HAL
open science

PROTEKER phase 1: l'installation. Un observatoire sous-marin des effets du changement global sur les communautés benthiques côtières de l'Archipel des Kerguelen

Jean-Pierre Feral, Thomas Saucède, Nadia Améziane

To cite this version:

Jean-Pierre Feral, Thomas Saucède, Nadia Améziane. PROTEKER phase 1: l'installation. Un observatoire sous-marin des effets du changement global sur les communautés benthiques côtières de l'Archipel des Kerguelen. 2016, pp. 28-35. 10.13140/RG.2.2.32380.13448 . hal-01448867

HAL Id: hal-01448867

https://hal.science/hal-01448867v1

Submitted on 29 Jan 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROTEKER PHASE I : L'INSTALLATION

Un observatoire sous-marin des effets du changement global sur les communautés benthiques côtières de l'Archipel des Kerguelen.

Jean-Pierre Féral[1] • Thomas Saucède[2] • Nadia Améziane[3]

Dans le contexte actuel de changement climatique, les variations du niveau de la mer et de la biodiversité marine auront une incidence sur les écosystèmes marins des îles subantarctiques, en particulier dans les eaux côtières. Des sites explorés au cours des programmes marins passés autour des Kerguelen ont été revisités lors de 3 campagnes d'été de La Curieuse. 18 sites ont été explorés en plongée, à l'aide d'un chalut à perche et d'un ROV. 8 d'entre eux ont été choisis et équipés de capteurs et de placettes de colonisation pour suivre les paramètres physiques de l'environnement et la dynamique de peuplement. Certaines espèces, dont la structure génétique est connue, ont été sélectionnées pour un suivi génétique et la détermination de zones sensibles. L'ensemble apportera aussi les bases scientifiques à la détermination des zones côtières à protéger et à gérer. PROTEKER fait partie d'un plus vaste réseau d'observation à l'échelle de l'océan Austral : il a rejoint la Zone Atelier Antarctique et subantarctique de l'Institut écologie et environnement du CNRS (INEE) et les groupes d'action internationaux ANTOS [Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System] et ISSA [Integrated Science for the Sub-Antarctic] du SCAR.

In the current context of climate change, sea level variations and the alteration of marine biodiversity are expected to impact marine ecosystems of the sub-Antarctic Islands and coastal areas in particular. Coastal marine areas of the Kerguelen Islands investigated during previous oceanographic programs were revisited during three scientific summer campaigns of the trawler La Curieuse. Eighteen sites were explored by scuba diving, by using a small beam trawl and with a ROV. Eight sites were selected and equipped with sensors and settlement plots for monitoring physical parameters and colonization dynamics. Some species for which the genetic structure is known were selected for genetic monitoring and determining the most sensitivity areas. The whole system will bring conservation managers the scientific grounds for determining how coastal zones should be protected and managed. PROTEKER makes part of a larger observatory network of the Southern Ocean: it has joined the French INEE Zone Atelier Antarctique et subantarctique and the SCAR International Action Groups ANTOS [Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System] and ISSA [Integrated Science for the Sub-Antarctic].

Frondes de *Macrocystis pyrifera*

(1) Directeur de Recherche émérite CNRS, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), jean-pierre.feral@imbe.fr
(2) Maître de Conférences, Université de Bourgogne-Franche-Comté (BIOGEOSCIENCES), thomas.saucede@u-bourgogne.fr
(3) Professeur, Station Marine de Concarneau, Muséum national d'Histoire naturelle, amezianne@mnhn.fr

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Réparties autour de l'Antarctique, les îles subantarctiques, se situent à proximité du front polaire (PF). Partout dans cette zone une augmentation de plus de 1°C de la température des eaux superficielles a été rapportée depuis plus d'un demi-siècle. Au cours de la même période, une diminution des précipitations, une augmentation des événements extrêmes, des vents et des heures d'ensoleillement annuel ont été observées[1]. Ces changements correspondent dans le temps au glissement vers le sud du courant circumpolaire antarctique (ACC), et notamment de ses systèmes frontaux (Front subantarctique (SAF) et PF)[2], principaux éléments océanographiques structurants des écosystèmes de l'océan Austral et de la distribution des espèces. Les conséquences pour ces îles sont à la fois directes et indirectes[3]:

- recul des glaciers
- nouvelles conditions favorables aux espèces introduites[4]
- modification de la biodiversité marine

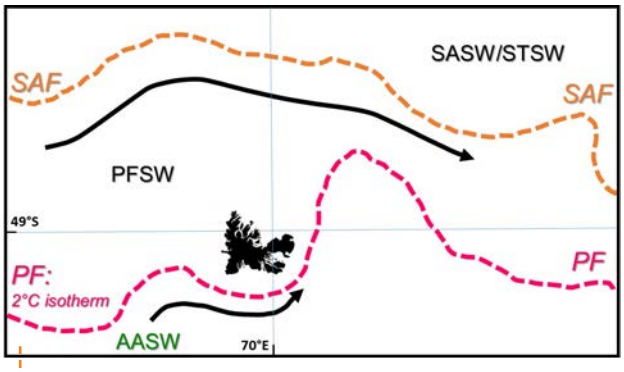

Figure 1 : Position du Front Polaire par rapport aux îles Kerguelen (redessinée et simplifiée d'après Y.-H. Park et al., 2014) Le plateau de Kerguelen est l'un des principaux obstacles bathymétriques à l'écoulement d'ouest en est du courant circumpolaire antarctique ACC (flèches noires). Une branche du front polaire PF traverse le nord du Plateau de Kerguelen juste au sud de l'archipel des Kerguelen, l'enveloppant au sud-est (flèche du bas), puis continuant le long du bord est du plateau. Important pour l'écologie côtière, une partie des eaux les plus superficielles (environ 100 m) remonte vers le nord formant une langue d'eau froide de sub-surface. Les variations latitudinales attendues des systèmes frontaux (front polaire PF et front subantarctique SAF) créeront des zones de mélange entre masses d'eau et/ou mettront en contact le benthos côtier avec des eaux de caractéristiques différentes (en termes de température, salinité et nutriments).

AASW : eaux de surface antarctiques, PFSW : eaux de surface du front polaire, SASW : eaux de surface subantarctiques, STSW : eaux de surface subtropicales.

1 Smith 2002, Le Roux et al. 2008
2 Allan et al. 2013
3 Smith 2002, Pendlebury et al 2007, Allan. et al. 2013, Kargel et al. 2014
4 Byrne et al. 2016

GÉOGRAPHIE ET CLIMAT DES KERGUELEN

Isolées au sud de l'océan Indien, les îles Kerguelen émergent du Plateau Kerguelen-Heard sur le trajet de l'ACC. L'archipel est situé à la confluence de masses d'eau bien distinctes (eaux de surface antarctiques (AASW), subantarctiques (SASW) et subtropicales (STSW)) près du front polaire. Compte tenu du glissement des systèmes frontaux vers le sud, il est prévisible que les côtes des Kerguelen seront baignées par des eaux de température, de salinité et de concentrations en nutriments différentes induisant des changements significatifs des conditions de la vie marine[5]. Sa position autour de l'archipel a été définie par Park et al. (2014) comme correspondant à l'isotherme 2°C (figure 1).

Les vents dominants d'ouest associés au courant circumpolaire antarctique déterminent les conditions climatiques océaniques, froides et extrêmement venteuses qui prévalent aux Kerguelen. Les 2 800 km de côte de l'archipel sont fortement découpés. Les eaux de la Baie du Morbihan, parsemées de très nombreuses îles et îlots, ne communiquent avec le large que par la Passe Royale par laquelle la mer pénètre jusqu'à 50 km à l'intérieur des terres. Les marées semi-diurnes ont une amplitude maximale de 1,80 m dans la Baie du Morbihan pour 1,2 à 1,6 m à l'extérieur. Les températures moyennes des eaux de surface varient entre 5°C en été et 2°C en hiver à Port-Aux-Français, seul site suivi depuis plusieurs décennies. La salinité est fonction des périodes et des précipitations (33,4 à 34,4 $g.kg^{-1}$ pour les eaux de surface).

Les fjords sont sujets à des épisodes de dessalure dus à la fonte des glaces et aux arrivées d'eau douce. Des gradients de salinité importants peuvent alors faire obstacle à certains organismes. Les apports d'eau douce importants et la faible évaporation font de la Baie du Morbihan un bassin de dilution. Les vents dominants d'ouest déplacent les eaux de surface vers la Passe Royale en direction du large. Elles sont remplacées par les eaux issues du large, surtout lors des tempêtes d'hiver qui apportent nutriments, plancton et necton. Tous ces éléments façonnent (et pourront transformer) les écosystèmes côtiers. Peu en revanche est connu des côtes extérieures à la baie.

5 Scheffer et al. 2016

PRÉVOIR… OU LA NÉCESSITÉ D'OBSERVATION À LONG TERME

Malgré les indices d'un changement climatique en cours, le manque d'observations réalisées sur le long terme empêche de documenter toute tendance d'évolution des écosystèmes marins côtiers. A l'absence de ces données s'ajoute notre méconnaissance des effets combinés de ces changements sur les peuplements marins. Leur suivi à long terme apparaît alors comme une nécessité impérieuse. Kerguelen, par sa position originale dans l'océan Austral, l'existence de certaines données anciennes et les facilités logistiques offertes (base de Port-aux-Français et support naval) présente des caractéristiques favorables à l'installation de sites de suivis à long terme du benthos côtier. Au cours de sa première phase, le programme PROTEKER avait pour objectif la mise en place d'un tel observatoire marin pour le suivi de la biodiversité marine côtière et l'évaluation des effets des changements environnementaux. Il consiste en une approche pluridisciplinaire : mesures océanographiques, cartographie benthique, analyses génétiques, écophysiologiques, isotopiques et écologiques. Outre l'inventaire et le suivi de la biodiversité, il a aussi pour ambition de fournir des critères scientifiques pour la gestion de l'environnement marin côtier.

L'OBSERVATOIRE SOUS-MARIN PROTEKER : WWW.PROTEKER.NET

Stratégie

Certains sites étudiés lors des précédents programmes réalisés autour de l'archipel ont été revisités au cours de trois campagnes d'été de la Curieuse. La stratégie du choix des sites a obéi à deux impératifs :

- représentativité d'habitats subantarctiques (plusieurs sites ont été explorés pour valider ce choix)
- accessibilité garantissant au mieux la sécurité du matériel et permettant ensuite à des gestionnaires de la Réserve nationale naturelle des Terres australes françaises (RNN TAF) de poursuivre l'observation. Celle-ci implique la réalisation de plongées en scaphandre autonome, la pose/dépose d'appareillage à 5 m et 15 m de profondeur, et de placettes de colonisation à 10 m, la réalisation de transects et de quadras d'observation.

OPÉRATIONS RÉALISÉES

Trois campagnes de 15 (3 legs entre le 19 Déc. 2011 et le 5 Jan. 2012), 18 (3 legs entre le 17 Nov. et le 6 Déc. 2013) et 12 jours (3 legs entre le 1er et le 13 Déc. 2014) à bord de La Curieuse, complétées par 4 jours d'accès au zodiac Le Commerson (24-27 Nov. 2014) ont permis l'exploration et la validation de 8 sites de suivi instrumentés (Figure 2). La plongée est une technique incontournable pour l'étude des substrats rocheux en milieu côtier. Elle permet l'observation, l'enregistrement photo et vidéo des caractéristiques des habitats (méthodes non invasives) et les récoltes nécessaires, ainsi que l'installation précise de l'appareillage. 89 plongées en palanquées ont été réalisées. Afin de contextualiser les sites choisis, leur environnement a été étudié au moyen d'un petit chalut à perche de type Agassiz (1 m d'ouverture). Deux fois 9 traits (à 50 et 100 m de profondeur) ont été effectués selon les recommandations de la CCAMLR[6] pour protéger l'intégrité des fonds. Ces chalutages ont été complétés par des observations réalisées au moyen d'un ROV[7] (Figure 3).

6 Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources
7 Remotely Operated Vehicle

Figure 3 : Explorations des fonds environnants les sites de suivis : chalut à perche (à gauche et au centre) – une fois ramené à bord, le contenu du chalut est d'abord trié sur la plage arrière et ROV (à droite) – observation du comportement de l'étoile de mer Labidiaster annulatus à 100 m de profondeur dans la Baie des Swains.

Appareillage

Les conditions extrêmes du milieu et les contraintes logistiques nécessitent l'emploi de capteurs robustes dotés d'une grande autonomie. 16 capteurs Hobo® Water Temp Pro V2 enregistrent la température (1 prise/heure) à 5 m et 15 m à chacun des 8 sites (Figure 4). Leur relève devrait se faire à chaque campagne d'été. Les résultats sont mis en ligne sur le site du programme[8] et actualisés après chaque campagne. D'autres capteurs seront installés lors de prochaines missions.

Les sites sont également équipés d'un ensemble de 8 placettes de colonisation constituées de carreaux en argile crue (20 X 20 cm) immergés et fixés sur les parois rocheuses pour suivre l'installation des organismes au fil du temps. (Figure 5). Une placette est récupérée chaque année, si possible, et remplacée par une nouvelle qui elle-même sera récupérée l'année suivante, avec une autre plus ancienne, et remplacée aussi. Ainsi la dynamique de la colonisation pourra être analysée et contrôlée grâce aux répliquas. L'analyse des placettes est d'abord visuelle, puis après récolte et fixation de la macrofaune fixée, les placettes sont grattées et le matériel récupéré est préparé pour pratiquer métabarcoding[9] et métagénomique[10].

8 www.proteker.net/-Thermorecorders-.html
9 Métabarcoding : technique de taxonomie moléculaire permettant la caractérisation génétique d'un individu ou d'un échantillon d'individus à partir d'un gène du génome mitochondrial (la cytochrome oxydase ou COI).
10 Métagénomique : discipline basée sur la technologie de séquençage à haut débit qui permet d'identifier la totalité de l'ADN ou de l'ARN des micro-organismes dans un écosystème (bactéries/levures/champignons/virus) et d'en déterminer la composition en terme d'espèce.

Les placettes sont composées de huit carreaux d'argile crue. Chaque année, un carreau est récupéré et est remplacé par un nouveau. La faune et la flore sont récoltées, comptées et identifiées. Tout ce qui reste sur les carreaux est gratté et préparé pour l'analyse d'ADN et d'ARN qui permettra de détecter des organismes de très petite taille, ainsi que les microbes. L'année suivante un carreau de deux ans et celui remplacé l'année précédente (un an) seront traités de la même façon. Cela révèle à la fois l'évolution de la colonisation après deux ans d'immersion (carreau de deux ans) et de la similitude ou de la différence du peuplement d'origine (carreau d'un an). Il sera possible de comparer les répliquas d'un an, deux ans, etc.. Répéter ces opérations plusieurs années donnera une image dynamique de la colonisation à chaque site et montrera si le site est ouvert à l'extérieur ou si de l'auto-recrutement est susceptible de se produire, indiquant qu'il est isolé et donc "plus" vulnérable[11].

11 Féral et al. 2016

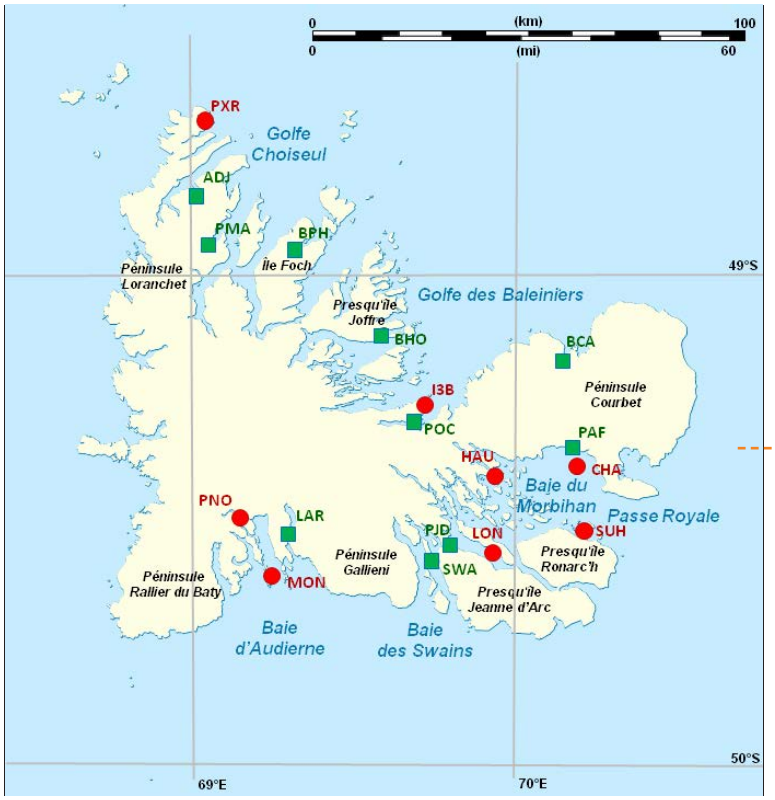

Figure 2: Carte des sites de suivi : Huit sites (ronds rouges) ont été retenus sur 18 explorés. Les dix autres sites (carrés verts) ont permis de valider la représentativité des sites choisis. Secteur Morbihan [PAF: Port aux Français, HAU: Ile Haute, LON: Ile Longue, PJD: Port Jeanne d'Arc], Passe Royale [CHA: Ilot Channer, SUH: Ile Suhm], Swains [SWA: Baie des Swains], Audierne [LAR: Baie Larose, PNO: Fjord des Portes Noires, MON: Ile du Prince de Monaco], Choiseul [PXR: Port Christmas, ADJ: Anse du Jardin, PMA: Port Matha, BPH: Baie Philippe], Baleiniers [Baie du Hopehul, I3B: Ilot des Trois Bergers, POC: Port Couvreux, BCA: Baie des Cascades].

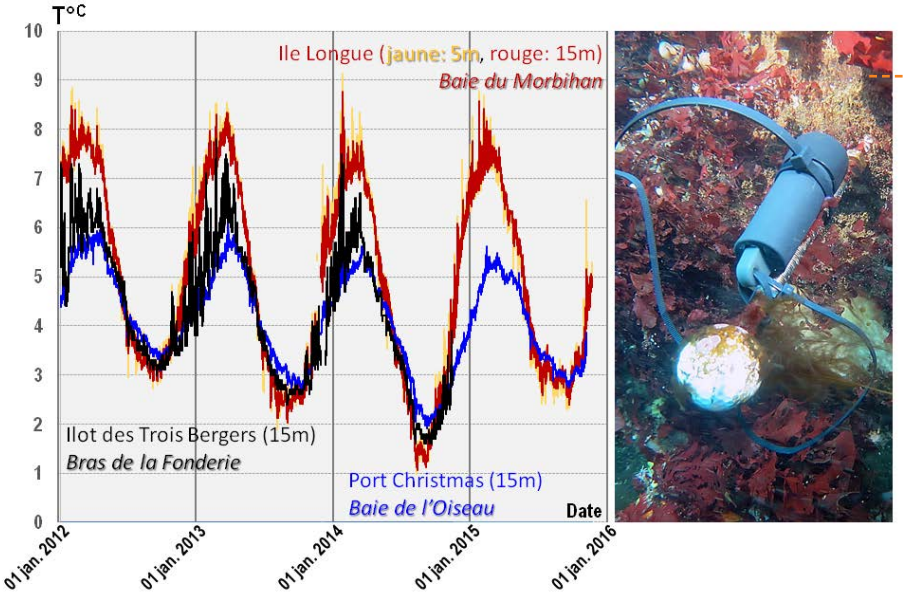

Figure 4. Suivi des températures (une mesure par heure enregistrée par un capteur protégé dans un coffret en PVC, fixé à la roche et repéré par une balle de golf) de l'eau de mer à 5 et 15 m de profondeur dans la Baie du Morbihan (Ile Longue) et à l'extérieur (Baie de l'Oiseau/Port Christmas, 15m et Ilot des Trois Bergers/Port Couvreux, 15m) du 6 janvier 2012 au 9 décembre 2015.

LES SITES DE L'OBSERVATOIRE PROTEKER

Les 8 sites choisis au cours de cette première phase de PROTEKER sont listés dans le tableau 1 et situés sur la figure 2. Ils sont repérés par leurs coordonnées géographiques, des photographies permettant de les retrouver à vue, une marque à l'extérieur, à l'aplomb des appareils installés, ainsi que sous l'eau, au niveau des capteurs.

Ile Haute [49°23'15"S; 69°56'29"E]

L'Ile Haute est située dans le fond de la Baie du Morbihan. L'herbier de ***Macrocystis*** est très développé sur les fonds de 6-8 m. Les pieds sont plus clairsemés en profondeur et surtout les stipes et les frondes sont très souvent couchés sur un fond vaseux. L'existence de tombants rocheux ont permis l'installation de capteurs à 5 m et à 15 m, et d'un ensemble de 8 placettes de colonisation. La colonisation des placettes s'est révélée relativement lente au cours des premières années, fait surprenant étant donné la très épaisse (plus d'un décimètre) couche d'organismes qui recouvre la roche.

Ile Longue [49°32'19"S; 69°53'03"E]

Le site est situé face à la Presqu'île Jeanne d'Arc. Le paysage sous-marin est semblable à celui du site de l'Ile Haute à l'exception d'une plus grande abondance et diversité d'éponges (Figure 6) fixées dans les éboulis et les grottes à la base des tombants qui servent aussi d'abri à certains poissons (*Notothenia*).

Ilot Channer [49°22'59"S; 70°11'08"E]

Cet îlot a été choisi car se trouvant dans le flot principal du courant entrant dans la Baie du Morbihan. Sans grand tombant, il présente un chaos de blocs descendant progressivement vers une fosse à fond vaseux. Les *Macrocystis* ressemblent à celles des sites de mer ouverte. La forêt est très dense à la côte et s'éclaircit en allant vers le large.

Ile Suhm [49°29'36"S; 70°09'41"E]

Le site est installé de l'autre côté de la Passe Royale, sur un tombant relativement abrité, très riche en éponges et en tuniciers. La différence avec les précédents sites est que le tombant continue sur plus de 20 m. La couverture de faune et de flore est spectaculaire et se distingue des autres sites par sa diversité et la densité des peuplements. La vitesse de colonisation des placettes a été la plus rapide. Dès la première année, on les confondait avec le substrat naturel environnant (Figure 5).

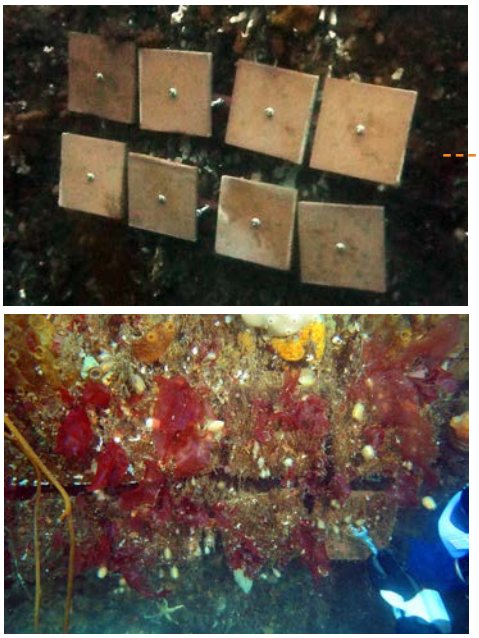

Figure 5 :

placettes de colonisation au moment de l'installation à l'Ile Suhm (décembre 2013, en haut) et un an après (décembre 2014, en bas). La colonisation à ce site est telle qu'on ne distingue plus les carreaux du substrat rocheux environnant.

Secteur	Nom	Abréviation	Choix	Latitude S	Longitude E
Choiseul	Port Christmas	PXR	+	-48.68194	69.03277
	Anse du Jardin	AJA	-	-48.84623	69.01012
	Port Matha	PMA	-	-48.93611	69.04138
	Baie Philippe	BPH	-	-48.94555	69.36000
Baleiniers	Baie du Hopeful	BHO	-	-49.08972	69.61750
	Ilot des Trois Bergers	I3B	+	-49.29000	69.71138
	Port Couvreux	POC	-	-49.28666	69.70861
	Baie des Cascades	CAS	-	-49.16916	70.15694
Passe Royale	Ilot Channer	CHA	+	-49.38310	70.18580
	Ile Suhm	SUH	+	-49.49333	70.16138
Morbihan	Port-aux-Français	PAF	-	-49.35416	70.21888
	Ile Haute	HAU	+	-49.38750	69.94138
	Ile Longue	LON	+	-49.53861	69.88416
	Port Jeanne d'Arc	PJD	-	-49.55611	69.80138
Swains	Baie des Swains	SWA	-(*)	-49.56416	69.73055
Audierne	Baie Larose	LAR	-	-49.54826	69.29497
	Ile du Prince de Monaco	MON	+	-49.60000	69.23972
	Fjord des Portes Noires	PNO	+	-49.49416	69.14944

Tableau 1

Positions géographiques des sites PROTEKER, explorés et choisis (+)(*) La Baie des Swains présentant un type d'habitat particulier (moulière descendant profondément) pourrait aussi faire l'objet d'un suivi

Ile du Prince de Monaco [49°36'00"S; 69°14'23"E]

Ce site, situé dans la Baie d'Audierne présente la situation la plus exposée au large. Il est caractérisé par une forêt de *Macrocystis* bien développée, des eaux claires et souvent agitées. On y observe de nombreux pieds de *Macrocystis* arrachés par les tempêtes et flottant au-dessus du fond (Figure 7). La densité des peuplements est moindre que dans les sites plus abrités (Baie de l'Oiseau, Baie du Morbihan). Des algues filamenteuses peuvent avoir un rapide et très important développement saisonnier et recouvrir de très grandes surfaces.

Fjord des Portes Noires [49°29'39"S; 69°08'58"E]

Installé au-delà des seuils du fjord, ce site se distingue par les apports d'eau douce en provenance des rivières et de la fonte des glaciers. Les mesures pratiquées en 2014 montrent l'existence d'une couche d'eau dessalée (33,3 $g.kg^{-1}$ en surface augmentant jusqu'à 33,8 $g.kg^{-1}$ à 10 m, pour se maintenir à 34,0 $g.kg^{-1}$ jusqu'à 30 m). La température passe de 3.1°C à 2.9°C selon le même schéma. La sédimentation y est intense. L'eau est souvent chargée de particules. Il y a relativement peu de ***Macrocystis***. C'est aussi le site le plus sombre. Les fonds et les parois sont très vaseux. La grande moule striée y est attachée comme sur la majorité des blocs. On y observe beaucoup d'échinodermes.

Port Christmas [48°40'55"S; 69°01'58"E]

Situé dans la Baie de l'Oiseau à l'extrême nord de Kerguelen, ce site a été choisi dans un endroit abrité. Il est comparable à celui de la Baie d'Audierne mais est plus calme. Les *Macrocystis* forment ici aussi des forêts denses mais on n'observe pas ou très peu de pieds arrachés. Les peuplements des tombants se distinguent principalement des autres sites par la présence de gorgones parfois abondantes.

Ilot des Trois Bergers [49°17'24"S; 69°42'41"E]

Visible de Port Couvreux, cet îlot présente des tombants verticaux jusqu'à 35-40 m. Ils sont couverts d'une faune moins diversifiée que celle des sites de la Baie du Morbihan. On y observe communément des oursins crayons et d'abondants spécimens de l'étoile de mer géante *Labidiaster annulatus* (Figure 3), observée ailleurs à plus grande profondeur (50 à 100 m). Les températures mesurées diffèrent des autres sites par les très grandes variations journalières (Figure 4) observées 3 années de suite au cours du réchauffement estival (fin octobre à début avril).

D'une façon générale, un cycle saisonnier régulier de la température de l'eau de mer a été observé. Les valeurs maximales sont relativement constantes au cours des années prises en compte tandis que les minimales montrent des variations de plus d'un degré Celsius entre années successives. Les températures les plus basses sont observées dans la Baie du Morbihan. Les maximums sont plus élevés à l'Ile Longue (8,6 +/- 0,2°C) qu'à Port Christmas (5,7 +/- 0,2°C) ou aux Trois Bergers (7,2 +/- 0,2°C). La moyenne des minima est de 2,1 +/- 0,7°C à l'Ile Longue, 2,7 +/- 0,5°C au Port Christmas et (2,4 +/- 0,8°C) aux Trois Bergers. A ce dernier site, l'augmentation estivale de la température est particulièrement irrégulière (variations à répétitions de plusieurs degrés à la hausse ou à la baisse en quelques jours observées pendant trois années consécutives).

Figure 6: Base d'un tombant de l'Ile Longue vers 15m. Les parois et les anfractuosités sont recouvertes de plusieurs couches d'organismes benthiques, en particulier des éponges (Clathria [orange digitiforme] et Tetilla leptoderma [sphérique, en bas] dont les abondants spicules siliceux tapissent sur plus d'un mètre d'épaisseur de très grandes étendues des fonds de l'Océan Austral) et des ascidies coloniales (Aplidium spp [jaunâtre-orangé]).

Premiers résultats et perspectives

Aux Kerguelen, seul le site de Port-aux-Français (programme ROSAMER/NIVMER, 1993-2015) faisait l'objet d'un relevé régulier des températures des eaux côtières avant la mise en place de l'observatoire. PROTEKER fournira une image plus complète de l'évolution des températures à l'entrée et au fond de la Baie du Morbihan ainsi que sur les côtes nord et sud de l'île principale (Figure 4).

L'analyse en cours des récoltes, des photos et des vidéos permettra de compléter l'inventaire des faune et flore côtières et d'arrêter une liste plus réduite d'espèces et d'assemblages d'espèces permettant un suivi fonctionnel du benthos (biodiversité ordinaire). Pour ce faire, des protocoles de suivis éprouvés dans d'autres milieux sont en train d'être adaptés aux conditions de Kerguelen (quadras fixes, transects visuels, photographiques et vidéo), ainsi qu'une cartographie par couches qui permettra un suivi dynamique.

Des essais de systèmes durables d'alimentation électrique sont en cours pour l'installation de capteurs à autonomie réduite au cours de la phase 2 de PROTEKER : renforcement des observations et des analyses (instrumentation et caractérisations génétiques, trophiques et écologiques de taxons indicateurs). Les résultats attendus permettront de produire des modèles de distribution de la biodiversité marine côtière aux Kerguelen et des modèles de sensibilité face aux changements environnementaux attendus valables pour les îles subantarctiques en général. PROTEKER est membre des groupes d'action du SCAR, ANTOS [Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System] et ISSA [Integrated Science for the Sub-Antarctic] dont le but est d'établir un système intégré et coordonné de surveillance de l'environnement transrégional et transcontinental pour identifier et suivre le changement environnemental et sa variabilité à des échelles biologiquement pertinentes, et d'utiliser cette information pour des études en sciences biologiques, physiques et de la terre. Il fait également partie de la Zone atelier antarctique et subantarctique (ZATA) de l'INEE.

Une des holothuries dendrochirotes les plus communes des îles Kerguelen Pentactella laevigata accrochée à des ascidies coloniales (Ile Haute).

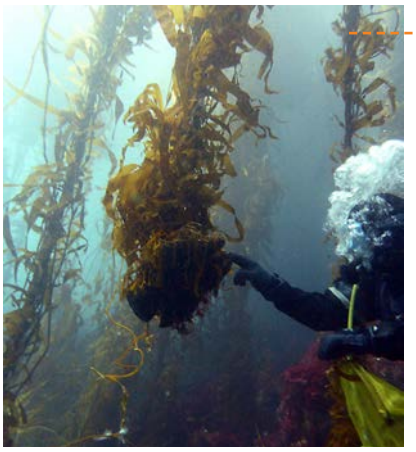

Figure 7: L'algue brune géante Macrocystis pyrifera (jusqu'à 60 m de long), dite kelp, vit fixée au fond par de solides crampons dont la base peut atteindre 1,5 m de diamètre. Elle forme de véritables forêts herbiers très denses sur des fonds entre 3 et 25 m, couvrant parfois de très grandes étendues rendant la navigation pratiquement impossible. Les différentes parties (haptères, stipes, frondes) de l'algue servent de support ou abritent un nombre considérable d'invertébrés. Les tempêtes arrachent régulièrement des pieds (la photo est prise à l'Ile du Prince de Monaco) qui viennent s'échouer et pourrir sur les plages s'accumulant sur plusieurs mètres d'épaisseur et formant un écosystème particulier de laisse de mer. Il est aussi probable que ceux de ces pieds dérivant au large servent de radeau à des espèces qui pourraient ainsi disperser sur de grandes distances. Ce phénomène de « rafting » est évoqué pour expliquer par exemple la diversité des mollusques et des crustacés dans l'océan Austral.

Copyright des photos de l'article: PROTEKER

REFERENCES

- Allan EL, Froneman PW, Durgadoo JV, McQuaid CD, Ansorge IJ and Richoux NB. (2013). Critical indirect effects of climate change on sub-Antarctic ecosystem functioning. Ecology and Evolution 3(9): 2994–3004. doi:10.1002/ece3.678
- Byrne M, Gall M, Wolfe K Agüera A (2016). From pole to pole: the potential for the Arctic seastar ***Asterias amurensis*** to invade a warming Southern Ocean. Global Change Biology, doi: 10.1111/gcb.13304
- Féral J-P, Saucède T, Poulin E, Marschal C, Marty G, Roca J-C, Motreuil S, Beurier J-P (2016). PROTEKER : implementation of a submarine observatory at the Kerguelen islands (Southern Ocean). Underwater Technology, 34(1): 3-10, doi: 10.3723/ut.34.003
- Kargel JS, Bush ABG, Cogley JG, Leonard GJ, Raup BH, Smiraglia C, Pecci M and Ranzi R. (2014). A world of changing glaciers: Summary and climatic context. In: Global Land Ice Measurements from Space, Kargel JS, Leonard GJ, Bishop MP, Kääb A and Raup BH. (eds.). Berlin Heidelberg: Springer. 781-840. doi: 10.1007/978-3-540-79818-7_33
- Le Roux PC and McGeoch MA. (2008). Changes in climate extremes, variability and signature on sub-Antarctic Marion Island. Climatic Change 86: 309-329. doi: 10.1007/s10584-007-9259-y
- Park YH, Durand I, Kestenare E, Rougier G, Zhou M, d'Ovidio F, Cotte C, and Lee JH. (2014). Polar Front around the Kerguelen Islands: An up to-date determination and associated circulation of surface/subsurface waters Journal of Geophysical Research-Oceans 119(10): 6575-6592. doi:10.1002/2014JC010061
- Pendlebury SF and Barnes-Keoghan LP. (2007). Climate and climate change in the sub-Antarctic. Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania 141(1): 67-82.
- Scheffer A, Trathan PN, Edmonston JG, Bost C-A. (2016). Combined influence of meso-scale circulation and bathymetry on the foraging behaviour of a diving predator, the king penguin (***Aptenodytes patagonicus***). Progress in Oceanography 141: 1-16; doi:10.1016/j.pocean.2015.10.005
- Smith VR. (2002). Climate change in the sub-Antarctic: An illustration from Marion Island. Climatic Change 52: 345–357. doi:10.1023/A:1013718617277

REMERCIEMENTS

Nous remercions les équipes logistiques de l'IPEV et des TAAF pour leur support sur le terrain. Nous sommes très reconnaissants à la RNN TAF qui a complété notre équipe de plongeurs pendant ces campagnes d'été et qui nous a donné accès à son navire "Le Commerson" pour travailler dans la Baie du Morbihan. Nous remercions également les capitaines et les équipages de "La Curieuse" grâce auxquels ces 3 campagnes à la mer ont permis la mise en place de l'observatoire PROTEKER. Notre gratitude va aussi vers tous nos collègues participants, en particulier à ceux qui se sont mouillés avec nous : J-P Beurier, C Marschal, G Marty, S Motreuil, E Poulin et J-C Roca, ainsi qu'à R. David qui a permis la visualisation sous forme de graphes dynamiques et interactifs des suivis de température sur www.proteker.net (librairies "dygraphs").