Projets Scientifiques

Mot de la marraine **1**

Biogéochimie et Microbiologie **2**
- Introduction 2
- Réalisation 2
- Un mot des encadrant·e·s 3

Climatologie **3**
- Introduction 3
- Réalisation 4
- Un mot des encadrant·e·s 4

Microplastiques **5**
- Introduction 5
- Réalisation 5
- Un mot des encadrant·e·s 6

Sciences sociales **6**
- Introduction 7
- Réalisation 7
- Un mot des encadrant·e·s 8

Biologie des populations **9**
- Introduction 9
- Réalisation 10
- Un mot des encadrant·e·s 10

Laboratoires partenaires **11**

Bibliographie **12**

Mot de la marraine

Le projet mis en place par l'équipe couvre les grandes thématiques de l'étude des océans, avec un accent prononcé sur l'Antarctique. Nos océans, et les zones polaires en particulier, sont comme un canari dans une mine de charbon. Les changements qui s'y passent affectent les populations mondiales de manière directe et/ou indirecte. De grandes incertitudes demeurent dans les projections des modèles à grande échelle, par exemple la montée des eaux et la capacité des océans à absorber le gaz à effet de serre CO_2. Les pôles contribuent particulièrement à ces incertitudes, étant donné les challenges logistiques et budgétaires pour obtenir des données de terrain. Nous avons cependant un besoin crucial de ces données pour pouvoir évaluer de manière précise la vitesse et la magnitude des changements en cours. L'expédition est approchée dans cet esprit, avec une large couverture spatiale (nord/sud et est/ouest), rythmée par des zones océanographiques distinctes. La Péninsule Antarctique a un enjeu particulièrement intéressant étant donné que les changements environnementaux y sont plus prononcés qu'à l'est du continent Antarctique. L'approche scientifique multidisciplinaire (physique, chimie, cryosphere, microbiologie, pollution et niveaux trophiques plus élevés) permet une représentation adéquate d'un système complexe. L'équilibre entre le projet commun et les sujets individuels est un excellent exemple de mission scientifique de grande envergure, pendant lesquelles le but est de maximiser le jeu d'échantillons et de données collectées par une petite équipe, le tout dans un environnement extrême et confiné. L'approche sociale d'une mission scientifique mise en avant dans le projet est particulièrement intéressante; elle illustrera l'apprentissage par l'équipe des différentes facettes du monde de la recherche: démarches de collaborations, logistique, pression, budget et travail d'équipe. Finalement, à travers le film et les activités éducatives mises en place, l'expédition est une plateforme idéale pour mettre en avant le rôle de l'Antarctique dans le conscient collectif.

Delphine Lannuzel - IMAS Institute for Marine and Antarctic Studies, Centre for Oceans and Cryosphere (UTAS) - delphine.lannuzel@utas.edu.au

Biogéochimie et Microbiologie

Introduction

Environ un quart des émissions annuelles de CO2 sont piégées dans l'océan et ne participent ainsi pas à une augmentation de l'effet de serre (Le Quéré et al. 2018). L'océan austral contribue pour presque moitié à cette pompe à carbone océanique. La pompe fonctionne par simple transfert chimique (dissolution), mais aussi par piégeage biologique (production de matière organique par les organismes photosynthétiques), ce dernier contribuant chaque année au transfert de ~10 $Gt \cdot C \cdot an^{-1}$ de carbone sous forme de carbone organique particulaire vers l'océan profond (Passow and Carlson 2012; Boyd et al. 2019).

La solubilité du CO_2 dans l'océan diminue avec l'augmentation de la température (Le Quéré et al. 2018), mais l'évolution de la pompe biologique du fait du changement climatique est quant à elle encore difficile à déterminer (Meredith et al. 2019). C'est pourtant une question cruciale, pour mieux modéliser l'évolution du climat.

Un certain nombre d'éléments traces métalliques, tels que le fer (Fe), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdène (Mo) ou le cadmium (Cd) sont des micronutriments très importants car ils conditionnent en partie l'acquisition et l'assimilation du carbone, de l'azote et du phosphore par le phytoplancton (Boyd and Bressac 2017; Morel and Price 2003; Sunda 2012) et sont en partie rejetés par les activités humaines. Ces éléments, présents à l'état de traces dans l'océan structurent ainsi l'écosystème phytoplanctonique. De plus, les éléments tels que Fe ou Cu sont à 99% complexés par des ligands organiques pour maintenir leur solubilité (Gledhill and Buck 2012).

Réalisation

Dans ce projet, l'analyse des ligands en parallèle de celles des métaux traces permettra de remonter aux stratégies d'acquisition de la ressource mises en place par les différentes espèces composant l'écosystème. Différents types de ligands peuvent être produits selon les usages nutritifs (stockage intracellulaire préventif, utilisation comme catalyseur biochimique, relargage dans le milieu, …) et les interactions à l'œuvre avec ses voisins (compétition, collaboration, …) (Strzepek et al. 2011; Marchetti and Maldonado 2016; Seymour et al. 2017).

L'analyse du metatranscriptome des organismes présents couplée à la caractérisation des ligands en solution pourra éclairer sur la nature des ligands du Fe. De plus, l'analyse des métagénomes et métatranscriptomes permettra de comprendre quelles sont les espèces impliquées dans ce processus et quels sont les gènes impliqués dans le métabolisme du Fer (Shi, Tyson, and DeLong 2009; Hopkinson and Barbeau 2012; Marchetti et al. 2012; Creveld et al. 2016).

Concrètement, environ 500 prélèvements d'eau de surface seront faits pendant l'expédition (un tous le 5° lat. et à une plus forte résolution près des marges nord-africaines, sud-américaines et près des îles et de la péninsule antarctique dans l'océan austral) et préconditionnés à bord pour analyse à terre à notre retour (concentration en nutriments, cytométrie, métaux dissous et particulaires, spéciation organique, métatranscriptomique sur une sélection d'échantillons).
Pendant le trajet, des mesures de la productivité primaire des communautés de surface et de concentration en chlorophylle seront également effectuées en continu. Elles pourront être comparées aux estimations de ces paramètres qui sont obtenues par satellite pour mieux calibrer les modèles déjà existants, et les stratégies de mesure et de suivi depuis l'espace permises avec les nouvelles générations de satellites de l'ESA et de la NASA.

Les données ainsi produites permettront de mieux caractériser la structure de l'écosystème océanique de surface, à la base de la pompe à carbone océanique biologique. Cette étude permettra de faire dialoguer nos données avec celles déjà produites localement dans les différentes zones traversées.

Un mot des encadrant·e·s

Outre le caractère innovant du navire sur lequel va s'effectuer ce projet, l'échantillonnage de surface des métaux traces et de spéciation organique le long des différents transects proposés va permettre d'étudier des provinces biogéochimiques contrastées en termes de communautés phytoplanctoniques et d'apports nutritifs. D'une manière générale, il sera possible de mettre en lumière les diverses sources de ces métaux traces en surface, qu'elles soient éoliennes, basales ou sédimentaires.

Plus particulièrement, au niveau du littoral ouest-africain, l'objectif sera de différencier les apports éoliens des apports provenant de l'upwelling et de regarder éventuellement s' il existe un impact anthropique. A l'embouchure de l'Amazone, l'accent sera davantage mis sur les apports fluviaux. Au niveau du passage de Drake et plus au sud, près de l'île King George dans le détroit de Bransfield, il sera possible de mettre en évidence des courants de surface enrichis en métaux traces, par exemple, entre les îles Clarence et Éléphant dans le bassin d'Ona et regarder si cela résulte en un accroissement de l'activité phytoplanctonique.

Ainsi, lors de ce transect unique, il sera possible de mettre en parallèle les communautés phytoplanctoniques présentes et la potentielle co-limitation d'éléments traces et stratégies d'acquisition.

Enfin, ces observations pourront être mises en regard de données issues de programmes internationaux d'envergure, tels le programme GEOTRACES (https://www.geotraces.org/) et SOOS (http://www.soos.aq/).

Hélène Planquette - LEMAR Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (UBO, IUEM, CNRS, IRD, IFREMER) - helene.planquette@univ-brest.fr
Ingrid Obernosterer - LOMIC Laboratoire d'Océanographie Microbienne (Sorbonne Université, CNRS) - ingrid.obernosterer@obs-banyuls.fr
Christian Jeanthon - SBR Station Biologique de Roscoff (Sorbonne Université, CNRS) - christian.jeanthon@sb-roscoff.fr
---

Climatologie

Introduction

Comprendre les causes des variations du bilan de masse de surface en Antarctique, où se concentrent 90 % des glaces terrestres, est fondamental pour évaluer l'impact du changement climatique sur l'évolution du niveau des mers. Ces dernières années, avec l'accélération de la débâcle d'icebergs, la perte de glace continentale dans les régions polaires est devenue une contribution essentielle à la hausse du niveau des mers (Rignot et al. 2019). Le bilan de masse de surface d'une grande partie de l'Antarctique est contrôlé par quelques événements extrêmes, entraînant une forte variabilité naturelle de cette variable. Des études récentes (Wille et al. 2019; 2020) montrent le rôle primordial de la fréquence d'occurrence de rivières atmosphériques sur ces variations.

Les rivières atmosphériques sont des courants aériens qui forment des filaments atmosphériques transportant de l'air chaud et humide des basses vers les hautes latitudes. Bien qu'elles soient des phénomènes rares en Antarctique, les rivières atmosphériques ont une influence majeure sur le bilan de

masse du continent ; elles génèrent des précipitations extrêmes en Antarctique de l'est (Gorodetskaya et al. 2014), 40% de la fonte de la surface estivale dans certaines parties de l'Antarctique occidental et 40 à 80% de la fonte hivernale totale le long de nombreuses plateformes glaciaires (Wille et al. 2019).

Réalisation

La composante climatologie du projet Antarctique 2.0°C s'articule autour de trois études selon trois axes de recherche : le premier se déroule dans le cadre d'un stage de Master 2 à l'IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement) de février à juillet 2021. Le deuxième axe sera une approche expérimentale de deux mois au niveau de la péninsule Antarctique de janvier à février 2022 dans le cadre de la campagne Antarctique 2.0°C. Le troisième niveau d'étude correspondra à une thèse de doctorat qui commencera en septembre 2022.

Le deuxième axe de recherche s'inscrit dans le cadre de la campagne YOPP-SH 2022, qui fait partie de l'initiative internationale "Year of Polar Prediction" au sein du projet Polar Prediction, et du projet PROPOLAR (Programme Polaire Portugais) APMAR dirigé par Irina Gorodetskaya en collaboration avec Raul Cordero à la base Escudero. L'objectif est d'étudier le fonctionnement physique des rivières atmosphériques. Le lieu d'étude est la base chilienne Escudero, sur l'île du Roi George. Cette base a déjà accueilli des campagnes de mesures (Bromwich et al. 2020) étudiant les rivières atmosphériques, qui serviront de support pour les prochaines campagnes. L'étude sur base commence début janvier 2022, et dure 3 semaines. Il s'agira de suivre les rivières atmosphériques avec des mesures isotopiques des précipitations neigeuses et des radiosondages pendant la campagne de mesure spéciale du programme YOPP-SH. Sur le terrain, il s'agira de mettre en place des protocoles qui seront effectués ensuite pendant l'hiver, installer une station météorologique automatique qui restera en place jusqu'à la campagne suivante et réaliser des prélèvements de neige. L'échantillonnage des précipitations neigeuses et le programme de radiosondage sont gérés par le projet APMAR, et l'ensemble des autorisations environnementales et logistiques ont déjà été obtenues. Par ailleurs, si une rivière vient à passer pendant la durée de présence sur place, un lâcher de ballon-sondes permettra d'en caractériser le profil atmosphérique. Les différents capteurs nécessaires aux échantillonnages de neige sont fournis par Météo France. L'IGE fournit la station météorologique. L'expédition Antarctique 2.0°C aidera également le groupe de Raul Cordero à effectuer des mesures à la station Escudero (y compris les lancements de radiosondes). Des réflexions sont en cours pour élaborer les protocoles d'échantillonnages depuis le bateau.

La composante climatologie de Antarctique 2.0°C propose une collaboration étroite avec les membres de l'ANR ARCA (IGE, LSCE, LOCEAN) et avec Irina Gorodetskaya, membre des projets ATLACE et APMAR, soutenu respectivement par la FCT (Fondation pour la Science et la Technologie) du Portugal dans le cadre du programme opérationnel CIRCNA, et par le Programme Polaire Portugais et le Programme Antarctique Chilien. Les projets ARCA et APMAR visent à décrire les rivières atmosphériques dans les régions polaires, et le projet Antarctique 2.0°C propose des mesures et une aide sur le terrain en péninsule Antarctique afin d'obtenir les informations indispensables à la compréhension des événements extrêmes en Antarctique.

Un mot des encadrant·e·s

Le bilan de masse de surface (BMS) d'une grande partie de l'Antarctique est contrôlé par quelques événements extrêmes, ce qui entraîne une forte variabilité naturelle de cette variable. Les intrusions d'humidité extrêmes liées aux rivières atmosphériques (RA) circulant dans l'océan Austral conduisent à des accumulations intenses de neige, mais aussi à des événements extrêmes de chaleur et de fonte en surface de l'Antarctique. Pourtant, ces RA sont actuellement négligées dans les études d'impact du changement climatique en Antarctique.

Dans le cadre du projet ARCA, coordonné par l'IGE, le LSCE, le LOCEAN, nous proposons d'évaluer l'impact des rivières atmosphériques sur le bilan de masse de surface de l'Antarctique et d'explorer dans quelle mesure l'activité passée des rivières atmosphériques peut être retrouvée grâce aux enregistrements des carottes de glace. Pour cela, nous devons collecter des données météorologiques et isotopiques dans la neige afin de caractériser la signature isotopique des rivières atmosphériques. Nous devons aussi caractériser la structure de l'atmosphère lors de ces événements particuliers, à partir de radiosondages et de mesures radar (Micro Rain Radar). Les mesures, qui seront effectuées par Niels Dutrievoz sur l'île du Roi Georges, participent à la collaboration que nous entretenons avec Irina Gorodetskaya dans le cadre du projet ARCA. Lors de la même période, nous effectuerons des mesures similaires sur les bases de Dumont d'Urville et de Davis, en collaboration avec une équipe de chercheurs australiens. Cette collaboration entre ainsi dans le cadre de la campagne spéciale de mesure du programme international YOPP-SH du SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research), dont nous attendons d'importantes retombées. L'initiative de Niels sur le terrain, qui devrait se poursuivre en thèse, permettra de concrétiser un important effort de collaboration avec de nombreuses équipes.

Vincent Favier - IGE Institut des Géosciences de l'Environnement (Université Grenoble Alpes, CNRS) - vincent.favier@univ-grenobles-alpes.fr
Irina Gorodetskaya - CESAM Centre for Environmental and Marine Studies (University of Aveiro) - irina.gorodetskaya@ua.pt
Cécile Agosta - LSCE Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (Université Paris Saclay, CNRS) - cecile.agosta@lsce.ipsl.fr
---

Microplastiques

Introduction

La pollution en micro (0.3-1mm) et nano (<0.1mm) plastiques est un problème global qui touche tous les océans, y compris les zones les plus reculées (Cozar et al. 2014). Ainsi, des particules de plastiques ont été repérées piégées dans la glace de mer Arctique (Peeken et al. 2018) et Antarctique (Kelly et al. 2020). Encore plus inquiétant, des analyses de neige fraîche dans les Alpes et en Arctique (Bergmann et al. 2019) suggèrent la présence de micro et nano plastiques atmosphérique dans ces régions isolées.
Les effets de ces particules de plastique sont multiples, mais encore méconnus : outre leur accumulation dans les systèmes digestifs de la faune marine, ces particules transportent des additifs organiques (Campanale et al. 2020) et des microorganismes (Dussud et al. 2018) vers les différents écosystèmes marins du globe.
De nombreuses campagnes de collecte d'échantillons ont été entreprises, mais les données sont encore trop rares et souffrent d'un manque d'unité dans les protocoles, ce qui rend difficile la comparaison entre les différents jeux de données. Certaines initiatives pour harmoniser la collecte et la classification ont été proposées, ce qui permettrait une synergie plus étroite entre les différentes études réalisées (Hartmann et al. 2019).

Réalisation

Notre étude portera sur 3 milieux caractéristiques rencontrés lors de l'expédition :
[1] Eau de mer : ce sera le volet principal de l'étude. Nous collecterons régulièrement des échantillons d'eau de mer pour analyser leur contenu en microplastiques, sur l'ensemble des zones marines traversées : océans Atlantique et Austral. Les eaux côtières Antarctique seront aussi inspectées. On cherchera à voir si un changement dans la distribution en plastiques entre les eaux côtières et l'océan ouvert est notable, et si ces concentrations sont liées à des processus physiques (présences de

tourbillons, courants/front océaniques, rivières) ou biologiques (biofouling : puits pour les plastiques. voir schéma dans (Van Sebille, Spathi, and Gilbert 2016)).
[2] Sédiments Antarctique : Le microplastique a été observé dans la chaîne alimentaire Antarctique, notamment par le guano des colonies de manchots, qui est devenu une source de contamination plastique pour les sédiments au niveau des sites de nidification (Bessa et al. 2019). Au sein d'une collaboration avec Léa Cabrol et Julieta Orlando de l'université de Santiago au Chili, des échantillons de sédiments seront collectés au niveau des sites de nidification (étudiés dans le cadre du projet biologie des populations) pour en évaluer le contenu en microplastiques.
[3] Neige fraîche : Ce sera l'occasion de compléter les points d'échantillonnage de (Bergmann et al. 2019) et de savoir s'il y a, oui ou non, des microplastiques atmosphériques dans une région aussi reculée que l'Antarctique. Nous collecterons de la neige fraîche pour évaluer son contenu en microplastique.

L'identification des microplastiques collectés sera réalisée à l'aide de mesures FT-IR et SEM disponibles dans l'institut méditerranéen d'océanologie (MIO) au campus de Luminy, à Marseille. Les analyses y seront menées par Olivier Smith dans le cadre d'un stage de 6 mois au retour de l'expédition.
En parallèle, des échantillonneurs passifs seront également utilisés pour collecter les additifs présents à la surface des microplastiques marins, tout au long de la traversée. Les échantillons seront analysés principalement par Vincent Fauvelle, de l'institut méditerranéen d'océanologie.

En conclusion, il s'agit d'une étude sur les Océans Atlantique et Austral générant un large jeu de données provenant du même protocole et du même expérimentateur, ce qui rend la comparaison possible. Nous nous appuierons également sur l'aspect interdisciplinaire du projet : les données des autres projets permettront de chercher des tendances en lien avec les courants marins, la météo, la biogéochimie et la biologie du milieu étudié.
Ces études s'appuient sur des savoir-faire existants dans la littérature. Elles nous apprendront beaucoup sur le plastique atlantique et austral et permettront de sensibiliser le grand public au caractère omniprésent de la pollution plastique.

Un mot des encadrant·e·s

La pollution des milieux marins par les microplastiques est un sujet d'actualité sociétale et scientifique. En dépit du grand nombre de communications dans le domaine, il s'agit d'un domaine de recherche très jeune avec des méthodologies et routines d'analyse peu stabilisées. Nous contribuons avec nos partenaires à l'effort de standardisation des méthodes de mesure pour permettre la comparaison des résultats. L'accumulation de données standardisées permettra de dresser des cartes de la pollution existante, et de réaliser sa modélisation afin d'analyser l'impact de la pollution sur les écosystèmes et la santé humaine. Aujourd'hui, les données concernant la pollution par des microplastiques sont inégalement réparties et peu disponibles pour des larges zones maritimes. L'exploration de la mission Antarctique 2.0°C permettra de contribuer à cet effort international en échantillonnant par un protocole standardisé la pollution maritime d'un axe nord/sud de l'Océan Atlantique, dans des zones à proximité des populations humaines denses, des zones d'accumulation des plastiques et loin d'habitats humains.

Vincent Fauvelle - MIO Institut Méditerranéen d'Océanologie (Université Aix-Marseille, Université de Toulon, CNRS, IRD) - vincent.fauvelle@mio.osupytheas.fr
---

Sciences sociales

Introduction

Rares sont les expéditions de recherche scientifique qui embarquent des sociologues à leur bord. Elles constituent pourtant l'une des formes de l'activité scientifique contemporaine notamment au regard des enjeux de préservation des écosystèmes ; elles témoignent également des reconfigurations du champ scientifique vis-à-vis des logiques de financement, de médiatisation et des rapports entre sciences et sociétés (Faugère and Pascal 2011; Comby 2008). De plus, l'Antarctique apparaît comme un territoire emblématique de la recherche contemporaine à la croisée des découvertes scientifiques, des relations internationales et des politiques environnementales (Aykut and Dahan 2015; Elzinga 1993). Devenu l'un des terrains de recherche les plus emblématiques de la planète à l'aune de l'étude du changement climatique, c'est également l'un des plus menacés (Gaudin 2007b; 2007a). S'il a fait l'objet de nombreuses publications en histoire et en géopolitique, il demeure faiblement étudié du point de vue d'une approche ethnographique. L'appréhension des enjeux de préservation du milieu marin en termes de politiques publiques offre également des perspectives d'analyse et d'action particulièrement riches.

La contribution des sciences sociales au projet Antarctique 2.0°C est d'une part de prendre l'activité scientifique comme un objet d'enquête. Elle offre ainsi une occasion inédite d'analyser les logiques de production d'un savoir environnemental dans une diversité de configurations : au sein d'une mission scientifique, ainsi qu'à l'échelle d'une base en péninsule antarctique durant l'été austral. La sociologie des sciences a investi la question de l'activité scientifique en milieux polaires dans la lignée de ses travaux fondateurs sur le fonctionnement des laboratoires de recherche (Latour and Woolgar 1996; Callon and Latour 2016; Vinck 2007). Les travaux contemporains visent à éclairer l' « internationalité » de l'activité scientifique en Antarctique, qu'il s'agisse de la production et du partage des données, du financement des campagnes ou encore de la logistique de vie quotidienne sur les bases (Gingras 2002; Walton 2013; Jouvenet 2016). Ils mettent également en lumière le pouvoir d'expertise des scientifiques dans la gouvernance de l'Antarctique et vis-à-vis des politiques environnementales (O'Reilly 2017; Oppenheimer et al. 2019; Crespy and Jouvenet 2020).

Le second pan du projet de sciences sociales s'attardera sur les constructions juridiques ayant trait aux problématiques environnementales, et notamment au régime des aires marines protégées. La France et le Chili les ont développées en parallèle (Bonnin and Velut 2008) ; elles constituent un bon angle d'attaque pour questionner les conflits d'usage (Queffelec et al. 2021; Strobel and Tétart 2007), les modes comparés de gestion des milieux océaniques au regard de l'enjeu environnemental (Cicin-Sain and Belfiore 2005; CHAUMETTE et al. 2019; Charvolin 2003). Elles permettent également d'interroger la collaboration entre chercheurs et gestionnaires (Cibien 2006), l'efficacité de telles mesures (Sciberras et al. 2015) ainsi que leur durabilité (Wright et al. 2019; Jordan and Moore 2020).

Réalisation

Le projet de recherche se découpe en trois volets : [1] le premier consiste en une ethnographie de la coopération scientifique et internationale en péninsule Fildes (Ile du Roi-Georges) ; [2] le second propose une approche réflexive de l'expédition et de la pratique des sciences de terrain; [3] le troisième propose une analyse croisée des législations ayant trait à la protection du milieu marin. L'observation participante au quotidien et dans la durée sera complétée par la passation d'entretiens ainsi qu'un travail de documentation et d'archives (Beaud and Weber 2010; Hine 2007).

[1] Depuis sa signature, le traité de Washington ('Traité Sur l'Antarctique' 1959) consacre le continent aux activités scientifiques et à la coopération internationale, notamment sur les questions climatiques et environnementales (Howkins 2011; Grevsmühl 2019). La nature et la place de l'activité scientifique ont cependant connu de profondes transformations et font aujourd'hui l'objet de débats vis-à-vis de la

gouvernance de l'Antarctique. Or il existe encore peu de travaux qui les documentent par une enquête de terrain analysant les configurations concrètes à l'œuvre en Antarctique. De plus, les zones de gouvernance et les bases étudiées ont été principalement anglophones (O'Reilly 2017). La péninsule Fildes, située à la pointe Sud-ouest de l'île du Roi-Georges, offre à cet égard un terrain d'étude exceptionnel. Elle accueille en effet l'une des plus fortes concentrations de bases du milieu austral ainsi que l'un des seuls villages de l'Antarctique, Villa Las Estrellas, sous administration chilienne. La péninsule constitue par ailleurs l'une des principales zones de développement du tourisme austral (Strobel and Tétart 2007). Ce faisant, elle cristallise les principaux enjeux de gouvernance auxquels l'Antarctique est aujourd'hui confronté : la coopération scientifique internationale, l'administration politique de son territoire et les effets de l'anthropisation à l'œuvre.
Une étude ethnographique de la péninsule Fildes offre ainsi une occasion unique de documenter le réseau complexe des acteurs, des activités et des objectifs qui modèlent l'expérience du quotidien en Antarctique. L'objectif sera de documenter les dispositifs de coopération et d'échange (scientifiques, logistiques, mais aussi sociaux et informels) entre la base Escudero et ses homologues afin d'analyser les ressorts pratiques de la gouvernance à l'œuvre sur la péninsule. Il s'agira également de comprendre comment la diversité des acteurs in situ se positionne vis-à-vis des enjeux de préservation et de régulation du milieu austral dans leur expérience du quotidien en Antarctique. Ce travail permettra enfin de questionner la production d'identités territoriales et professionnelles inhérentes à la gouvernance du continent austral. Un tel axe d'étude se trouve ainsi à la croisée des perspectives d'études en relations internationales, ainsi que des travaux sociologiques centrés sur le travail scientifique.

[2] La mission Antarctique 2.0°C apparaît comme un objet hybride mettant en jeu des considérations qui sont indissociablement d'ordre scientifique, financier, politique, mais également logistique ou encore relationnel. La possibilité de suivre au plus près l'ensemble des phases du projet, de sa préparation à la publication des résultats de l'expédition, offre une occasion remarquable de documenter une expédition scientifique contemporaine (Faugère 2019; 2018). L'implication au sein des multiples dimensions du projet permet de mettre en lumière un enchevêtrement de réseaux et d'acteurs, tout en favorisant l'observation de « scènes de la vie quotidienne » en expédition. Antarctique 2.0°C apparaît par ailleurs comme une mise en acte de l'interdisciplinarité, devenue un principe structurant de la recherche contemporaine (Prud'homme and Gingras 2015). Ce faisant, elle invite à une réflexion d'ordre épistémologique et pratique sur les rapports entre sciences expérimentales et sociales, ainsi que sur leurs démarches de recherche (Passeron 1991; Kohler 2002).

[3] Les territoires traversés par l'expédition sont divers mais ont comme point commun de partager des zones océaniques. Il s'agira, au fil de l'expédition et des interlocuteurs rencontrés, de la préparation à la réalisation, de questionner la manière dont le rapport à la mer est visible au sein des diverses législations et comment ce dernier a pu évoluer au fil des dernières décennies (Bonnin and Velut 2008; Gauchon and Huissoud 2010; Jordan and Moore 2020). Rôles du monde scientifique, économique, du patrimoine culturel : on cherchera à creuser les réseaux d'acteurs à l'oeuvre dans ces territoires maritimes et à pister l'émergence des concepts juridiques contemporains qui les structurent aujourd'hui de manière plus ou moins homogène, dans les droits nationaux des États souverains et au sein des grands traités internationaux (Haute Mer et Antarctique) (Bonnin et al. 2006; Bonnin 2008).

Un mot des encadrant·e·s

Le projet de recherche présenté par Margot Legal s'inscrit dans le domaine des études sur la science (science studies). Mêlant sociologie, histoire et ethnographie, il s'annonce très prometteur, à plusieurs égards. Pour commencer, la participation de M. Legal à l'expédition "Antarctique 2.0°C" lui permet de bénéficier d'une rare opportunité d'"observation participante", au cœur d'une aventure menée au bénéfice des sciences de l'environnement. Si ces sciences ont beaucoup gagné en visibilité, ces dernières années, peu de travaux éclairent cependant encore la façon dont leurs acteurs travaillent et produisent des connaissances. Ils le font parfois en s'appuyant sur la participation de citoyens profanes,

et, à ce titre, l'analyse de l'arrimage d'un projet étudiant à ceux des professionnels de la science devrait être spécialement intéressante. Au-delà de cette association, les observations que mènera M. Legal sur l'océan et en Antarctique lui fourniront des matériaux uniques pour nourrir une sociologie des sciences "en action" et en situation qui s'annonce d'une grande originalité. Elle aura en particulier les moyens de contribuer à un courant très dynamique des science studies, portant sur les sciences "de terrain". Enfin, et plus généralement, un tel projet devrait aussi permettre à M. Legal de travailler des questions toujours centrales pour les sciences humaines et sociales, sur les façons d'analyser et de connecter des lignes d'activité se déployant dans des temporalités variées : celles des sciences de l'environnement et de leurs "lanceurs d'alertes", celle des institutions de recherche dont dépendent les bases polaires, celles des projets des chercheurs, celle de l'expédition "Antarctique 2.0°C", etc. Tout cela fait du projet de M. Legal une aventure personnelle et collective qu'il est important de soutenir, et que j'ai accepté de suivre comme encadrant.

Le projet Antarctique 2.0°C est extrêmement convaincant à de nombreux égards. Il allie une interdisciplinarité solide à un engagement scientifique et à une préoccupation citoyenne centrale. Plus encore, il attache avec force ces trois dimensions, l'interdisciplinarité étant ici garante d'un surcroît de scientificité de l'enquête, elle-même conditionnant la qualité des conséquences citoyennes et politiques qui pourront en être tirées.
J'ai été très tôt sollicité par une partie de l'équipe Antarctique 2.0°C en tant que directeur des études du département de sciences sociales. Les instigateurs du projet souhaitaient en effet adjoindre à leur équipe un.e sociologue et espéraient que je puisse les guider. C'est une des meilleures étudiantes du département qui a répondu positivement à cette demande.
Elle a élaboré un protocole de recherche ethnographique aussi ambitieux qu'enthousiasmant.
La combinaison interdisciplinaire s'en trouve renforcée car le projet sociologique ne se situe pas en surplomb du déroulement de l'expédition, mais ne se trouve pas non plus dilué dans le projet : il est littéralement ancré et encapsulé dans l'ensemble du projet.

Cédric Moreau de Bellaing - LIER-FYT Laboratoire Interdisciplinaire d'Etudes sur les Réflexivités - Fonds Yan Thomas (EHESS) / ENS - cedric.moreau.de.bellaing@ens.fr
Morgan Jouvenet - PRINTEMPS Profession, Institutions, Temporalités (UVSQ,CNRS) - morgan.jouvenet@uvsq.fr
---

Biologie des populations

Introduction

L'Antarctique est un écosystème particulier de par les conditions climatiques qui y règnent. La faune qui parvient à s'y développer est particulièrement adaptée à ces conditions rendant les espèces locales très sensibles aux variations de ces conditions. Le réchauffement climatique génère de nombreuses pressions sur les populations locales de manchots. L'une d'elles résulte de la modification de leurs habitats de reproduction. Si les stocks des ressources alimentaires des manchots sont théoriquement suivis, le terrain des habitats de reproduction constitue un enjeu tout aussi important pour le succès reproducteur des manchots.

Objectif : Anticiper les risques liés au réchauffement climatique sur le devenir des populations de manchots.

En région australe, les sites de nidification des manchots sont limités par les caractéristiques topographiques du terrain et par la compétition intra et interspécifiques. Les changements climatiques

modifient l'espace disponible pour les colonies reproductrices. A titre d'exemple, il est fréquent de retrouver des colonies de reproduction sur les plages et en bordure de côtes. La hausse du niveau de la mer que nous connaissons actuellement (Frederikse et al. 2020) pourrait donc entraîner une perte des sites propices à la nidification des manchots, les contraignant ainsi à migrer. Ces flux migratoires engendrent une réorganisation du partage du territoire entre les manchots d'une même espèce ou de différentes espèces, entraînant de nouvelles pressions de sélection. De tels événements sont déjà remarquables, on observe aujourd'hui des mouvements de populations de manchots papous vers la Péninsule antarctique en réponse au réchauffement climatique.

Réalisation

Notre objectif est de réaliser pour la première fois une analyse spatiale de l'habitat de reproduction des populations de manchots au regard du niveau de la mer actuel. Cette analyse permettra de mieux anticiper quelles seront les conséquences de l'élévation du niveau de la mer projetée par les scientifiques (Frederikse et al. 2020). A l'aide de drones munis de LiDAR, GPS-RTK et photogrammétrie, nous chercherons à localiser et cartographier précisément des colonies de manchots d'espèces différentes (Shah et al. 2020): nous évaluerons la surface 3D occupée par les colonies, la topographie de l'espace de nidification, les limites des marées (haute/basse), … Le survol des colonies par les drones se feront à une hauteur minimale de 50 mètres pour limiter la perturbation des colonies (Rümmler et al. 2018).
Ces données seront comparées aux données satellitaires pour les sites cartographiés. Une fois calibrées, nous avons pour ambition de généraliser notre analyse à l'ensemble de la Péninsule.

Un mot des encadrant·e·s

En Antarctique, le réchauffement climatique génère de nombreuses pressions sur les populations locales de manchots. L'une d'elles résulte de la modification des leurs habitats de reproduction.
Bien que l'élévation du niveau de la mer est une des évidences du changement climatique qui n'est plus à prouver, jusqu'ici les conséquences de cette élévation sur les sites de reproduction des manchots n'ont pas encore été étudiées. Pourtant, nombreuses sont les colonies qui s'établissent sur les côtes du continent blanc et des îles australes.
L'étude menée lors du projet "Antarctique 2.0°C" sera donc la première à s'intéresser à la perte de l'habitat de reproduction des populations animales antarctiques dû à l'élévation du niveau de la mer. Des moyens innovants, tels que l'utilisation de LiDAR embarqués, permettront l'analyse fine de la localisation et de la topographie de colonies de différentes espèces de manchots des sites visités. Ces analyses permettront d'anticiper les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sur la perte d'habitat de reproduction chez ces espèces, et d'en évaluer les impacts sur le succès reproducteur, la dynamique des populations, et les capacités de ces populations à s'adapter au travers de mécanismes de dispersion et de colonisation de nouveaux sites disponibles, par exemple.
En intégrant ces données dans des modèles globaux (à l'échelle de la Péninsule antarctique dans un premier temps, puis de l'Antarctique dans un second), cette étude permettra de mettre en perspective les pressions de sélection susceptibles d'impacter les populations de manchots antarctiques et de projeter leurs risques d'extinction dans le contexte des futurs changements climatiques attendus.

Céline Le Bohec - Centre Scientifique de Monaco, IPHC Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (Université de Strasbourg, CNRS) - celine.lebohec@iphc.cnrs.fr
Daniel Zitterbart - WHOI Woods Hole Oceanographic Institution - dzitterbart@whoi.edu
---

Laboratoires partenaires

Les chercheurs/ses avec qui nous travaillons à l'élaboration des projets scientifiques, de protocoles expérimentaux, et qui nous aident à la conception de l'aménagement scientifique du bateau ne sont pas tous mentionnés dans les descriptifs précédents mais sont issus des laboratoires suivants.

Bibliographie

Aykut, Stefan C., and Amy Dahan. 2015. *Gouverner Le Climat ? 20 Ans de Relations Internationales*. Paris: Presses de Sciences Po. http://www.library.yorku.ca/e/resolver/id/2776880.

Beaud, Stéphane, and Florence Weber. 2010. *Guide de l'enquête de Terrain. Produire et Analyser Des Données Ethnographiques*. Paris: La Découverte.

Bergmann, Melanie, Sophia Mützel, Sebastian Primpke, Mine B. Tekman, Jürg Trachsel, and Gunnar Gerdts. 2019. 'White and Wonderful? Microplastics Prevail in Snow from the Alps to the Arctic'. *Science Advances* 5 (8): eaax1157. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157.

Bessa, Filipa, Norman Ratcliffe, Vanessa Otero, Paula Sobral, João C. Marques, Claire M. Waluda, Phil N. Trathan, and José C. Xavier. 2019. 'Microplastics in Gentoo Penguins from the Antarctic Region'. *Scientific Reports* 9 (1): 14191. https://doi.org/10.1038/s41598-019-50621-2.

Bonnin, Marie. 2008. 'Prospective Juridique Sur La Connectivité Écologique'. In *Biodiversité et Évolution Du Droit de La Protection de La Nature : Réflexion Prospective*, 167–74. Revue Juridique de l'Environnement.

Bonnin, Marie, Catherine Aubertin, Florence Pinton, and Estienne Rodary. 2006. 'Quelle Place Pour Les Aires Protégées Dans Les Réseaux Écologiques ?' In *Les Aires Protégées, Zones d'expérimentation Du Développement Durable*.

Bonnin, Marie, and Sébastien Velut. 2008. 'La Contribución Del Concepto de Reserva de La Biosfera al Desarrollo Sustentable. Un Enfoque Comparado Francia-Chile'. In , 167–84.

Boyd, Philip W., and Matthieu Bressac. 2017. 'Developing a Test-Bed for Robust Research Governance of Geoengineering: The Contribution of Ocean Iron Biogeochemistry (Vol 374, 20150299, 2016)'. *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY A-MATHEMATICAL PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES* 375 (2088).

Boyd, Philip W., Hervé Claustre, Marina Levy, David A. Siegel, and Thomas Weber. 2019. 'Multi-Faceted Particle Pumps Drive Carbon Sequestration in the Ocean'. *Nature* 568 (7752): 327–35. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1098-2.

Bromwich, David H., Kirstin Werner, Barbara Casati, Jordan G. Powers, Irina V. Gorodetskaya, François Massonnet, Vito Vitale, et al. 2020. 'The Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere (YOPP-SH)'. *Bulletin of the American Meteorological Society* 101 (10): E1653–76. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0255.1.

Callon, Michel, and Bruno Latour, eds. 2016. *La Science Telle Qu'elle Se Fait. Anthologie de La Sociologie Des Sciences de Langue Anglaise*. Paris: La Découverte.

Campanale, Claudia, Carmine Massarelli, Ilaria Savino, Vito Locaputo, and Vito Felice Uricchio. 2020. 'A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health'. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (4): 1212. https://doi.org/10.3390/ijerph17041212.

Charvolin, Florian. 2003. *L'invention de l'environnement en France - Chroniques anthropologiques d'une institutionnalisation*. Éditions la découverte. Textes à l'appui / Anthropologie des sciences et des techniques. https://www.editionsladecouverte.fr/l_invention_de_l_environnement_en_france-9782707140463.

CHAUMETTE, (Coord.), Marta Abegón, Anais Bereni, Marie Bonnin, Valérie Boré-Eveno, Simone BORG, Elena Galán, et al. 2019. *Transforming the Ocean Law by Requirement of the Marine Environment Conservation -*.

Cibien, Catherine. 2006. 'Les réserves de biosphère : des lieux de collaboration entre chercheurs et gestionnaires en faveur de la biodiversité'. *Natures Sciences Societes* Vol. 14 (1): 84–90.

Cicin-Sain, Biliana, and Stefano Belfiore. 2005. 'Linking Marine Protected Areas to Integrated Coastal and Ocean Management: A Review of Theory and Practice'. *Ocean & Coastal Management*, Integrated MPA Management with Coastal and Ocean Governance: Principles and Practices, 48 (11): 847–68. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.01.001.

Comby, Jean-Baptiste. 2008. 'Créer Un Climat

Favorable. Les Enjeux Liés Aux Changements Climatiques : Valorisation Publique, Médiatisation et Appropriations Au Quotidien'. Thèse, Paris: Paris 2 Panthéon-Assas. http://www.theses.fr/2008PA020086.

Cozar, A., F. Echevarria, J. I. Gonzalez-Gordillo, X. Irigoien, B. Ubeda, S. Hernandez-Leon, A. T. Palma, et al. 2014. 'Plastic Debris in the Open Ocean'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (28): 10239–44. https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111.

Crespy, Cécile, and Morgan Jouvenet. 2020. 'Politique de Recherche Nationale et Risque Environnemental Global. L'action de La DGRST Pour Les Sciences de La Stratosphère Face à La « crise de l'ozone » (1976-1981)'. *Revue Française de Sociologie* 61 (1): 17–42. https://doi.org/10.3917/rfs.611.0017.

Creveld, Shiri Graff van, Shilo Rosenwasser, Yishai Levin, and Assaf Vardi. 2016. 'Chronic Iron Limitation Confers Transient Resistance to Oxidative Stress in Marine Diatoms'. *Plant Physiology* 172 (2): 968–79. https://doi.org/10.1104/pp.16.00840.

Dussud, Claire, Cindy Hudec, Matthieu George, Pascale Fabre, Perry Higgs, Stéphane Bruzaud, Anne-Marie Delort, et al. 2018. 'Colonization of Non-Biodegradable and Biodegradable Plastics by Marine Microorganisms'. *Frontiers in Microbiology* 9 (July): 1571. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01571.

Elzinga, Aant. 1993. 'Antarctica: The Construction of a Continent by and for Science'. In *Denationalizing Science. The Contexts of International Scientific Practice*, edited by Elisabeth Crawford, Terry Shinn, and Sverker Sörlin, 73–106. Dordrecht: Springer.

Faugère, Elsa. 2018. 'Le Mécénat Dans l'exploration Contemporaine de La Biodiversité : Approche Anthropologique'. In *Les Sciences Humaines et Sociales Dans Le Pacifique Sud. Terrains, Questions et Méthodes*, edited by Laurent Dousset, Barbara Glowczewski, and Marie Salaün, 313–29. Marseille: pacific-credo Publications. http://books.openedition.org/pacific/503.

———. 2019. *Le Making-of Des Grandes Expéditions. Anthropologie Des Sciences de Terrain*. Marseille: La Discussion.

Faugère, Elsa, and Olivier Pascal. 2011. 'La Fabrique de l'information. Le Cas Des Grandes Expéditions Naturalistes Contemporaines'. *Quaderni*, no. 76: 39–51. https://doi.org/10.4000/quaderni.101.

Frederikse, Thomas, Felix Landerer, Lambert Caron, Surendra Adhikari, David Parkes, Vincent W. Humphrey, Sönke Dangendorf, et al. 2020. 'The Causes of Sea-Level Rise since 1900'. *Nature* 584 (7821): 393–97. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3.

Gauchon, Pascal, and Jean-Marc Huissoud. 2010. 'Les espaces qu'organise la puissance'. *Que sais-je?* 3e éd. (3830): 24–49.

Gaudin, Christian. 2007a. '"Les Pôles, Témoins Pour Les Hommes". Ouverture de l'année Polaire Internationale'. Paris: Assemblée nationale : Sénat.

———. 2007b. 'Rapport Sur La Place de La France Dans Les Enjeux Internationaux de La Recherche En Milieu Polaire: Le Cas de l'Antarctique. Les Pôles, Témoins Pour Les Hommes, Ouverture de l'année Polaire Internationale : Actes Du Colloque Du 1er Mars 2007'. Paris: Assemblée nationale : Sénat.

Gingras, Yves. 2002. 'Les Formes Spécifiques de l'internationalité Du Champ Scientifique'. *Actes de La Recherche En Sciences Sociales* 141–142 (1): 31–45. https://doi.org/10.3917/arss.141.0031.

Gledhill, Martha, and Kristen N. Buck. 2012. 'The Organic Complexation of Iron in the Marine Environment: A Review'. *Frontiers in Microbiology* 3. https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00069.

Gorodetskaya, Irina V., Maria Tsukernik, Kim Claes, Martin F. Ralph, William D. Neff, and Nicole P. M. Van Lipzig. 2014. 'The Role of Atmospheric Rivers in Anomalous Snow Accumulation in East Antarctica'. *Geophysical Research Letters* 41 (17): 6199–6206. https://doi.org/10.1002/2014GL060881.

Grevsmühl, Sebastian. 2019. 'Laboratory Metaphors in Antarctic History: From Nature to Space'. In *Ice and Snow in the Cold War: Histories of Extreme Climatic Environments*, edited by Julia Herzberg, Christian Kehrt, and Franziska Torma, 211–35. New York: Berghahn Books.

Hartmann, Nanna B., Thorsten Hüffer, Richard

C. Thompson, Martin Hassellöv, Anja Verschoor, Anders E. Daugaard, Sinja Rist, et al. 2019. 'Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris'. *Environmental Science & Technology* 53 (3): 1039–47. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297.

Hine, Christine. 2007. 'Multi-Sited Ethnography as a Middle Range Methodology for Contemporary STS'. *Science, Technology, & Human Values* 32 (6): 652–71. https://doi.org/10.1177/0162243907303598.

Hopkinson, Brian M., and Katherine A. Barbeau. 2012. 'Iron Transporters in Marine Prokaryotic Genomes and Metagenomes'. *Environmental Microbiology* 14 (1): 114–28. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02539.x.

Howkins, Adrian. 2011. 'Melting Empires? Climate Change and Politics in Antarctica since the International Geophysical Year'. *Osiris* 26 (1): 180–97. https://doi.org/10.1086/661271.

Jordan, Andrew J., and Brendan Moore. 2020. *Durable by Design?: Policy Feedback in a Changing Climate*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108779869.

Jouvenet, Morgan. 2016. 'Des Pôles Aux Laboratoires : Les Échelles de La Coopération Internationale En Paléoclimatologie (1955-2015)'. *Revue Française de Sociologie* 57 (3): 563–90. https://doi.org/10.3917/rfs.573.0563.

Kelly, A., D. Lannuzel, T. Rodemann, K.M. Meiners, and H.J. Auman. 2020. 'Microplastic Contamination in East Antarctic Sea Ice'. *Marine Pollution Bulletin* 154 (May): 111130. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111130.

Kohler, Robert E. 2002. *Landscapes & Labscapes: Exploring the Lab-Field Border in Biology*. Chicago: University of Chicago Press.

Latour, Bruno, and Steve Woolgar. 1996. *La Vie de Laboratoire. La Production Des Faits Scientifiques*. Paris: La Découverte.

Le Quéré, Corinne, Robbie M. Andrew, Pierre Friedlingstein, Stephen Sitch, Judith Hauck, Julia Pongratz, Penelope A. Pickers, et al. 2018. 'Global Carbon Budget 2018'. *Earth System Science Data* 10 (4): 2141–94. https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018.

Marchetti, Adrian, and Maria T. Maldonado. 2016. 'Iron'. In *The Physiology of Microalgae*, edited by Michael A. Borowitzka, John Beardall, and John A. Raven, 233–79. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24945-2_11.

Marchetti, Adrian, David M. Schruth, Colleen A. Durkin, Micaela S. Parker, Robin B. Kodner, Chris T. Berthiaume, Rhonda Morales, Andrew E. Allen, and E. Virginia Armbrust. 2012. 'Comparative Metatranscriptomics Identifies Molecular Bases for the Physiological Responses of Phytoplankton to Varying Iron Availability'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (6): E317–25. https://doi.org/10.1073/pnas.1118408109.

Meredith, M, M sommerkorn, S cassotta, and c derksen. 2019. 'Chapter 3: Polar Regions — Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate'. https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-3-2/.

Morel, François MM, and N. M. Price. 2003. 'The Biogeochemical Cycles of Trace Metals in the Oceans'. *Science* 300 (5621): 944–47.

Oppenheimer, Michael, Naomi Oreskes, Dale Jamieson, Keynyn Brysse, Jessica O'Reilly, Matthew Shindell, and Milena Wazeck. 2019. *Discerning Experts: The Practices of Scientific Assessment for Environmental Policy*. Chicago & London: University of Chicago Press.

O'Reilly, Jessica. 2017. *The Technocratic Antarctic: An Ethnography of Scientific Expertise and Environmental Governance*. Ithaca: Cornell University Press.

Passeron, Jean-Claude. 1991. *Le Raisonnement Sociologique. L'espace Non-Poppérien Du Raisonnement Naturel*. Paris: Nathan.

Passow, Uta, and Craig A. Carlson. 2012. 'The Biological Pump in a High CO2 World'. *Marine Ecology Progress Series* 470 (December): 249–71. https://doi.org/10.3354/meps09985.

Peeken, Ilka, Sebastian Primpke, Birte Beyer, Julia Gütermann, Christian Katlein, Thomas Krumpen, Melanie Bergmann, Laura Hehemann, and Gunnar Gerdts. 2018. 'Arctic Sea Ice Is an Important Temporal Sink and Means of Transport

for Microplastic'. *Nature Communications* 9 (1): 1505. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5.

Prud'homme, Julien, and Yves Gingras. 2015. 'Les Collaborations Interdisciplinaires : Raisons et Obstacles'. *Actes de La Recherche En Sciences Sociales* 210 (5): 40–49.

Queffelec, Betty, Marie Bonnin, Beatrice Ferreira, Sophie Bertrand, Solange Silva, Fatou Diouf, Brice Trouillet, et al. 2021. 'Marine Spatial Planning and the Risk of Ocean Grabbing in the Tropical Atlantic'. *ICES Journal of Marine Science*, February. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab006.

Rignot, Eric, Jérémie Mouginot, Bernd Scheuchl, Michiel van den Broeke, Melchior J. van Wessem, and Mathieu Morlighem. 2019. 'Four Decades of Antarctic Ice Sheet Mass Balance from 1979–2017'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (4): 1095–1103. https://doi.org/10.1073/pnas.1812883116.

Rümmler, Marie-Charlott, Osama Mustafa, Jakob Maercker, Hans-Ulrich Peter, and Jan Esefeld. 2018. 'Sensitivity of Adélie and Gentoo Penguins to Various Flight Activities of a Micro UAV'. *Polar Biology* 41 (12): 2481–93. https://doi.org/10.1007/s00300-018-2385-3.

Sciberras, Marija, Stuart R. Jenkins, Rebecca Mant, Michel J. Kaiser, Stephen J. Hawkins, and Andrew S. Pullin. 2015. 'Evaluating the Relative Conservation Value of Fully and Partially Protected Marine Areas'. *Fish and Fisheries* 16 (1): 58–77. https://doi.org/10.1111/faf.12044.

Seymour, Justin R., Shady A. Amin, Jean-Baptiste Raina, and Roman Stocker. 2017. 'Zooming in on the Phycosphere: The Ecological Interface for Phytoplankton–Bacteria Relationships'. *Nature Microbiology* 2 (7): 1–12.

Shah, Kunal, Grant Ballard, Annie Schmidt, and Mac Schwager. 2020. 'Multidrone Aerial Surveys of Penguin Colonies in Antarctica'. *Science Robotics* 5 (47). https://doi.org/10.1126/scirobotics.abc3000.

Shi, Yanmei, Gene W. Tyson, and Edward F. DeLong. 2009. 'Metatranscriptomics Reveals Unique Microbial Small RNAs in the Ocean's Water Column'. *Nature* 459 (7244): 266–69. https://doi.org/10.1038/nature08055.

Strobel, Mathias, and Frank Tétart. 2007. 'Le Tourisme En Antarctique : Un Enjeu Géopolitique ?' *Hérodote* 127 (4): 167–77. https://doi.org/10.3917/her.127.0167.

Strzepek, Robert F., Maria T. Maldonado, Keith A. Hunter, Russell D. Frew, and Philip W. Boyd. 2011. 'Adaptive Strategies by Southern Ocean Phytoplankton to Lessen Iron Limitation: Uptake of Organically Complexed Iron and Reduced Cellular Iron Requirements'. *Limnology and Oceanography* 56 (6): 1983–2002.

Sunda, William. 2012. 'Feedback Interactions between Trace Metal Nutrients and Phytoplankton in the Ocean'. *Frontiers in Microbiology* 3. https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00204.

'Traité Sur l'Antarctique'. 1959. Washington D.C.: Conférence de l'Antarctique.

Van Sebille, Erik, Charikleia Spathi, and Alyssa Gilbert. 2016. 'The Ocean Plastic Pollution Challenge: Towards Solutions in the UK'. *Grant. Brief. Pap* 19: 1–16.

Vinck, Dominique. 2007. 'Retour Sur Le Laboratoire Comme Espace de Production de Connaissances'. *Revue d'anthropologie Des Connaissances* 1 (2): 159–65.

Walton, David W. H., ed. 2013. *Antarctica: Global Science from a Frozen Continent*. Cambridge: Cambridge University Press.

Wille, Jonathan D., Vincent Favier, Ambroise Dufour, Irina V. Gorodetskaya, John Turner, Cécile Agosta, and Francis Codron. 2019. 'West Antarctic Surface Melt Triggered by Atmospheric Rivers'. *Nature Geoscience* 12 (11): 911–16. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0460-1.

Wille, Jonathan D., Vincent Favier, Nicolas C. Jourdain, Christoph Kittel, Xavier Fettweis, Charles Amory, Irina V. Gorodetskaya, Cécile Agosta, and Francis Codron. 2020. 'The Atmospheric River Threat to Antarctic Peninsula Ice-Shelf Collapse'. *Nature Geoscience*.

Wright, Glen, Klaudija Cremers, Julien Rochette, Nichola Clark, Harriet Harden-Davies, and Guillermo Ortuño Crespo. 2019. 'High Hopes for the High Seas: Beyond the Package Deal towards an Ambitious Treaty', August, 8.