survivre. La « capacité aérobic » est importante parce que déterminante pour tous les processus vitaux exigeant de l'énergie (par exemple, la croissance, la reproduction et la migration). Toute réduction de la capacité aérobic causée par le changement climatique exige donc de réduire un ou plusieurs de ces processus. En modélisant les changements de la capacité aérobic, il devient possible de percevoir les effets



Un thon équipé d'un tag Argos de type PSAT.

du changement climatique au travers d'un seul indicateur, lui-même représentatif de l'habitat préférentiel. Cet indicateur peut alors être intégré dans des modèles d'écosystèmes à grande échelle afin d'obtenir des prévisions spécifiques de la distribution ou de l'abondance des espèces. Par exemple, nos résultats indiquent que le volume des eaux océaniques habitables pour le thon albacore est susceptible de diminuer à l'avenir (Figure 1).

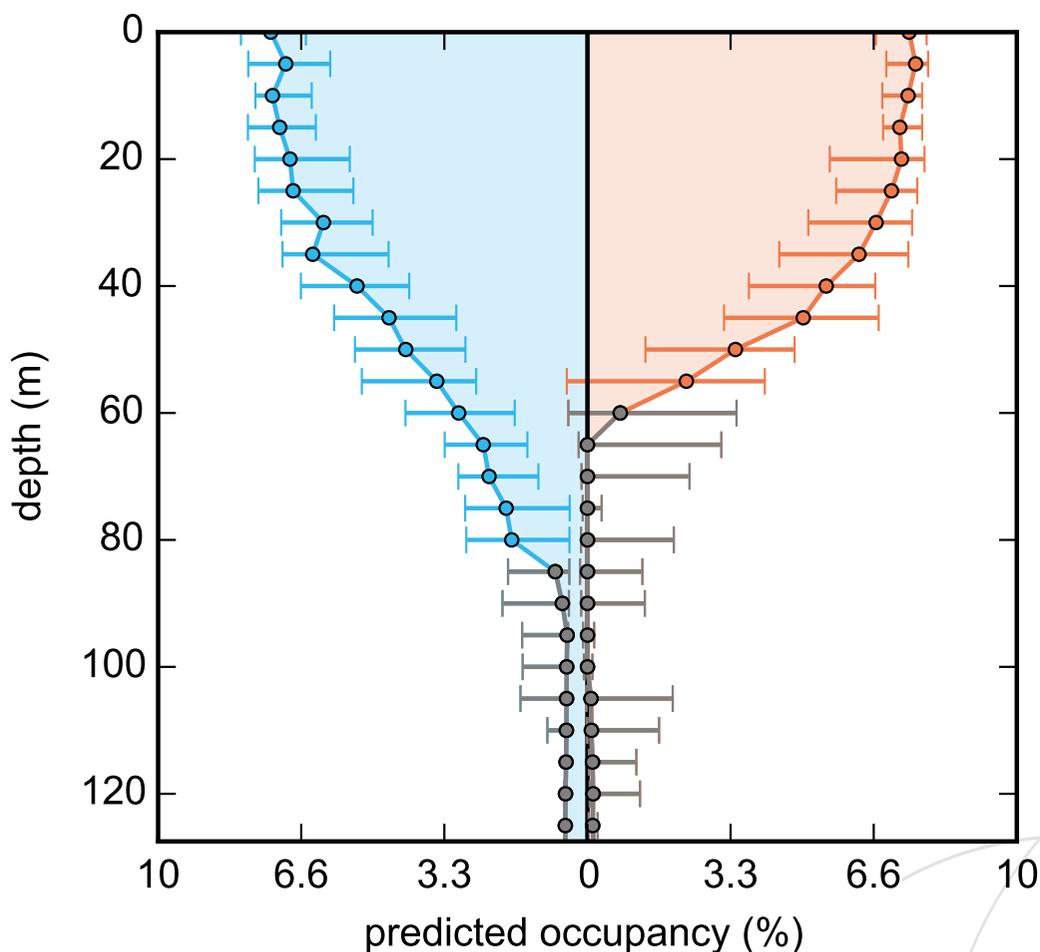
Accompagner les décideurs et les spécialistes de la conservation

En conclusion, bien que le changement climatique soit complexe et ses impacts très variés, les différentes variables que les parties prenantes ont à disposition pour étayer les politiques de conservation et les recommandations à l'intention des pêcheurs, sont hélas limitées. Il est nécessaire de trouver un moyen d'intégrer toute la complexité des prévisions

BIBLIOGRAPHIE

Del Raye, G., et Weng, K., 2015, Using Aerobic Scope to Model Interacting Effects of Ocean Acidification, Warming, and Deoxygenation on Marine Fish : Deep-Sea Research, v. 113, p. 280-290.

climatiques (y compris la température, la concentration en oxygène et en dioxyde de carbone) dans des prévisions sur les impacts des populations basées sur des indicateurs physiologiques. En proposant une feuille de route intégrant plusieurs variables climatiques dans les prévisions de changements de la capacité aérobie, et, par voie de conséquence sur la distribution et l'abondance des espèces telles que le thon albacore et le tilapia, l'équipe scientifique aidera à produire l'information nécessaire pour ceux qui en ont le plus besoin.



▲ Figure 1 : Prévisions relatives à l'habitat vertical du thon jaune (*Thunnus albacares*) au large des îles Galapagos dans des conditions de changement climatique actuelles (bleu) et simulées sur la fin du siècle (orange). Le modèle montre une compression marquée de l'habitat vertical, conduisant potentiellement à une augmentation de la capturabilité dans cet habitat, ce qui exigerait des adaptations spécifiques du mode de calcul de la taille des stocks à partir des données sur les prises provenant des pêcheries. Extrait de Deepsea Research II, Vol. 113, Del Raye, G., et Weng, K., 2015, Using Aerobic Scope to Model Interacting Effects of Ocean Acidification, Warming, and Deoxygenation on Marine Fish : p. 280-290) avec la permission d'Elsevier.



GEN DEL RAYE

PhD Candidate, University of Hawaii

Gen Del Raye prépare un doctorat à l'université d'Hawaï à Manoa. Il étudie les effets du changement climatique sur la physiologie des poissons. Il explore plus particulièrement la façon dont les perturbations concernant l'oxygène, la température et le dioxyde de carbone affectent le métabolisme, en mesurant le taux métabolique des poissons dans des environnements contrôlés et en concevant des modèles d'habitats basés sur des paramètres physiologiques.



KEVIN WENG

Assistant Professor, Virginia Institute of Marine Science, College of William & Mary

Kevin est halieute au Virginia Institute of Marine Science. Il s'intéresse à la façon dont les océans de la planète réagissent aux perturbations majeures de l'anthropocène – réduction considérable de la biomasse marine, couplée au réchauffement, à la stratification, la désoxygénation et l'acidification – et à la manière de gérer les ressources marines. La connectivité marine élevée, prédominante dans les premiers stades biologiques de nombreuses taxa, ne reflète pas l'écologie spatiale de nombreuses espèces pendant les phases adultes – les phases auxquelles les hommes sont susceptibles de les cibler. Pour fournir des gamètes, les organismes marins doivent avoir des populations adultes viables et nous devons comprendre leurs besoins en matière d'habitat et leurs échelles spatiales et temporelles.

QUEL AVENIR POUR LES MANCHOTS ROYAUX DE L'ARCHIPEL DE CROZET ?



Par Clara Péron, en postdoctorat, Université de Tasmanie

Prévoir l'impact des changements environnementaux à venir sur la biodiversité représente aujourd'hui un défi majeur pour les écologues. C'est particulièrement vrai dans les régions polaires où le changement climatique évolue plus vite et plus radicalement que partout ailleurs dans le monde. Dans un article initialement publié dans la revue « *Proceedings B of the Royal Society of London* » en 2012, Clara Péron et ses collègues ont étudié l'impact du réchauffement prévu de l'océan Antarctique sur une population de manchots royaux vivant sur l'archipel de Crozet, une localité subantarctique française. Elle a utilisé une base de données unique englobant les données de suivi Argos sur les trajets en mer des manchots collectées de 1992 à 2008 par Charles-André Bost du Centre National de La Recherche Scientifique (CNRS). Ce travail lui a permis de concevoir des modèles d'habitat et de prévoir l'effet du réchauffement de la planète sur le comportement de prospection alimentaire du manchot royal. Les résultats suggèrent que le réchauffement de l'océan Antarctique pourrait représenter un défi important pour ces prédateurs supérieurs marins dans le nord de leur répartition.

Au total 42 manchots ont été suivis en mer pendant la période d'incubation (janvier-février) et 21 pendant la période d'élevage des poussins (février-mars) de 1992 à 2008.

Cet ensemble de données a servi à caractériser et modéliser les zones d'alimentation des manchots royaux et à prévoir dans quelle mesure le réchauffement attendu de l'océan Antarctique

risque d'affecter ces zones au cours du 21^e siècle. À cet effet, des variables océanographiques déterminantes pour la répartition des aires d'alimentation, ont été identifiées pour modéliser les schémas spatiaux d'utilisation d'habitat et étudier l'accessibilité des manchots aux ressources marines. Les prévisions des températures de surface de la mer (TSM) issues de modèles climatiques globaux (GCM) forcés par les scénarios du GIEC ont été utilisées.

Caractérisation et modélisation de l'habitat d'alimentation des manchots royaux

Comme chez tous les oiseaux marins, le rôle de nourrissage du poussin par les parents est essentiel lors de la période de reproduction, et le succès de leur stratégie de recherche de nourriture dépend largement de la distance à parcourir entre leur colonie et les ressources alimentaires.

Les données de suivi Argos montrent que les manchots royaux de Crozet exploitent principalement les eaux pélagiques situées à 300 voir 500 km au sud de la colonie, une zone correspondant au front polaire où abondent leurs proies privilégiées, les poissons lanternes (myctophidés). Le front polaire correspond à la limite nord d'influence des eaux antarctiques, marquées en surface par l'isotherme de 4°-5 °C. Les données de températures de surface des océans sont les seules disponibles dans les modèles climatiques forcés par les scénarios du GIEC. Ce paramètre océanographique a donc été utilisé pour prédire la distribution de l'effort de prospection des manchots à l'avenir, avec l'aide des modèles d'habitat.

Déplacement vers le sud

Les modèles prévoient un déplacement vers le sud du front polaire au cours de l'été et des fortes variations inter-annuelles de sa position. Les manchots devraient nager plus loin vers le sud durant la période d'élevage des poussins et au cours des années plus chaudes pour suivre les déplacements saisonniers du front polaire. Une étude démographique réalisée sur l'archipel de Crozet a montré une diminution du succès reproducteur au cours des années plus chaudes. Cette diminution serait probablement due à une baisse de l'efficacité de la prospection alimentaire. Lors de précédents épisodes de chaleur (dipôle subtropical actif), les manchots royaux ont dû parcourir jusqu'à deux fois la distance nécessaire par rapport à des années plus favorables (Bost et al., 2015).

L'impact potentiel d'un océan Antarctique plus chaud sur les manchots

Suivant le scénario le plus pessimiste du GIEC testé dans cette étude (A2), les eaux de surface se réchaufferont au rythme de 0,184 °C par an autour de Crozet. Une conséquence directe de ce réchauffement serait le déplacement latitudinal du front polaire de 400 km environ au sud de Crozet d'ici 2100. Les manchots royaux de cet archipel devraient parcourir en moyenne 43,4 km de plus par décennie en direction du sud pour atteindre les zones d'alimentation intéressantes pendant la période d'élevage des poussins. Cela va bien au-delà de leur périmètre habituel de recherche de nourriture et aurait sans aucun doute de sévères conséquences sur la survie de la population de manchots royaux de l'archipel de Crozet.



Un manchot royal de l'archipel de Crozet équipé d'une balise Argos.

Évolution de la dynamique des populations de manchots

La distance minimale jusqu'aux zones d'alimentation est un facteur important qui peut altérer la dynamique des populations. De précédentes études indiquent que la survie des poussins est largement réduite après une absence des parents de plus de 20 jours lors de la période d'élevage. Cette période de jeûne correspond à la durée des trajets alimentaires lorsque le front polaire atteint son éloignement maximal (722 km), entraînant un échec de reproduction (Bost et al., 2015). Les modèles prédictifs de cette étude suggèrent que cette distance pourrait devenir fréquente à partir de 2050, ce qui pourrait entraîner des réductions chroniques du succès reproducteur moyen des manchots royaux ainsi que le déclin à long terme de leur population à Crozet. Ce

REMERCIEMENTS SPÉCIAUX À C.A. BOST

Leader dans l'étude de l'écologie alimentaire des prédateurs supérieurs marins, Charles-André Bost conduit des recherches depuis 25 ans dans l'océan Antarctique, notamment concernant l'impact de la variabilité climatique sur les réseaux trophiques marins sub-antarctiques. Il a également développé des approches basées sur l'utilisation des prédateurs marins comme plateformes autonomes pour l'étude des changements physiques de l'environnement, la surveillance de la disponibilité des ressources dans l'Antarctique, et la détermination des zones cruciales pour l'alimentation des oiseaux marins. Sa base de données Argos a été au centre de cette étude.

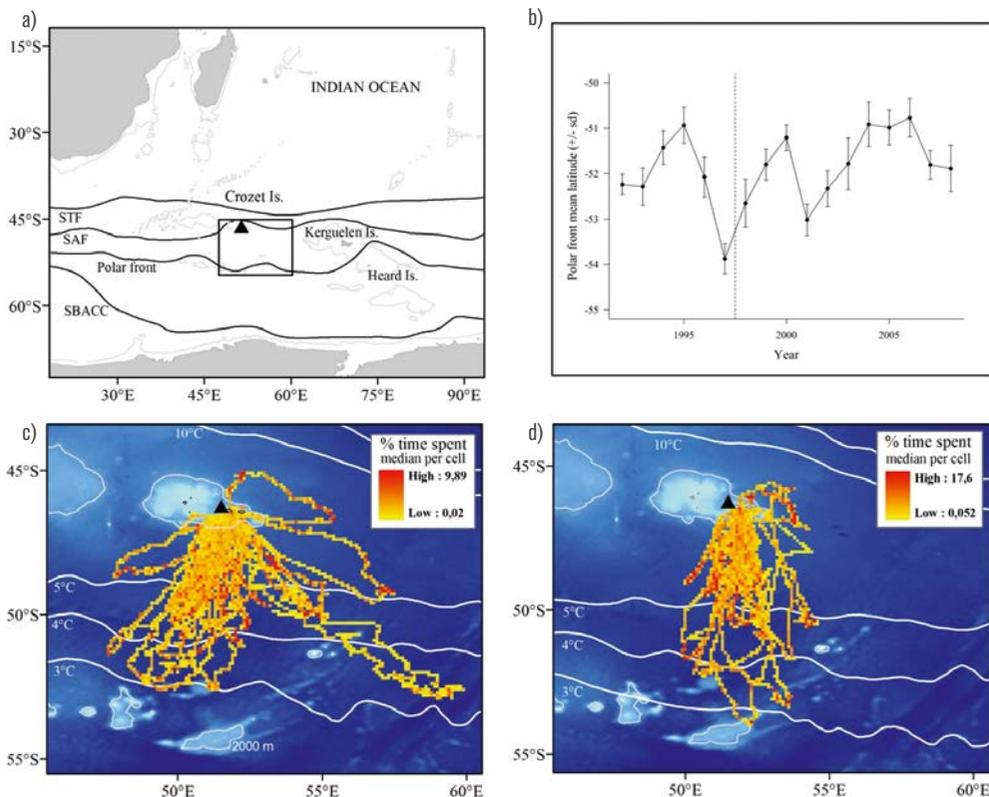
phénomène risque aussi d'affecter d'autres prédateurs marins dépendant de la localisation des fronts.



CLARA PÉRON

Clara Péron, biologiste spécialisée dans la faune marine, a étudié l'impact du changement climatique sur la distribution spatiale des oiseaux marins dans le cadre de son doctorat au Centre d'Études Biologiques de Chizé (CNRS UMR 7372). Elle a travaillé avec Henri Weimerskirch sur les oiseaux marins tels que les albatros et les pétrels, et avec Charles-André Bost sur les manchots royaux. Elle travaille actuellement en tant que postdoctorante à l'université de Tasmanie, en Australie. Ses centres d'intérêt sont les déplacements, les mouvements migratoires et les habitats privilégiés des espèces marines, ainsi que la compréhension de l'impact du changement climatique sur les populations marines.

Extrait de Proceedings of the Royal Society' of London B, Vol. 279, Clara Péron, Henri Weimerkirch et Charles André Bost, Poleward shift of king penguins' (*Aptenodytes patagonicus*) foraging range at the Crozet Islands, southern Indian Ocean, Pages 2515- 2523, 25 mai 2012, avec la permission de Rightslink.



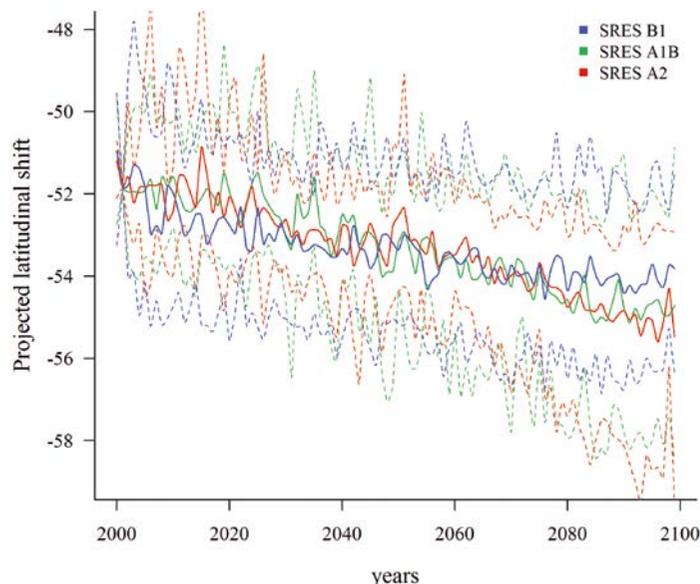
▲ Figure 1. (a) Carte de la zone d'étude et de l'aire de répartition des manchots (47–60° E, 45–54° S). La position annuelle moyenne des fronts (STF : front sub-tropical, SAF : front sub-Antarctique et SBACC : limite sud du courant circumpolaire antarctique) est illustrée d'après Moore et al. [36] et Park et al. [37]. (b) Séries temporelles de la position moyenne de l'isotherme 4 °C correspondant au front polaire. La position latitudinale moyenne (+s.d.) a été calculée pour février dans un domaine de longitude pour les manchots royaux entre 47 et 60° Est. (c, d) Observation de l'utilisation de l'habitat de manchots royaux suivis par satellite de 1998 à 2008 pendant la période d'incubation et d'élevage, respectivement. La bathymétrie et la position annuelle moyenne des isothermes (1999–2008) sont représentées en arrière-plan. Le triangle représente l'archipel de Crozet.

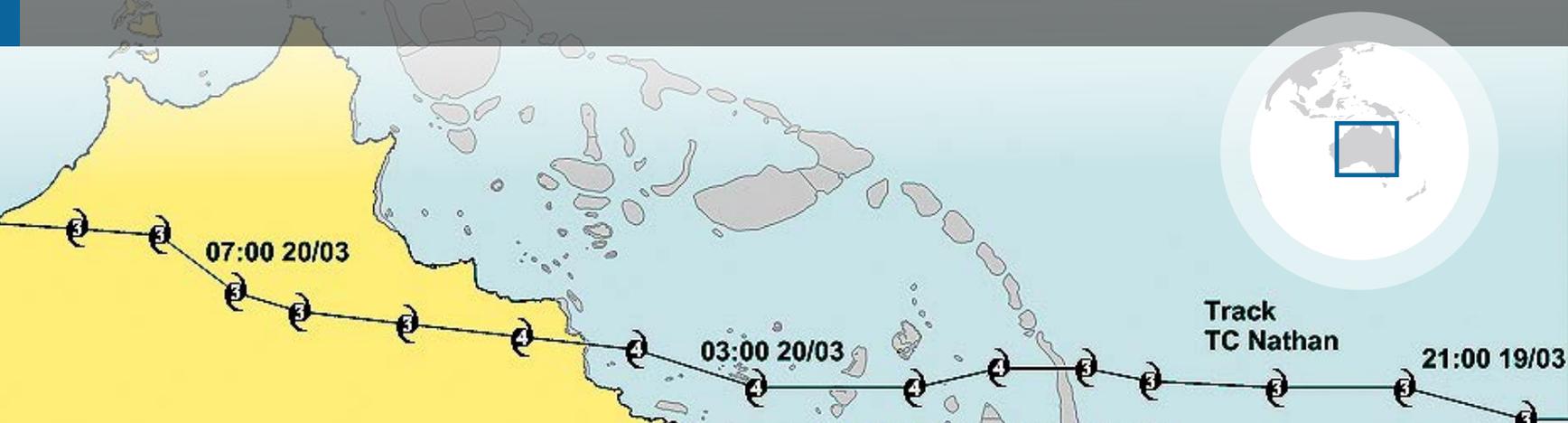
► Figure 2 : Prévisions concernant le changement de la position latitudinale moyenne de l'isotherme 4 °C (c'est-à-dire du front polaire) selon les scénarios B1, A1, B et A2. Ces futures tendances et le CI 90 % ont été calculées en janvier dans l'aire de répartition des manchots royaux à partir d'un ensemble de données basé sur plusieurs modèles. Ligne bleue, B1 ; ligne verte, A1B ; ligne rouge, A2.

BIBLIOGRAPHIE

Bost, C.A., Cotté, C., Terray, P., Barbraud, C., Delord, K., Bon, C., Gimenez, O., Handrich, Y., Naito, Y., Guinet C., & Weimerskirch, H. Large-scale climatic anomalies affect marine predator foraging behaviour and demography. *Nature Communications* 6 : 8220, DOI: 0.1038/ncomms9220. Moore, J. K., Abbott, M. R. & Richman, J. G. 1999 Location and dynamics of the Antarctic Polar Front from satellite sea surface temperature data. *J. Geophys. Res.* 104, 3059–3073. Park, Y. H., Gambèroni, L. & Charriaud, E. 1993 Frontal structures, water masses, and circulation in the Crozet Basin. *J. Geophys. Res. Oceans* 98, 1261–12385.

Future trends in polar front position





Par Daryl Metters, John Ryan and Grant Millar, Coastal Impacts Unit, Queensland Department of Science Information Technology and Innovation

Entre autres conséquences du changement climatique, l'intensité et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les cyclones tropicaux, devraient évoluer à l'avenir, selon les prévisions. L'intensité des cyclones tropicaux devrait s'accroître de 2 à 11 % d'ici l'année 2100, des prévisions particulièrement préoccupantes pour les communautés côtières du Queensland, en Australie (Knutson T.R. et al, 2010). Pour modéliser et prévoir les impacts des cyclones tropicaux les plus violents sur les communautés côtières, il convient de déterminer les paramètres physiques des cyclones types et leur influence connexe sur les niveaux de la mer et la hauteur des vagues à l'échelle locale. Des bouées miniatures déployées à l'arrivée d'une tempête pourraient s'avérer un outil utile à cet égard comme l'ont montré Daryl Metters, John Ryan et Grant Millar du Coastal Impacts Unit (CIU/DSITI) lors du cyclone tropical Nathan en 2015.

BOB, la bouée qui surveille les cyclônes

La Coastal Impacts Unit (CIU) du Queensland, en Australie, utilise des bouées ancrées « waveriders » pour surveiller et mesurer les hauteurs de vagues dans les conditions normales. Une de ces bouées ancrées peut enregistrer les effets d'un cyclone tropical passant à proximité. Lors du passage de cyclones tropicaux, la CIU déploie des instruments supplémentaires pour obtenir des informations sur les vagues : une version miniature d'une bouée ancrée waverider utilisée comme une bouée dérivante et surnommée BOB (Baby Ocean Buoy).

Alors que le cyclone Nathan se trouvait au large des côtes Est de l'extrême nord du Queensland, la CIU s'est hâtée d'organiser le déploiement d'une bouée de ce type. Le mardi 17 mars au soir, une BOB a été acheminée par avion de Brisbane jusqu'à Cairns en vue de son déploiement. Selon les prévisions du moment, le cyclone Nathan devait atteindre les côtes à environ 150 km au nord de Cairns.

La CIU a exploité les données sur le comportement de BOB déployées à l'intérieur de la Grande barrière de corail pour calculer qu'il valait mieux déployer ce dispositif au sud du site où le cyclone devait toucher la côte. La BOB a été larguée

par hélicoptère le mercredi soir 18 mars, à quelque 145 km au nord de Cairns.

De précieuses données sur les hauteurs de vagues collectées par Argos

Le système de suivi satellite Argos a été utilisé pour le suivi des mouvements de la BOB depuis son déploiement jusqu'à ce qu'elle s'échoue sur le rivage après le passage du cyclone Nathan. Elle a dérivé sur 90 km vers le nord avec les marées et courants dominants, enregistrant et transmettant des données pendant deux jours. De précieuses données sur les hauteurs de vagues et la circulation de l'eau ont été collectées par la BOB et transmises via le système Argos. Ces données ont été utilisées par le Bureau of Meteorology, et les autorités de la protection civile du Queensland.

Le cyclone a touché les côtes à environ 90 km au nord-nord/ouest de Cooktown à 7 heures du matin le 20 mars. La BOB, dans un rayon de 20 km du cyclone, a enregistré une hauteur de vague maximale de 9,6 mètres. La bouée ancrée de surveillance continue la plus proche est située à Cairns où la hauteur maximale de vague a été enregistrée à 2,93 mètres. La vitesse de dérive de la BOB a augmenté nettement,



Daryl Metters, John Ryan et Grant Millar (de gauche à droite) avec une Baby Ocean Buoy.

REFERENCES

Knutson T.R., McBride J.L., Chan J., Emanuel K., Holland G., Landsea C., Held I., Kossin J.P., Srivastava A.K., et Sugi M., 2010. Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience* 3, 157-163, doi : 10.1038/ngeo779

passant de 2 km/h à 10 km/h, lorsque le rayon des vents maximaux s'est approché de la partie intérieure de la Grande barrière de corail.

Meilleur aperçu des hauteurs de vagues

L'écart important des données de hauteur de vagues collectées par la BOB et par la bouée permanente de Cairns lors du cyclone Nathan souligne la nécessité d'obtenir des données en temps réel à proximité d'un cyclone afin de mieux renseigner les opérations marines et de gestion des catastrophes. Dans le cas du cyclone tropical Nathan, l'augmentation de l'activité des vagues a été localisée et située en dehors du réseau de bouées ancrées du DSITI.

Les données collectées par la BOB permettent de mieux comprendre la croissance des vagues induite par le cyclone dans la Grande barrière de corail (lagune), ainsi que l'interac-

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

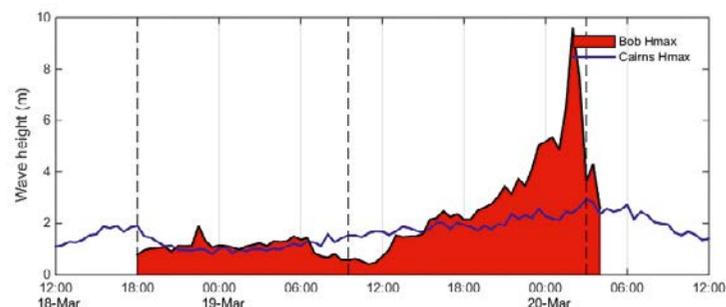
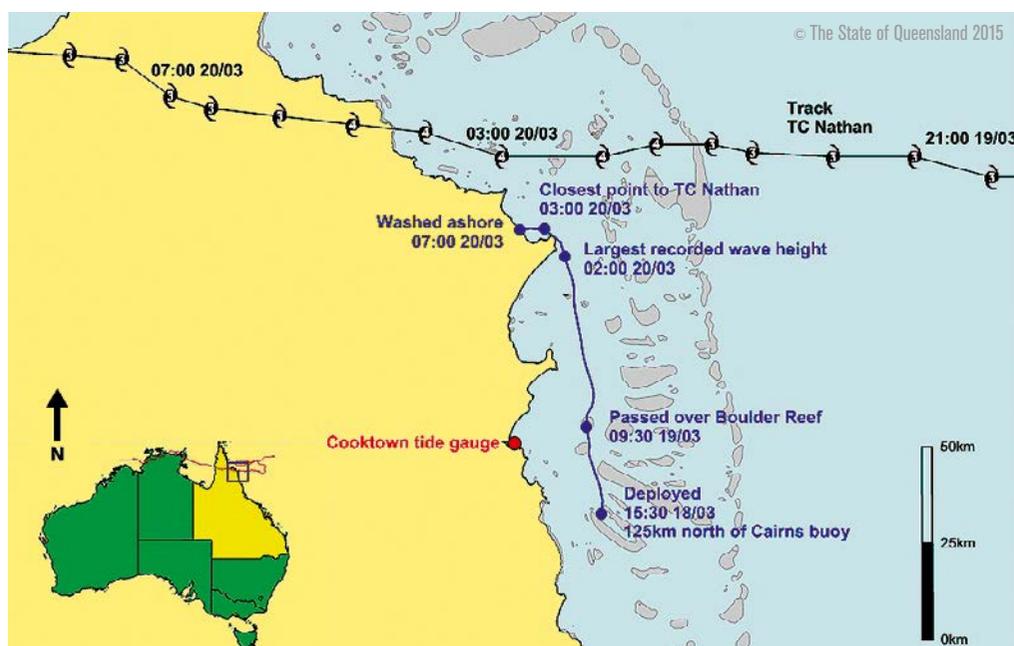
Pour plus de renseignements sur les données de surveillance des vagues et des grandes marées pour le cyclone tropical Nathan, vous pouvez consulter la Fiche d'information sur le cyclone tropical Nathan.

D'autres informations sur les réseaux de surveillance des vagues et des grandes marées du DSITI peuvent être consultées sur les sites web du gouvernement du Queensland :

www.qld.gov.au/tides et www.qld.gov.au/waves

© The State of Queensland 2015

tion des vagues avec les différents récifs. Ces informations permettent d'améliorer la gestion des situations d'urgence et la planification côtière.



▲ Figure 1 : tracés de la dérive de la BOB et du cyclone Nathan.

◀ Figure 2 : hauteur de vagues maximale pour la BOB et la bouée ancrée de surveillance des vagues.



◀ Après le passage du cyclone, la transmission des données est devenue intermittente. La BOB a été récupérée le 10 avril par Grant Millar de l'équipe technique de la CIU (Coastal Impacts Unit). La bouée a été retrouvée sur la plage à l'intérieur d'une petite cavité rocheuse, ce qui explique le caractère intermittent de la transmission des données et de localisation.



DARYL METTERS

Daryl Metters est scientifique principal à la CIU (Coastal Impacts Unit) au sein de la DSITI (Department of Science, Information Technology and Innovation) du gouvernement du Queensland. Il est diplômé en sciences marines de l'université de Flinders. Daryl Metters a travaillé au National Tidal Centre de l'Australian Bureau of Meteorology en qualité d'analyste des marées, et en tant que Responsable des informations spatiales (Tidal services) au Maritime Safety Queensland. Ses travaux portent sur la surveillance des niveaux de la mer en Australie et dans la région du Pacifique Sud, la gestion des données et les aspects opérationnels des réseaux de surveillance des vagues et marées au Queensland.



JOHN RYAN

John Ryan est scientifique à la CIU (Coastal Impacts Unit) au sein de la DSITI (Department of Science, Information Technology and Innovation) du gouvernement du Queensland. Il est diplômé en ingénierie mécanique de la Queensland University of Technology. John a travaillé dans différents domaines (forages d'exploration, fonderie de cuivre, systèmes de découpe des tuyaux métalliques, services internet sans fil) et à présent il gère les réseaux de surveillance des vagues et des grandes marées du Queensland.



GRANT MILLAR

Grant Millar est administrateur technique par intérim à la CIU (Coastal Impacts Unit) de la DSITI (Department of Science, Information Technology and Innovation) du gouvernement du Queensland. Il est diplômé en sciences environnementales de l'université de Griffith. Après avoir travaillé pour le gouvernement du Queensland pendant huit ans, il a créé sa propre entreprise d'installation d'instruments scientifiques, pour combler un vide en la matière. Après avoir géré des projets en Australie, en Indonésie et en Papouasie-Nouvelle Guinée, portant sur la prévision des inondations, la qualité de l'eau et les stations météorologiques, il a rejoint les services gouvernementaux pour aider l'équipe des administrateurs techniques à entretenir le réseau de surveillance des vagues et des grandes marées.

LES TORTUES LUTHS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Par Ellen Willis-Norton, département d'écologie et de biologie évolutionnaire de l'Université de Californie à Santa Cruz



© iStock photo

Les tortues luths du Pacifique, espèce déjà fortement en déclin en raison du développement d'activités humaines sur les plages de nidification, du braconnage des œufs et des pêches accidentelles, seraient potentiellement vulnérables au changement climatique. Dans le cadre d'une étude menée par Ellen Willis-Norton, les données de suivi Argos collectées sur 46 femelles nidifiantes entre 2004 et 2007 constituent une ressource majeure pour comprendre l'impact que le changement climatique pourrait avoir sur les populations de tortues luths du Pacifique oriental.

Les espèces migratoires et le changement climatique

L'impact du changement climatique sur les espèces migratoires est difficile à prévoir. À la différence des espèces résidentes, elles parcourent de longues distances et sont donc plus exposées à des régions susceptibles d'être impactées par le changement climatique (Robinson et al., 2009). Mais d'autre part, les espèces migratoires se sont acclimatées à divers habitats pour effectuer leurs déplacements saisonniers ou interannuels. Elles sont donc capables de s'adapter aux variations climatiques (Robinson et al., 2009).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a établi six familles de scénarios de changement climatique basées sur plusieurs hypothèses caractérisées par des niveaux variables d'émissions de gaz à effet de serre (GIEC, 2000). Les scénarios prévoient une augmentation moyenne des températures de surface de la mer de 1 à 6° d'ici 2100. Les changements de température auront certainement une incidence plus directe sur les ectothermes marins que sur les autres espèces car ils ont déjà atteint leur seuil de tolérance thermique maximal, à savoir l'étendue de leur habitat latitudinal en fonction de leur tolérance de température (Sunday et al., 2012).

Impact de la longue durée des générations

La tortue luth de mer (*Dermochelys coriacea*) est la plus grande des espèces actuelles de tortues et figure parmi les plus grands reptiles vivants (Paladino et al., 1990). Elle fait

partie des espèces à maturité tardive et à longue durée de vie (Hawkes et al., 2009 ; Avise et al., 1992). Les tortues luth utilisent leur taille importante, la régulation du débit sanguin, et les changements de vitesse de nage et d'activité pour réguler leur température interne (Paladino et al., 1990 ; Bostrom and Jones, 2007 ; Bostrom et al., 2010).

Argos fournit des données essentielles

Pour cette étude, les tortues luths de mer ont été équipées d'une balise (n=36) SRDL (Satellite Relay Data Logger) du Sea Mammal Research Unit (SMRU) ou d'une balise (n=20) Wildlife Computer SPOT (Smart Position Only) (Shillinger et al., 2008), de 2004 à 2007.

Les balises SRDL ont été programmées pour transmettre des données de position, de température, de plongée, et des données de diagnostic sur les émetteurs. Les balises SPOT ont été programmées pour collecter des données de position. Les émetteurs satellitaires ont été fixés sur les tortues en période de ponte au moyen d'un harnais (Eckert, 2002). Les données relevées par les balises sont transmises par signal radio au système satellite Argos.

Les estimations finales de position sont générées à intervalles de six heures en fonction du nombre moyen de données de localisation brutes par jour en utilisant un modèle d'état bayésien « switching state-space model » (SSSM), qui est appliqué aux données brutes de position Argos.

Le modèle SSSM intègre l'erreur de mesure dans les données télémétriques Argos pour améliorer les estimations de position (Jonsen et al., 2007 ; Shillinger et al., 2011 ; Bailey et al., 2012).

Les données de télédétection environnementale ont été obtenues pour les suivis de tortues luths et de CRW (Correlated Random Walk) à l'aide d'outils Xtractomatic (<http://coastwatch.pfel.noaa.gov/xtracto/>). Les ensembles de données incluent des séries temporelles des températures de surface de la mer (SST), la concentration de chlorophylle-a de surface (chl a), la hauteur du niveau de la mer (SSH), la variabilité

SSH (valeur quadratique moyenne, SSHRMS), le courant vertical induit par le pompage d'Ekman (wekm), l'indice FPI (frontal probability index) de températures de surface de la mer, la bathymétrie (bathy), et la rugosité (bathyRMS).

Afin de comparer les paramètres océanographiques avec les suivis de tortues luths et de CRW, un modèle binaire de présence/absence avec une fonction de lien binomiale négative a été utilisé. Des modèles mixtes additifs généralisés (generalized additive mixed models - GAMM) ont été élaborés pour analyser la corrélation statistique entre les huit paramètres océanographiques précités et la présence ou l'absence de tortues luths (Wood, 2006).

Le modèle complet intégrant les huit paramètres océanographiques à titre d'étude préliminaire des données satellitaires, est robuste. Les cinq variables principalement attribuées à la présence de tortues luths sont : TSM (températures de surface de la mer), chl a (niveau de chlorophylle), SSHRMS, bathyRMS, et wekm.

Pour cette étude, les paramètres TSM et chl ont été considérés comme les plus importants pour l'habitat des tortues luths. Par conséquent, les valeurs TSM et chl a pour le Pacifique oriental issues des résultats du modèle pour la période 2001-2010 ont été représentées graphiquement pour visualiser les conditions d'habitat préférées des tortues luths. Le modèle montre que les tortues luths préfèrent les températures de surface plus basses (< 25 °C) et des niveaux de chl a plus bas (< 1 mg/m³) que ceux accessibles dans des habitats potentiels. L'évolution des paramètres TSM et chl a en fonction du temps a également été représentée graphiquement en soustrayant les valeurs TSM et chl a de la période 2080-2100 des niveaux concernant la période 2001-2020.

Le modèle a comparé des habitats préférés des tortues luth aux niveaux de SST et chl a pour montrer les perturbations dans les habitats pélagiques des tortues luths jusqu'en 2100. Les projections des modèles montrent qu'il y aura une perte nette de l'habitat essentiel des tortues luths du Pacifique oriental : dans le Pacifique sud, l'habitat essentiel des tortues luths du Pacifique oriental devrait diminuer d'environ 15 % au

Article extrait de Deep Sea Research II, Vol 113, Ellen Willis-Norton, Elliott L. Hazen, Sabrina Fossette, George Shillinger, Ryan R. Rykaczewskif, David G. Foley, John P. Dunneg, Steven J. Bograd, Climate change impacts on leatherback turtle pelagic habitat in the Southeast Pacific, Pages 260-267, Copyright mars 2015, avec la permission d'Elsevier.

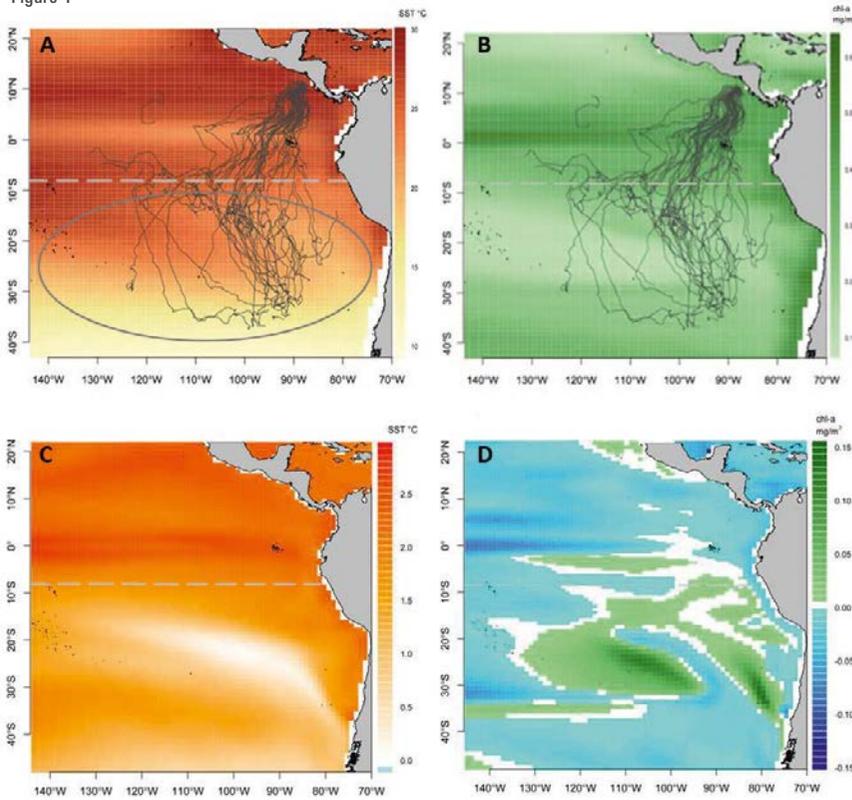
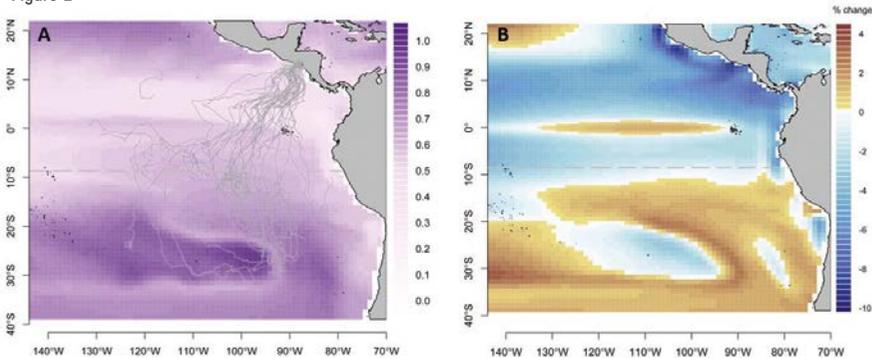


Figure 2



cours du siècle prochain, selon les projections des modèles et les scénarios du GIEC (voir figures 2 & 3).

Ceci pourrait obliger ces populations à se déplacer vers l'ouest ou le sud de leur habitat nourricier, vers des régions où l'on prévoit un gain d'habitat au cours du siècle prochain. Le seuil de tolérance au froid des tortues luths du Pacifique oriental est d'environ 37°S (14°C; Shillinger et al., 2011), mais avec des TSM de plus en plus élevées, ces populations pourraient s'étendre davantage vers le sud.

Les tortues luths pourraient élargir leur aire de répartition à de nouvelles régions, mais les gains d'habitat prévus ne devraient pas être assez importants pour compenser les pertes. En outre, l'adaptation comportementale et physiologique pourrait s'avérer difficile pour les tortues luths du Pacifique oriental à mesure que le changement climatique évolue.

Pour compenser les effets du changement climatique et réduire le déclin de cette population, il est indispensable de mettre en œuvre des stratégies de gestion flexible, dynamique et adaptée. Les programmes de conservation appliqués sur des plages de nidification depuis les années 50 doivent être renforcés, mais il est également nécessaire de mettre en œuvre des stratégies de conservation marine fondées sur une coopération intergouvernementale.

Cette analyse spatiale constitue un premier pas permettant aux gestionnaires de la conservation d'identifier les régions où il serait le plus judicieux d'établir des aires marines protégées en fonction de l'évolution des écosystèmes marins.

▲ Figure 1 : (a) TSM moyennes (°C) de 2001 à 2010 (le cercle gris indique le tourbillon du Pacifique sud). (b) niveau moyen de chlorophylle de 2001 à 2010. (c) évolution des TSM au siècle prochain, (c) évolution des TSM au siècle prochain (TSM moyennes de 2080 à 2100 soustraites des TSM moyennes entre 2001 et 2020), et (d) évolution des niveaux de chl a au siècle prochain (niveaux moyens de chl a de 2080 à 2100 soustraites des niveaux moyens de chl a de 2001 à 2020), extraits des résultats du modèle climatique GFDL. Les lignes gris foncé représentent les suivis des 46 tortues luths munies d'une balise. La ligne grise en pointillés sépare l'habitat migratoire (nord de 8°S) de l'habitat nourricier (sud de 8°S).

▲ Figure 2 : (a) Habitat actuel des tortues luths. Plus le coloris violet est foncé, plus la probabilité de la présence de tortues luths est importante (échelle de 0 à 1). Les lignes gris foncé représentent les 46 suivis. (b) Évolution de la probabilité qu'une zone constitue un habitat pour les tortues luths (en pourcentage). Le bleu foncé correspond à une diminution de l'habitat et le marron foncé à une augmentation. La ligne grise en pointillés sépare l'habitat migratoire (nord de 8°S) de l'habitat nourricier (sud de 8°S).



ELLEN WILLIS-NORTON

Ellen Willis-Norton est étudiante de troisième cycle à l'Université de Californie à Santa Cruz, Ecology and Evolutionary Biology Department. Elle est titulaire d'un diplôme en sciences biologiques et études environnementales obtenu en 2012 au Wellesley College. De 2012 à 2015, elle a travaillé en tant qu'analyste environnementale dans le cadre du programme d'assainissement de l'eau du San Francisco Estuary Institute. Ellen s'intéresse à la façon dont le changement climatique impactera la disponibilité des habitats adaptés aux prédateurs supérieurs et les pêcheries de la côte ouest. Ses travaux de recherche portent sur le développement de modèles d'enveloppe climatique pour prévoir les mutations, diminutions et extensions des habitats.

REFERENCES

- J.C. Avise, B.W. Bowen, T. Lamb, A.B. Meylan, E. Bermingham, Mitochondrial DNA evolution at a turtle's pace: evidence for low genetic variability and reduced microevolutionary rate in the Testudines, *Mol. Biol. Evol.*, 9 (1992), pp. 457–473.
- H Bailey, S Fossette, S.J. Bograd, G.L. Shillinger, A.M. Swithenbank, et al., Movement patterns for a critically endangered species, the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), linked to foraging success and population status, *PLoS ONE*, 7 (2012), p. e36401.
- B.L. Bostrom, D.R. Jones, Exercise warms adult leatherback turtles, *Comp. Biochem. Phys. A*, 147 (2007), pp. 323–331.
- B.L. Bostrom, T.T. Jones, M. Hastings, D.R. Jones, Behaviour and physiology: the thermal strategy of leatherback turtles, *PLoS ONE*, 5 (2010), p. e13925 <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0013925>.
- S.A. Eckert, Swim speed and movement patterns of gravid leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) at St. Croix, US Virgin Islands, *J. Exp. Evol.*, 205 (2002), pp. 3689–3697.
- L.A. Hawkes, A.C. Broderick, M.H. Godfrey, B.J. Godley, Climate change and marine turtles, *Endanger. Species Res.*, 7 (2009), pp. 137–154.
- I.D. Jonsen, R.A. Myers, M.C. James, Identifying leatherback turtle foraging behavior from satellite-telemetry using a switching state-space model, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 337 (2007), pp. 255–264.
- F.V. Paladino, M.P. O'Connor, J.R. Spotila, Metabolism of leatherback turtles, gigantothermy, and thermoregulation of dinosaurs, *Nature*, 344 (1990), pp. 858–860.
- R.A. Robinson, H.Q.P. Crick, J.A. Learmonth, I.M.D. Maclean, et al., Travelling through a warming world: climate change and migratory species, *Endanger. Species Res.*, 7 (2009), pp. 87–99.
- G.L. Shillinger, D.M. Palacios, H. Bailey, S.J. Bograd, A.M. Swithenbank, et al., Persistent leatherback turtle migrations present opportunities for conservation, *PLoS Biol.*, 6 (2008), p. e171.
- G.L. Shillinger, A.M. Swithenbank, H. Bailey, S.J. Bograd, et al., Vertical and horizontal habitat preferences of post-nesting leatherback turtles in the South Pacific Ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 422 (2011), pp. 275–289.
- J.M. Sunday, A.E. Bates, N.K. Dulvy, Thermal tolerance and the global redistribution of animals, *Nat. Clim. Change*, 2 (2012), pp. 686–690.
- S.N. Wood, *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton (2006).

PROGRAMME INTERNATIONAL ARGO : UNE RÉVOLUTION DANS LA RECHERCHE SUR LE CLIMAT



Par Howard Freeland, directeur du Programme Argo, Mathieu Belbeoch, coordinateur du Programme Argo

La technologie des flotteurs Argo est reconnue par la communauté des climatologues comme une avancée majeure dans les systèmes d'observation du climat, car elle livre des données capitales sur l'océan, jusqu'à 2000 mètres de profondeur. Mais au cours de ces 15 dernières années, que nous ont réellement appris ces robots océanographiques à propos du climat de la planète et de son avenir ? Howard Freeland et Mathieu Belbeoch se penchent sur cette question...

L'océan joue un rôle central dans la régulation du climat de la Terre et l'observer est fondamental pour prévenir l'avenir du climat planétaire. Malheureusement effectuer des observations continues des océans reste un défi très difficile pour les océanographes, notamment sous la surface de la mer. Le programme Argo est un réseau de plus de 3700 flotteurs profilants autonomes, programmés pour collecter des mesures de température, de pression et de salinité, pendant leurs plongées jusqu'à 2000 mètres de profondeur. Les premiers flotteurs ont été lancés en 1999 et la couverture globale totale a été obtenue dès 2007, grâce au déploiement de 3000 flotteurs répartis uniformément sur tous les océans de la planète. Le programme Argo a pour but de fournir en temps réel des mesures in situ dans tout l'océan. Ce réseau mondial d'observation constitue le complément indispensable aux observations satellitaires pour les systèmes opérationnels de prévision océanique.

Argos et Argo, partenaires historiques

Aujourd'hui, le système Argos assure les services de communications de 60 % des flotteurs profilants actifs en garantissant aussi la transmission de données à l'avenir ainsi que la pérennité du programme au long terme. Avec 90 % des données disponibles dans les 24 heures suivant la collecte, le programme Argo apporte une aide précieuse aux études sur le climat, aux modèles climatiques couplés océan/atmosphère, ainsi qu'à l'analyse des océans et aux systèmes de prévisions saisonnières.

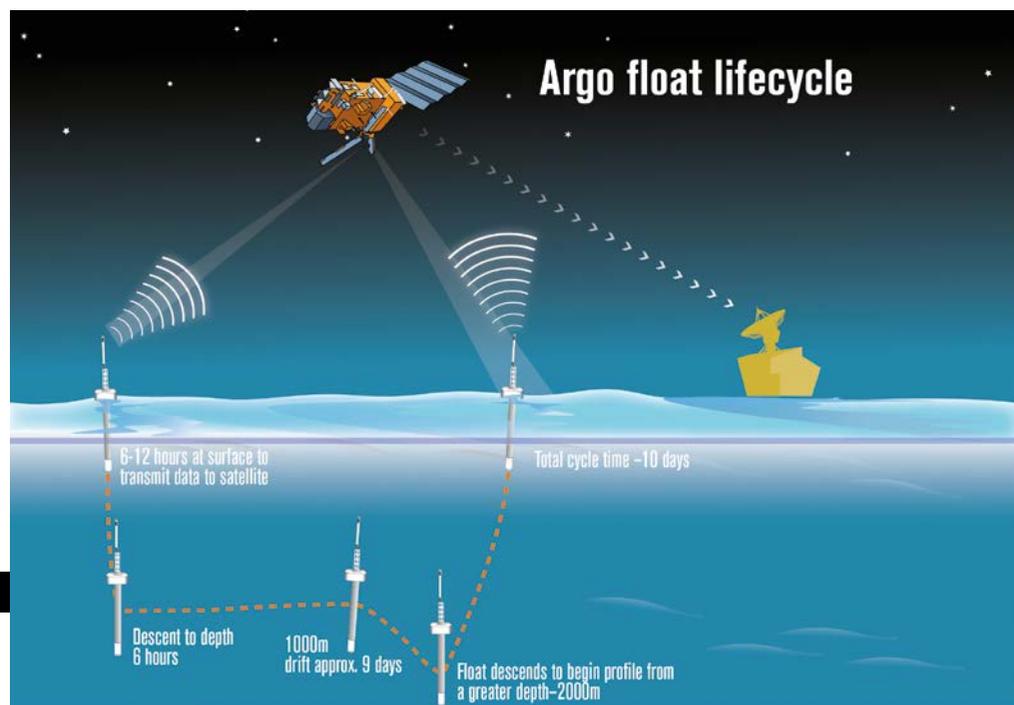
Cycle de vie des flotteurs Argo

Les flotteurs profilants Argo sont programmés pour collecter des mesures de température, de pression et de salinité des océans pendant les plongées jusqu'à 2000 mètres de profondeur.

Bien que Argo joue un rôle significatif dans le « Global Ocean Observing System » (GOOS) les études sur le climat ont à leur disposition une base de données plutôt récente (moins de 30 années d'observations de haute qualité). Pour combler ces lacunes, il est impératif de poursuivre les observations des océans. Il y a un certain nombre de domaines où les évolutions technologiques assureront la fourniture par le programme Argo d'un ensemble de données de grande qualité pour les futures générations.

Sur le devant de la scène dans l'étude du climat

1/Observations sous la glace de mer. Grâce à de nouvelles technologies, les flotteurs profilants Argo peuvent effectuer des mesures sous la banquise des régions polaires. Les nouveaux flotteurs « intelligents » identifient la présence de glace de mer et ne tentent pas de remonter à la surface ; ils continuent la mesure des profils de la colonne d'eau en transmettant toutes leurs données pendant l'été, lorsque les glaces de mer ont fondu. Cette évolution



technologique permet donc de tenir sous contrôle des régions très importantes dans les études du réchauffement climatique, et qui sont restées pour très longtemps très peu explorées. L'un des principaux objectifs à court terme du Programme Argo est de parvenir à une couverture intégrale des hautes latitudes ainsi que des régions polaires.

2/Observations de la biogéochimie des océans. Aujourd'hui environ 300 flotteurs Argo peuvent mesurer des variables biogéochimiques de substances dissoutes dans l'océan telles que l'oxygène, le nitrate, la chlorophylle et le pH. Ces mesures permettent d'apporter une importante contribution aux études du cycle biogéochimique du carbone, l'appauvrissement de l'oxygène et l'acidification de l'océan (Johnson et al., 2009), qui jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat.

3/Mesures en eaux profondes. À l'avenir, les flotteurs Argo pourront collecter des mesures en profondeur dans l'océan (4 000 à 6 000 m). Cette nouvelle génération de flotteurs répond au besoin de suivi des masses d'eau profondes qui jouent un rôle clé dans l'étude du changement climatique. Des prototypes de ces flotteurs sont en cours d'essai en Europe, aux États-Unis et au Japon.

4/Expansions régionales. Suite aux recommandations émises lors de la conférence OceanObs'09, il est prévu de doubler la densité des flotteurs Argo déployés dans les régions des courants de bord Ouest, la bande équatoriale et les mers marginales.

Assurer l'avenir du programme Argo

Le Programme Argo doit d'abord assurer la durabilité et la sécurité de son réseau de base de 3 000 unités, avant de passer progressivement à un objectif global et multidisciplinaire. Malheureusement les aides gouvernementales au Programme Argo ne sont pas très consistantes. De plus, certains acteurs majeurs du Programme Argo voient leur contribution diminuer à cause de réductions budgétaires ou simplement en raison de l'inflation. Même si près de 4 000 flotteurs fonctionnent aujourd'hui, on doit continuer à alimenter les déploiements pour ne pas assister à une lente dégradation du réseau.

Sur cette base nous recherchons des partenariats avec la société civile et l'industrie susceptibles de nous apporter plus de moyens logistiques, avec un coût inférieur à celui d'un bateau océanographique, pour pouvoir déployer 1 000 flotteurs par an, et assurer les observations partout dans les océans. Le déploiement de flotteurs par tous les skippers de la Barcelona World Race 2014-2015 est un parfait exemple des avantages que peut nous apporter la coopération internationale.

Nous espérons que la dynamique créée par la COP21 amènera un soutien accru à Argo, et à toutes les autres composantes du GOOS.

Quoi qu'il en soit, Argo continuera de prendre le pouls de l'océan pendant longtemps et sa meilleure contribution à l'étude du changement climatique est devant nous, quand au moins 15 ans de données de haute qualité auront été accumulés.

POUR EN SAVOIR PLUS :

Cheng, L. et al. Distinctive ocean interior changes during the recent warming slowdown. *Sci. Rep.* 5, 14346; doi: 10.1038/srep14346 (2015).

Durack, P., Gleckler, P., Landerer, F., & Taylor, K. Quantifying underestimates of long-term upper ocean warming. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/NCLIMATE2389 (2014).

Johnson, K. et al. Observing biogeochemical cycles at global scales with profiling floats and gliders: prospects for a global array. *Oceanography*, 22, 216-225 (2009).

Ren, L. & Riser, S. Seasonal salt budget in the northeast Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 114, doi:10.1029/2009JC005307 (2009).

Ren, L. & Riser, S. Observations of decadal-scale salinity changes in the thermocline of the North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research II*, 57, 1161-1170 (2010).

Roemmich, D, Gould, W.J., & Gilson, J. 135 years of global ocean warming between the Challenger expedition and the Argo Programme. *Nature Climate Change*, 2, 425-428 (2012).

Roemmich, D. et al. Unabated Planetary Warming and its Anatomy since 2006. *Nature Climate Change*, 5, 240-245 (2015).



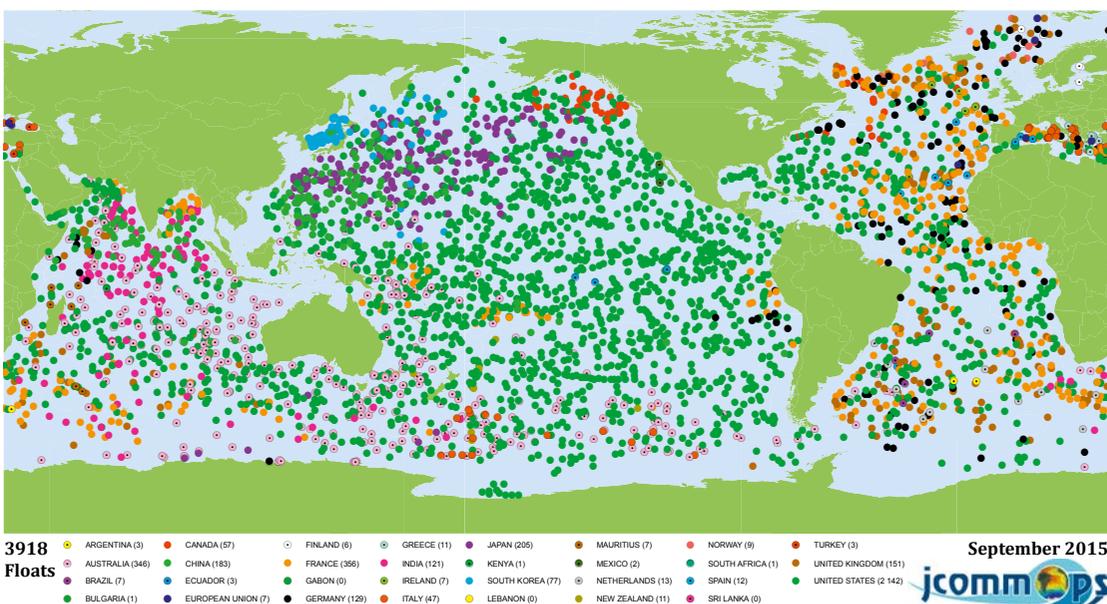
HOWARD FREELAND, DIRECTEUR DU PROGRAMME ARGO

Howard Freeland est scientifique émérite à l'Institute of Ocean Sciences à Sidney, Colombie britannique, Canada. Depuis qu'il est à la retraite, il intervient à titre bénévole en qualité de directeur du Programme Argo à temps partiel. En tant qu'ancien co-président d'Argo, il est impliqué dans le Programme Argo depuis sa création. Howard Freeland est diplômé de l'université de l'Essex en Angleterre et a un doctorat d'océanographie de l'université de Dalhousie (Halifax, Nova Scotia).



MATHIEU BELBECH, COORDINATEUR DU PROGRAMME ARGO

Mathieu Belbeoch est le coordinateur technique du Programme international Argo depuis 2001 et le responsable du Centre de soutien aux programmes d'observation in situ (JCOMMOPS) de la Commission technique mixte COI-OMM d'océanographie et de météorologie maritime (JCOMM). Ingénieur mathématicien de formation, avec une spécialisation de modélisation numérique en océanographie, il a eu une brève expérience de chef de projets de développement sur le web, avant de s'impliquer dans le soutien au développement du programme révolutionnaire Argo d'observation des océans. En bref, il développe le soutien aux principaux systèmes d'observation in situ de l'océan dans le cadre du JCOMMOPS. Hormis son expérience concernant Argo, les réseaux in situ à l'échelle globale, les questions internationales /intergouvernementales et les groupes de soutien associés de la JCOMM, il développe également un système innovant de surveillance en temps réel et la gestion de métadonnées pour l'évaluation des performances de ces réseaux. Grâce à son action, le JCOMMOPS est passé d'un état embryonnaire au statut de Centre opérationnel confirmé avec du personnel et des moyens propres.



▲ État du réseau Argo en septembre 2015. Un total de 613 flotteurs ont été lancés cette année, et 159 lancements sont prévus d'ici la fin 2015.

ARGOS : UNE TECHNOLOGIE PERFORMANTE AU SERVICE DE LA RECHERCHE CLIMATIQUE



© JUNE/SAT

Par Bill Woodward, Business Development Manager of Environmental Monitoring, CLS America

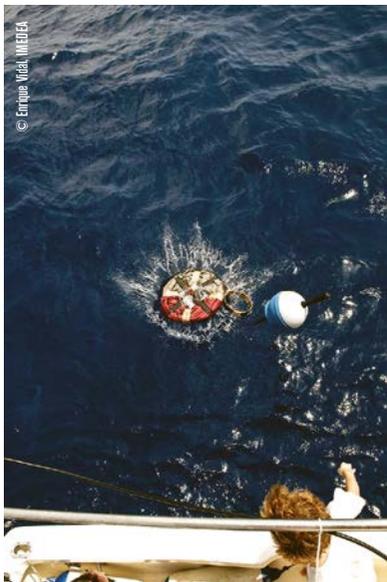
L'arrivée d'Argos à la fin des années 70 coïncidait parfaitement avec un changement d'orientation intéressant dans le domaine de la recherche océanographique et météorologique. Les études monodisciplinaires étaient peu à peu délaissées au profit d'une approche multidisciplinaire visant à décrire les processus physiques impliquant à la fois les océans et l'atmosphère, et à comprendre leurs mécanismes sous-jacents. Parmi les objectifs liés à la recherche figuraient l'amélioration des prévisions météorologiques à moyen terme et une meilleure compréhension des bases physiques du climat.

Les systèmes d'observation constituaient un composant essentiel de ces programmes de recherche, comme en a témoigné la Première expérience mondiale GARP (First GARP Global Experiment - FGGE), mise en œuvre en 1978, dans le cadre du programme de recherches sur l'atmosphère globale (GARP) mené de concert par l'OMM et le CIUS. Le système d'observation FGGE comprenait, par exemple, le programme de bouées (dérivantes) pour l'hémisphère sud et le programme tropical de ballons à niveau constant (Tropical Constant Level Balloon System - TCLBS). Ces systèmes d'observation fournissaient respectivement des mesures sur la température de surface de la mer, la pression atmosphérique et les vents en altitude. Les capacités d'Argos en matière de

collecte de données en temps quasi-réel et de géolocalisation, faisaient d'Argos le système idéal pour recueillir les données à partir des centaines de bouées et ballons déployés dans le cadre de la FGGE. Argos a servi ces programmes avec succès pendant la période d'observation FGGE d'une année, marquant le début d'une coopération de plusieurs décennies avec la communauté spécialisée en météorologie et en océanographie qui bénéficie de ses services opérationnels de collecte et de localisation de données par satellite.

La première conférence mondiale sur le climat (1979) a été un tremplin pour la transition du projet GARP vers le programme mondial de recherche sur le climat (PMRC). Depuis le début,

le PMRC a remarquablement contribué aux avancées de l'étude du climat et à la compréhension des interactions entre l'océan et l'atmosphère. Cette contribution s'est notamment traduite par le programme d'étude des océans tropicaux et de l'atmosphère globale (Tropical Ocean Global Atmosphere - TOGA) et par l'expérience sur la circulation océanique mondiale (World Ocean Circulation Experiment - WOCE). Poussées par ces programmes mondiaux d'étude du climat à grande échelle, les technologies d'observation in-situ sont devenues de plus en plus performantes et sophistiquées. Argos a suivi le rythme dans les années 80 et 90 de l'évolution des capacités de mesure et des exigences en matière de données, et a continué à fournir des services opérationnels



© Enrique Viquez, NOAA



© Merit-Log



© NOAA



© Pierre-Marie Poullin

fiables de collecte et de localisation de données pendant cette période pour presque tous les systèmes d'observation in-situ du PMRC : systèmes XBT à bord de navires, bouées dérivantes, bouées ancrées (ATLAS-TAO), stations fournissant de longues séries chronologiques, bouées de glace en Arctique et en Antarctique.

Puis au début des années 2000, Argos a participé aux services de la Commission technique mixte d'océanographie et de météorologie de l'OMM (JCOMM) afin de renforcer la base des services et des contributions Argos aux communautés scientifiques et opérationnelles. Aujourd'hui, 37 ans après le début de l'expérience FGGE, Argos est toujours un partenaire majeur de la communauté des experts du climat océanique. Le système Argos sert à la fois le programme international Argo et le programme mondial de bouées dérivantes dans le cadre de services de communications et de traitement de données GTS pour 60 % des 3 881 flotteurs profilants Argo actuellement déployés et 72 % des 1 468 bouées dérivantes GDP actives.

Outre les études physiques du climat, l'évaluation des effets du changement climatique sur la faune est devenue au cours des dix dernières années une priorité croissante au sein de la communauté scientifique spécialisée dans la faune sauvage. Le suivi des animaux avec le système Argos permet aux scientifiques de mieux comprendre la réaction et l'adaptation des populations sauvages à la variabilité du climat.

Depuis le début des années 80, plus de 100 000 animaux ont été suivis au moyen du système Argos. Les premiers émetteurs Argos de suivi de la faune sauvage étant relativement encombrants, les biologistes étaient limités au suivi des éléphants, des ours polaires et des caribous. Au fil des années, la taille des émetteurs s'est considérablement réduite, et leur performance s'est améliorée. Aujourd'hui, l'émetteur le plus petit pèse à peine 2 à 2,5 grammes.

Grâce à ces émetteurs Argos plus sophistiqués, il devient possible de suivre un plus grand nombre d'espèces marines, telles que les poissons, les anguilles, les requins, les méduses, et une plus grande diversité d'oiseaux migrateurs plus légers. Près de 60 % des espèces migratoires identifiées par la Convention sur les espèces migratrices ont été suivies grâce au système Argos.

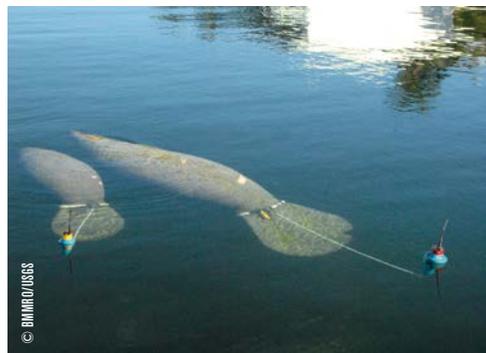
Depuis plusieurs décennies, Argos fournit les données scientifiques indispensables pour comprendre les comportements des animaux. Ces données constituent un élément fondamental des modèles de comportement animal élaborés pour comprendre l'impact du changement climatique sur la faune sauvage.

Opérationnel depuis près de 40 ans, le système Argos intègre une technologie robuste au service de la science, adaptée à l'utilisateur, performante, et demeure un exemple exceptionnel en matière de coopération intergouvernementale durable dans le domaine du climat et de l'environnement.

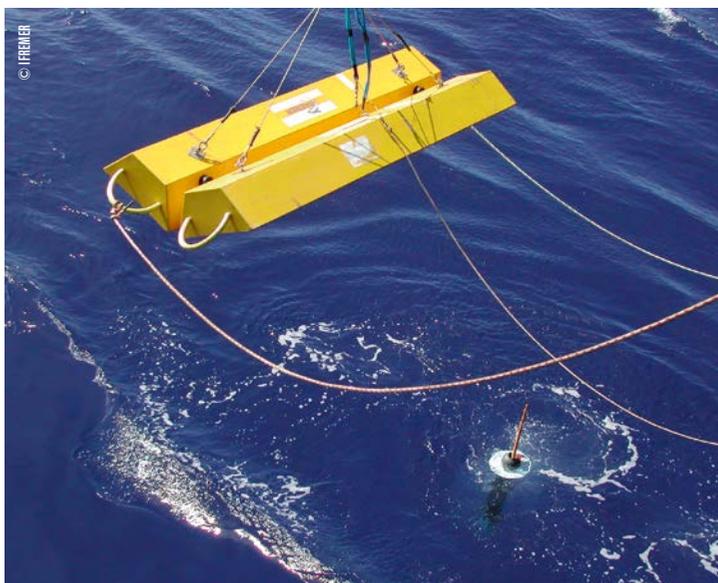


BILL WOODWARD

Bill a rejoint Service Argos Inc. en janvier 1999 en tant que scientifique principal et il a été Président et Directeur Général de 2000 à 2014. Bill occupe aujourd'hui la fonction de responsable commerciale surveillance environnementale à CLS America. Avant de rejoindre Argos, il a travaillé pendant 28 ans à la NOAA. Titulaire d'un diplôme de premier et second cycle en génie électrique et en génie océanographique, il a eu pour missions au sein de la NOAA de développer et tester des instruments et des technologies océanographiques avancés, et de gérer plusieurs programmes d'observation océanographique et météorologique in-situ à bord des navires. Avant cette période, Bill a travaillé au sein du National Oceanographic Instrumentation Center du bureau océanographique de la Marine américaine.



Argos au service de l'étude du climat depuis près de 40 ans



VOS CONTRIBUTIONS SONT LES BIENVENUES !

Nous savons que vos travaux sont intéressants.
Publiez-les !

Email : mchildress@cls.fr



CLS

COLLECTE LOCALISATION SATELLITES

SIÈGE SOCIAL : CLS
8-10, rue Hermès, Parc technologique du Canal
31520 Ramonville Saint-Agne, France
Tél. +33 (0)5 61 39 47 20
Fax +33 (0)5 61 39 47 97
E-mail : info@cls.fr
www.cls.fr

AMÉRIQUE DU NORD : CLS AMERICA
4300 Forbes Boulevard, Suite 110
Lanham, MD 20706, USA
Tél. +1 301 925 4411
Fax +1 301 925 8995
E-mail : userservices@clsamerica.com
www.clsamerica.com

PÉROU : CLS PERU
Jr Trinidad Moran 639
Linceo Lima, Pérou
Tél. +51 1 440 2717 Fax. +51 1 421 2433
E-mail : gsirech@clsperu.com.pe

CHILI : CUNLOGAN S.A.
Almirante Señoret 70 of 74
Valparaíso, Chile
Tél. +56 32 225 28 43
Fax +56 32 225 7294
E-mail : cbull@cunlogan.cl

BRÉSIL : PROOCEANO
Av. Rio Branco, n° 311 - sala 1205,
Centro - Rio de Janeiro - RJ,
CEP : 20040 - 009 - Brazil
Tél. +55 21 2532.5666
E-mail : contato@prooceano.com.br
Web : www.prooceano.com.br

ASIE DU SUD-EST : PT CLS INDONESIA
K-Link Tower, Fl. 25 Suite A
Jl. Gatot Subroto, Kav 59 A
Jakarta Selatan, 12950, Indonesia
Tél. +62 21 29 02 69 55
Fax +62 21 29 02 69 45
E-mail : sales@clsargos.co.id

JAPON : CUBIC-I LTD.
Bluebell Bldg. 7F
2-15-9 Nishi-Gotanda
Shimogawa-ku
Tokyo 141-0031, Japan
Tél. +81 (0)3 3779 5506
Fax +81 (0)3 3779 5783
E-mail : argos@cubic-i.co.jp

CHINE : CLS CHINA
Room 320, 29th Floor, Bldg A, 3A Shilibao,
Chaoyang District, Beijing, China
Tél. +86 1 304 103 8836
E-mail : xiaolei@vip.126.com

VIETNAM : CLS VIETNAM
35 - 37, Trang Thi - Office # 102
Hoan Kiem - Hanoi - Vietnam
Tél. +84 4 39 34 87 39
E-mail : ngoclan74@gmail.com

CORÉE : KL TRADING CO.
Room No. 328, Obelisk Bldg. 492-4
Daeshimi-5 Dong, Dongdaemun-Gu
Seoul, South Korea
Tél. +62 21 29 02 69 55
Fax +82 2 2215 7136
E-mail : klseckim@kornet.net

**AUSTRALIE, NOUVELLE ZELANDE,
SUD DU PACIFIQUE :**
Satellite Information Technology Pty Ltd
Suite 207
122 Toorak Road
South Yarra, PO Box 42, Victoria 3141,
Australia
Mobile +61 418 368 917
E-mail : guan@clsargos.com.au

RUSSIE : ES-PAS
15-73 Leningradskoe Chaussée
125171 MoscowRussia
Tél. +7 495 150 0332
Fax +7 495 150 0332
E-mail : a.salman@es-pas.com