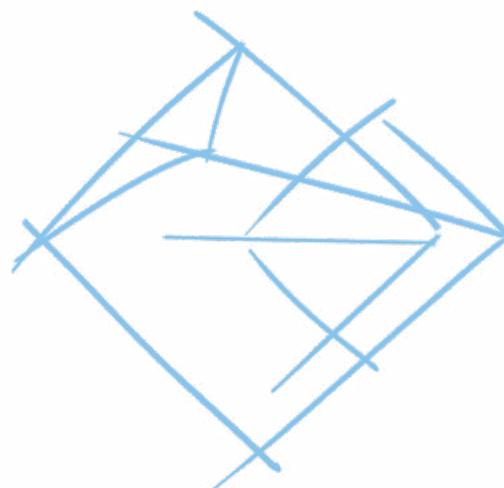




INSTITUT
POLAIRE
FRANÇAIS
PAUL-ÉMILE VICTOR

Rapport d'activité
CAMPAGNE D'ÉTÉ

2019
2020



DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

JÉRÔME CHAPPELLAZ
Directeur de l'Institut polaire français

COORDINATION

AUDE SONNEVILLE
Département communication et médiation scientifique de l'Institut polaire français

CRÉATION GRAPHIQUE

PASCAL BUSTO
 Gévodan, animal créatif, www.gevodan.com

ISBN 2-910180-85-9

INSTITUT POLAIRE FRANÇAIS PAUL-ÉMILE VICTOR

Technopôle Brest-Iroise CS 60 075
29280 Plouzané • France

www.institut-polaire.fr
Tel. +33 (0)2 98 05 65 00

© photos :

Virgil Decourteille : Couverture, p. 3, 8, 52, 54, 55, 59, 70, 93, 95, 96, 98, 100, 107
Sébastien Chastanet : p. 4, 9, 18, 55, 91, 106, 120, 122
Gregory Tran : p. 9, 10, 11, 46, 51, 72, 73, 74, 75, 79, 80, 83, 84, 87, 89
Yann L'Herrou : p. 12, 66, 69
Gaëlle Sellin : p. 13
Patrice Godon : p. 13
Fabien Arnaud : p. 14, 25
David Gallien : p. 15
Baptiste Camus : p. 15
Charline Guynemer : p. 17, 33
Jostein Bakke : p. 20, 21, 23
Charline Giguët : p. 24
Eivind Støren : p. 25, 28
Art Verhage : p. 29
Ludovic Ravanael : p. 30
Joel Savarino : p. 34, 45
Andrea Spolaor : p. 35
Graziano LaroCCA : p. 37
Sandrine Galipot : p. 65
Rodolphe Merceron : p. 90
Cyprien Griot : p. 94, 113
Mervyn Ravitchandirane : p. 68, 98, 102, 103, 107, 110
Pierre Parenthoine : p. 101, 120
Lucie Maignan : p. 105, 109, 114, 117.

© illustrations :

Pascal Busto. www.gevodan.com





Une année contrastée de joie et de difficultés

ÉDITO

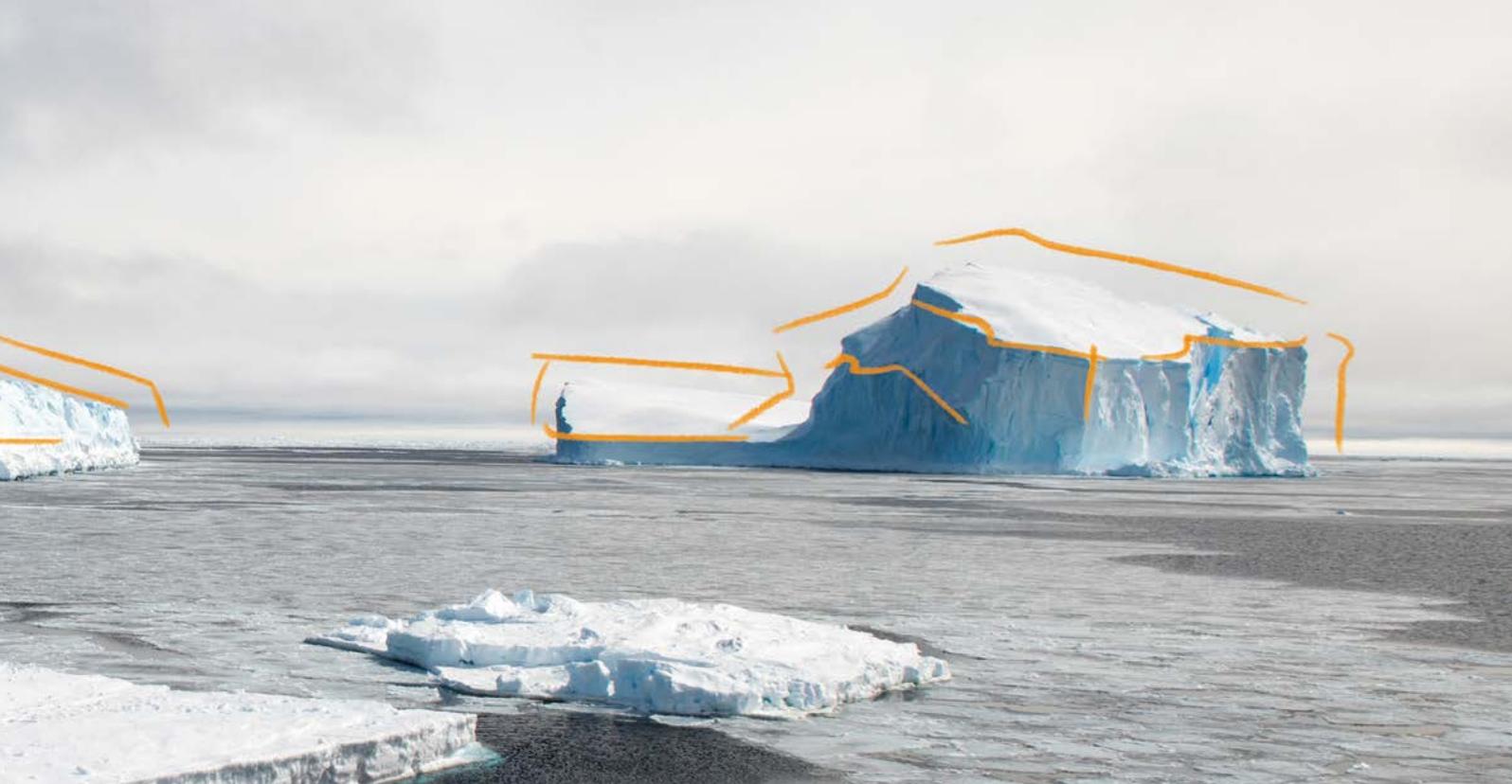
Le temps est venu de présenter le nouveau rapport d'activité de l'Institut polaire français, couvrant l'année civile 2019 ainsi que la campagne d'été austral 2019-2020. Avec un bilan contrasté, fait de joies et de déboires.

Auteur

Jérôme CHAPPELLAZ
Directeur

Commençons par les joies, celles que l'histoire de l'Institut retiendra car la mémoire possède heureusement la sélection heureuse. Honneur aux projets de recherche, raison d'être de l'Institut qui les soutient. Parmi les 74 projets et 108 campagnes de terrain mis en place sur les différents districts arctiques, subantarctiques et antarctiques, cet exercice se caractérisait par l'implémentation de trois d'entre eux dans l'hémisphère sud sortant largement du dimensionnement habituel : dans le domaine subantarctique, il s'agissait du projet franco-norvégien PALAS 2 visant à carotter les sédiments de plusieurs lacs très difficiles d'accès, localisés dans le secteur ouest des îles Kerguelen ; en Antarctique, la glaciologie était à l'honneur avec d'une part la mise en place d'un camp de carottage sur le site de Little Dome C (situé à environ 40 km de la station Concordia) au bénéfice du nouveau projet européen Beyond EPICA, et d'autre part le raid scientifique EAIIST dans le secteur inexploré séparant Concordia du Pôle Sud.

Dans les trois cas, le succès fut total. L'équipe PALAS 2 parvenait à extraire un total de 127 m de carottes lacustres, obtenues sur 6 lacs différents et 14 sites de carottage. Leurs analyses fourniront un regard exceptionnel sur l'évolution climatique et environnementale de ce secteur très peu documenté de la planète. Pour Beyond EPICA, les éléments principaux du camp ont pu être installés, défi logistique considérable car il faudra être en mesure d'y faire vivre une équipe d'une quinzaine de personnes en autonomie totale sur près de 60 jours consécutifs chaque saison et sur un enchaînement de 5 campagnes d'été. Enfin le raid EAIIST a poursuivi de la meilleure façon qui soit le renouement avec les grands raids scientifiques d'exploration, pour lesquels l'Institut polaire s'est équipé au début des années 2010. Quatrième du genre pour l'Institut, il a permis de parcourir plus de 1300 km en territoires inconnus, au centre du plateau antarctique constitué notamment de mégadunes et de surfaces « vitrées ». Parmi les nombreux travaux conduits sur le terrain, près de 1000 m cumulés de carottes de neige et de glace ont été collectés, qui permettront de mieux comprendre l'origine de ces structures uniques sur Terre mais aussi de quantifier la contribution de ce large secteur antarctique à l'évolution globale du niveau des mers. Aussi bien pour PALAS 2 que pour EAIIST, le rapport d'activité 2019-2020 comprend un focus scientifique détaillé, rédigé par leurs coordinateurs scientifiques dès leur retour du terrain et je les en remercie vivement.



Les réjouissances de ce dernier exercice, c'est aussi d'avoir pu amener la ministre chargée de la recherche, Frédérique Vidal, ainsi que le PDG du CNRS, Antoine Petit, découvrir le mythique continent blanc et une partie de nos infrastructures. Une première pour un ministre en fonction comme pour le patron du navire-amiral de la recherche française. Un plan d'action a été discuté à cette occasion, au bénéfice de la recherche, des infrastructures et de la logistique nationale aux pôles. J'espère que les mois qui viennent en verront la concrétisation car le sous-dimensionnement actuel de l'Institut en personnels pèse en particulier sur les ambitions françaises.

2019, ce fut aussi une année d'initiatives internes et externes : mise en place d'une « Gestion prévisionnelle des emplois et des compétences » et d'un diagnostic du fonctionnement de l'Institut, création d'un département à l'innovation ayant permis d'initier de nombreux contacts industriels mais aussi de lancer le « Bilan carbone© » de l'Institut (une première pour un opérateur polaire), application de la nouvelle charte graphique et création de nouveaux films institutionnels, alimentation et gestion de la plateforme d'archives nationales Archipôles, mise en place d'un comité scientifique bilatéral pour Concordia ainsi que d'un comité managérial tripartite avec l'Agence Spatiale Européenne, organisation à Brest de l'assemblée générale de l'European Polar Board, pour ne citer que quelques exemples.

Les déboires, ce fut principalement l'avarie du navire L'Astrolabe, découverte par son armateur – la Marine nationale - mi-novembre 2019 alors qu'il allait quitter Hobart en Tasmanie pour assurer sa première mission de soutien à notre logistique antarctique. Tandis que le navire prenait finalement la direction d'un chantier australien pour

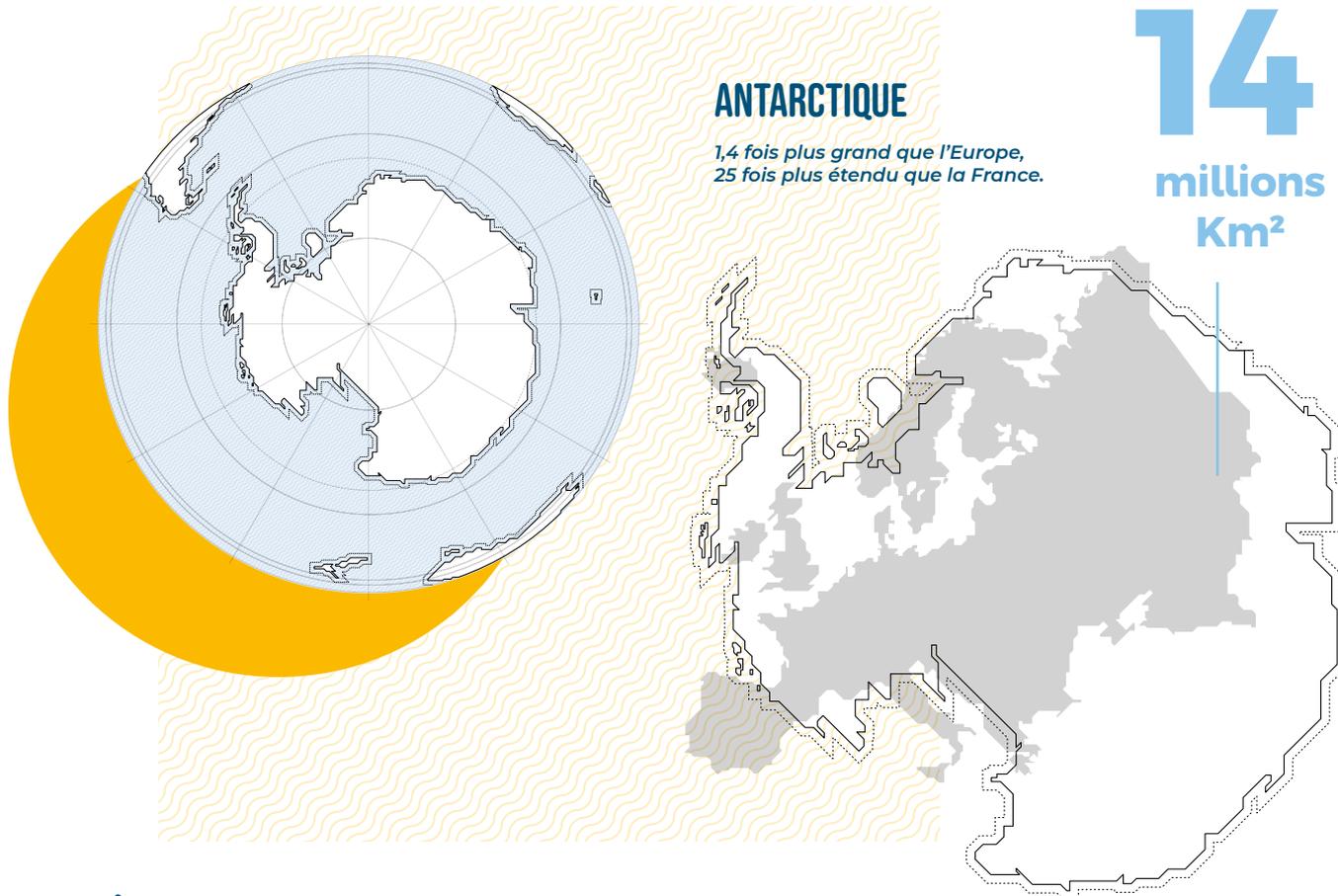
réparation, l'Institut polaire a dû aux Australiens de sauver la campagne et nos deux stations antarctiques par la même occasion : nos homologues de l'Australian Antarctic Division acceptaient en effet au pied levé de mettre à disposition leur propre brise-glace pour assurer le ravitaillement, impactant leur campagne d'une quinzaine de jours. Formidable solidarité entre opérateurs polaires ! Nous devons également aux talents de nos équipes opérationnelles le fait que les dommages collatéraux de cette mésaventure technique soient les plus limités possibles : réorganisation en quelques heures de plusieurs centaines de tonnes de fret, changement immédiat des acheminements des personnels, organisation de trois rotations-éclair de L'Astrolabe en deuxième moitié de saison une fois le navire réparé... Mais la solidarité internationale et le talent de nos agents n'ont pas suffi. Dans ce contexte exceptionnel, l'Institut polaire a eu heureusement son lot de chance grâce à des conditions météorologiques et de glace de mer exceptionnellement bonnes lors des escales à Dumont d'Urville. Il ne faudra évidemment pas compter dessus chaque année.

En juin 2021, la France présidera à Paris la réunion annuelle du Traité sur l'Antarctique, 32 ans après la dernière fois.

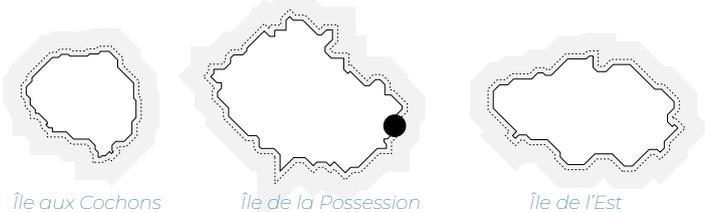
J'émet le vœu qu'avec cette perspective géopolitique, nous saurons collectivement insuffler une nouvelle dynamique nationale au bénéfice de la recherche en milieux polaires.

La lecture des pages qui suivent devraient aider tout lecteur à se convaincre d'une telle nécessité car notre nation n'a pas à rougir des travaux qu'elle y conduit.

En l'état, la France « puissance polaire », selon les termes de l'ancien ministre Hervé Gaymard, ne le demeurera pas sans engagements forts et dans la durée actés par nos décideurs.



ÎLES SUBANTARCTIQUES
ARCHIPEL DE CROZET

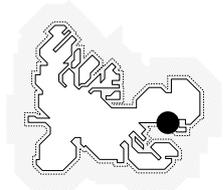


Base Alfred Faure

46°25'S - 51°51'E
934 m d'altitude (Pic du Mascarin)
1er hivernage en 1962
Environ 25 hivernants
et jusqu'à 50 personnes en été



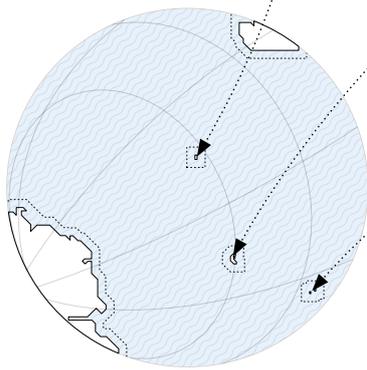
ARCHIPEL DE KERQUELEN



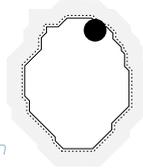
Station de Port-aux-Français

48°27' - 50°00' S, 60°27' - 70°35' E
1800 m d'altitude (Mont Ross)
1er hivernage en 1949
Environ 50 hivernants
et jusqu'à 100 personnes l'été

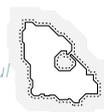
ÎLES AMSTERDAM ET SAINT PAUL



Île Amsterdam



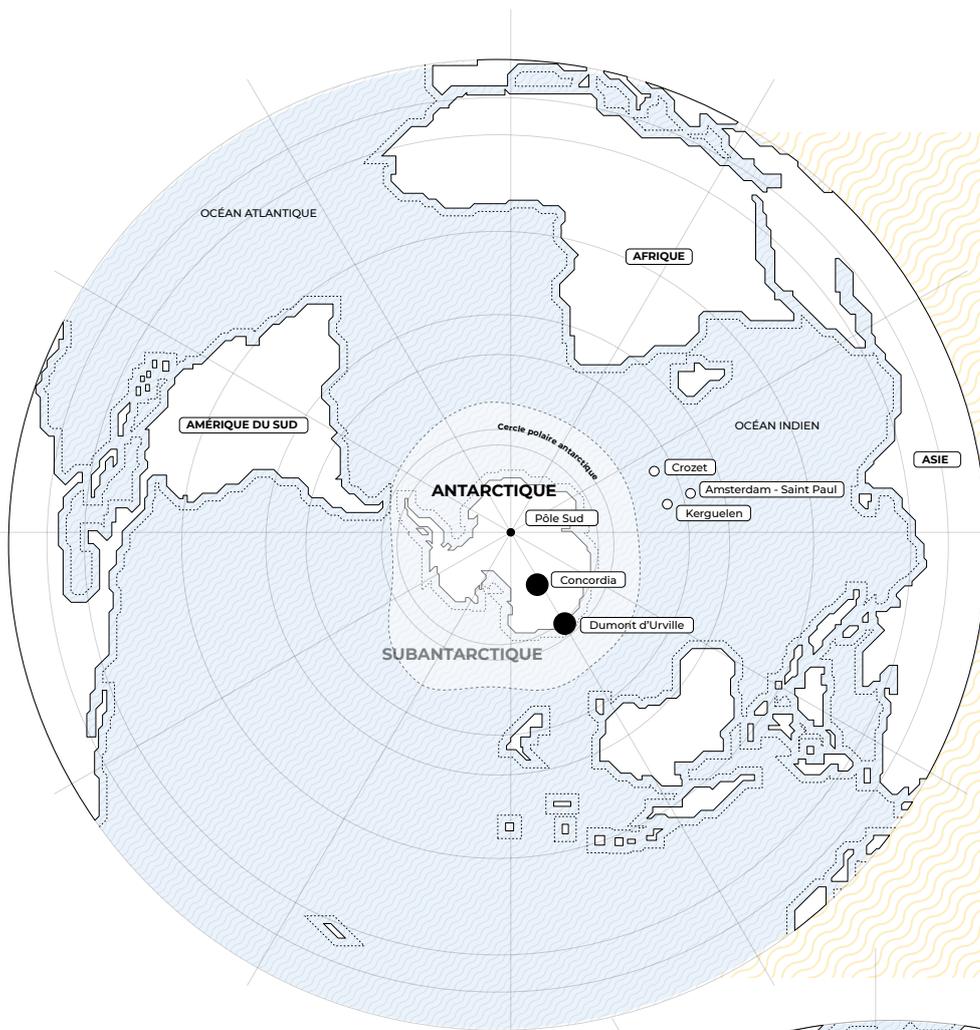
Île Saint Paul



Base Martin-de-Viviès

37°50'S - 77°32'
881 m d'altitude (Mont de la Dives)
1er hivernage en 1950
Environ 25 hivernants
et jusqu'à 50 personnes en été





ANTARCTIQUE SUBANTARCTIQUE

Station Concordia

75°06'S - 123°21'E
3200 m d'altitude
1^{er} hivernage en 2005
12 à 15 hivernants
et de 50 à 70 personnes en été

Station Dumont d'Urville et la station annexe de Cap Prud'homme

66°40'S - 140°01'E
20 m d'altitude
1^{er} hivernage en 1952
25 à 35 hivernants
et jusqu'à 100 personnes en été

ARCTIQUE

Station arctique AWIPEV

Position (79°11' - 12°E)
Températures moyennes
en été : + 4°C
en hiver : - 12°C



SOMMAIRE



10

UNE ANNÉE SUR LE TERRAIN

- P. 11 LOGISTIQUE ARCTIQUE
- P. 12 LOGISTIQUE ANTARCTIQUE
- P. 14 LOGISTIQUE
SUBANTARCTIQUE



52

INFORMATIONS GÉNÉRALES

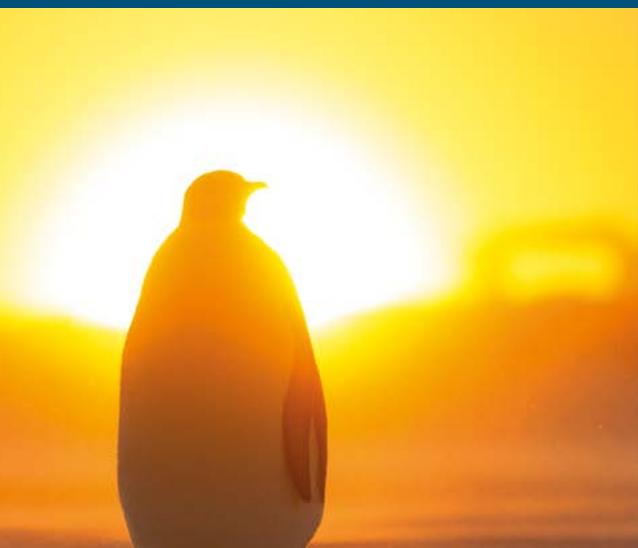
- P. 54 LES MISSIONS DU GIP
- P. 55 GPEC
- P. 58 DONNÉES
- P. 60 LES CHIFFRES
- P. 62 COMMUNICATION

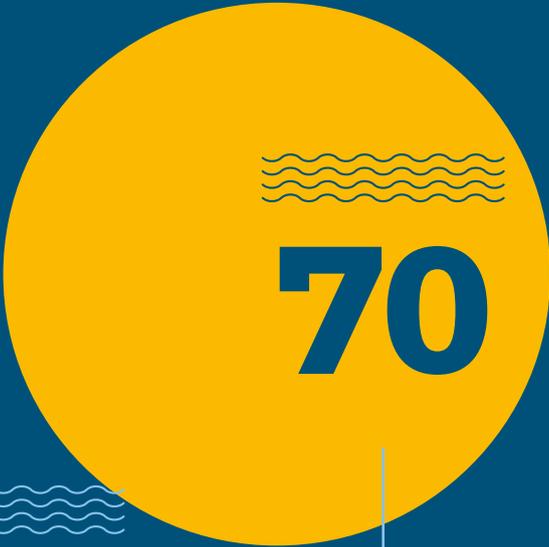


18

LA SCIENCE

- P. 20 PALAS
- P. 34 EAIIST
- P. 46 MICROLIFE





70



66

PROJETS
SCIENTIFIQUES

P. 72 SOUTENUS ARCTIQUE

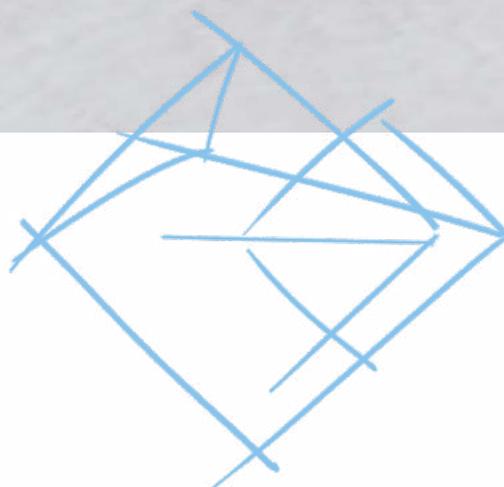
P. 93 SOUTENUS ANTARCTIQUE,
SUBANTARCTIQUE

PARTENAIRE

P. 68 L'AUSTRALIAN ANTARCTIC
DIVISION



Une année sur le terrain



SOUTIEN AUX PROJETS SCIENTIFIQUES

Auteur

Dominique FLEURY

10 projets scientifiques français ont été soutenus au sein de la station AWIPEV par l'Institut, couvrant les thématiques en biologie marine, ornithologie, glaciologie, science ionosphérique et physico-chimie de l'atmosphère.

Installation du treuil électrique sur le timonier *Jean Flo'h*

Le treuil et la grue hydraulique du navire *Jean Flo'h* sont très utilisés pour toutes les manip à la mer. Cette combinaison est très pratique pour mettre des charges assez lourdes à la mer mais manque de souplesse et de rapidité pour de petits capteurs ou systèmes de prélèvements légers. Le treuil électrique du second bateau de l'AWIPEV donnant entière satisfaction pour cette utilisation, le même modèle a été installé sur *Jean Flo'h*. Nous avons ainsi une redondance et une vitesse de profils de la masse d'eau plus adaptée. Les embases des moteurs HB ont été rapatriés en fin de saison pour une révision complète chez un professionnel à Brest.



Pose d'un lest de stabilisation sur le véhicule électrique Goupil

Après quelques années d'utilisation de ce véhicule, il est apparu que le Goupil chargé a une meilleure adhérence sur la glace et la neige. Un lest à demeure a donc été posé sur le châssis du véhicule pour améliorer la sécurité des passagers lors de son utilisation.

Installation d'un circuit d'air comprimé dans l'atelier scooter

L'atelier de mécanique générale appelé le 'scooter garage' possède maintenant un circuit d'air comprimé muni d'un compresseur de 150L (Nettoyage des pièces mécaniques, gonflage de roues...). Il possède également un touret à meuler et un poste à souder (TIG acier/inox/alu et électrodes enrobées).



STATION CORBEL

Installation d'un nouveau système de régulation de charge pour l'éolienne de Corbel

En 2018, une nouvelle éolienne a été installée à la station Corbel. Celle-ci a fonctionné quelques mois sur l'ancien système de régulation de charge électrique des batteries. Mais au début de cette année, cette électronique est tombée en panne. Un nouveau système de charge a été donc acheté au constructeur de l'éolienne et installé lors de la campagne d'automne.

Création d'une fenêtre spéciale et installation d'un escalier

Cette année, des chercheurs souhaitaient l'installation d'un équipement scientifique mesurant le rayonnement auroral à la station Corbel. Cet équipement étant très sensible aux lumières parasites, le site de Corbel en hiver est un endroit idéal car il n'y a aucune pollution lumineuse. L'installation de cet équipement a nécessité la création d'une fenêtre dans le bâtiment laboratoire/atelier. Elle est inclinée vers le ciel et possède une vitre de qualité optique avec un système antigivre.

Un escalier extérieur a également été fabriqué afin d'atteindre la plateforme du toit en toute sécurité pour faire des séries de mesures à l'aide de l'instrument à 360°.

ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES EN ANTARCTIQUE

Auteurs

Gaëlle SELLIN, Doris THUILLIER

Cette campagne d'été austral 2019-2020 a connu, en début de saison, des conditions générales environnementales favorables avec une météo clémente et une banquise praticable à moins de 35 km de Dumont d'Urville. Les premières arrivées avion sur Dumont d'Urville et Dôme C ont été réalisées aux dates convenues, 2 - 8 novembre, permettant l'ouverture des stations et le départ des raids EAIIST et logistiques dans les temps.

Cependant, des conditions climatiques difficiles sont arrivées dès le mois de janvier, marqué par 16 jours de chutes de neige, le double des valeurs normales de saisons, rendant toutes les opérations plus hasardeuses.

La difficulté majeure de la saison a été l'avarie sur les paliers immergés des lignes d'arbres de l'*Astrolabe* dès la rotation R0. Cette panne a durablement impacté la campagne d'été et a obligé à une réorganisation complète des entrées et sorties ainsi que des agendas prévisionnels logistiques et techniques.

Heureusement, grâce au soutien exceptionnel de l'Australian Antarctic Division, l'affrètement du navire polaire *Aurora Australis* du 11 décembre à Dumont d'Urville et les trois rotations express de l'*Astrolabe* réparé organisées entre fin janvier et fin février ont permis de livrer le cargo prioritaire dont la nourriture, les pièces détachées, le carburant et les fluides essentiels au maintien des stations.

Enfin, la dernière rotation a permis la livraison de certains matériaux de construction et de carburant pour la campagne suivante, pérennisant l'approvisionnement de Concordia via le premier raid 2020 même si les stocks de sécurité n'ont pu être entièrement complétés.

En dehors des programmes scientifiques, l'avarie de l'*Astrolabe* a provoqué des impacts notables sur plusieurs postes logistiques et techniques.

En ce qui concerne l'énergie, 300 m³ de carburant SAB (Special Antarctic Blend, carburant utilisé en Antarctique) n'ont pas pu être livrés. L'autonomie des stations est tout de même assurée jusqu'à début janvier 2021 mais le stock de sécurité n'a pas été reconstitué. 30 m³ de carburant pour les aéronefs manquent, soit 23% en moins de l'approvisionnement global. Une des conséquences directe de ce manque durant cette saison a été la suppression du projet aéroporté Iecap dans un souci d'économie d'aérocarburant. Enfin, 50 % de l'approvisionnement en essence pour les véhicules n'a pas pu être réalisé.



Déchargement de l'*Aurora Australis* sur glace de mer.

De manière générale, l'ensemble des stocks de sécurité de carburant SAB des stations a été utilisé pour couvrir les conséquences de l'avarie de l'*Astrolabe*.

Pour les chantiers, la réfection du magasin vivre de Concordia et les travaux du « shelter » de l'hélicoptère (helipad) sud ont été reportés car le matériel n'a pas pu être livré. La réfection du bardage du hangar engins N° 57 de Dumont d'Urville a été reportée, le matériel n'ayant été livré qu'à la rotation R4 et le bardage du magasin prud'homme a également été décalé dans la saison.

Suite à l'annulation de la rotation R0, et donc de la venue des personnels scientifiques, c'est l'équipe technique qui a dû apporter son soutien aux travaux scientifiques au mois de novembre et au début décembre. Certains travaux ont par conséquent été ralentis.

La passation entre hivernants entrants et sortants a eu lieu en une journée et demie au lieu de 7 jours (en moyenne). Certaines passations plus spécifiques nécessitant un temps plus long (télécommunication-radio, glaciologie, centrale électrique) prévues habituellement sur un mois n'ont pas eu lieu. La conséquence a été une passation moins poussée des informations nécessaires pour l'équipe entrante, entraînant des difficultés à la prise de poste et une passation réduite sur l'environnement polaire.

L'Institut a opéré avec la nouvelle compagnie d'hélicoptère (Canadian Helicopters - HN2), lauréate de l'appel d'offre réalisé l'année dernière. Un hélicoptère a été présent toute la saison et une deuxième machine est arrivée avec le navire *Aurora Australis* pour fluidifier le déchargement ainsi qu'à la rotation R4. La collaboration est tout à fait satisfaisante et l'investissement en matériel de la compagnie très pertinent.

DUMONT D'URVILLE

TRAVAUX ET LOGISTIQUE

Malgré le décalage des livraisons, les travaux d'équipement à la station et à Cap Prudhomme ont pu se dérouler grâce aux matériels livrés durant la campagne précédente. Le travail principal a consisté en la couverture complète du magasin des pièces de rechanges pour le raid à Cap Prud'homme.

La campagne a été également marquée par de nombreux travaux moins spectaculaires mais tout aussi nécessaires à la bonne gestion technique du site : fin de la couverture latérale du bâtiment 25 laboratoire N°1, rénovation de la chaufferie du bâtiment 31 séjour-réfectoire, remplacement du tunnel sous la route pour les conduites et les câbles électriques au sud de l'île des Pétrils.



RAID : CONVOIS DUMONT D'URVILLE / CONCORDIA

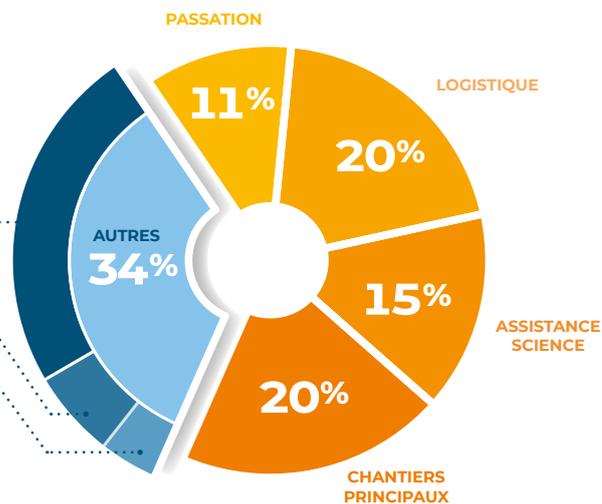
Malgré les perturbations logistiques de la campagne, les 5 raids prévus (3 logistiques et 2 scientifiques, EAIIST et SAMBA) ont pu être réalisés et atteindre tous leurs objectifs respectifs. Les caravanes ont ainsi parcourus pas moins de 10 760 Km en 3 mois. A la côte, la maintenance habituelle ainsi que les travaux spécifiques tel que le bardage extérieur du magasin ont également été réalisés. La météo perturbée et les températures relativement élevées ont impacté fortement les liaisons aériennes entraînant parfois jusqu'à 10 jours de retard dans les transferts.

STATION FRANCO-ITALIENNE CONCORDIA

VUE GÉNÉRALE DE LA SAISON

Les missions du bureau technique sont réparties entre la passation aux hivernants entrants, la maintenance et l'entretien des installations, la logistique (réception, envoi, manutention, répartition et stockage des colis), l'assistance aux opérations scientifiques et les chantiers et travaux neufs à réaliser.

Maintenance, travaux mineurs, relevés **24%**
 Ménage **6%**
 Acclimatation **4%**



CHANTIERS ET MAINTENANCE EXCEPTIONNELLE

Les grands chantiers de l'année ont débuté avec la réfection du fond plat de la tour bruyante, la refonte du système de traitement des eaux grises (GWTU) et l'habillage du magasin général.

Les travaux d'assistance aux programmes scientifiques se sont globalement bien déroulés. La collaboration entre la coordination scientifique et la coordination technique en amont, mais aussi sur le terrain, a permis de synchroniser et de lisser la charge de travail.

Un enjeu majeur a été de fournir une assistance au projet Beyond Epica (BEOI), qui a occupé plus de

la moitié du temps technicien alloué à la science. Le raid EAIIST a demandé un appui important lors de leurs deux passages à Concordia mais les demandes de travaux avaient bien été anticipées. Enfin, le projet Subglacior a aussi occupé une place importante lors de la première partie de la saison.



LA LOGISTIQUE DANS LES ÎLES SUBANTARCTIQUES

La mise en place des hivernages et des campagnes d'été sur le plan scientifique et logistique est la mission principale de l'Institut polaire français dans les îles australes.

Pour des raisons météorologiques, ces missions sur le terrain se déploient entre les mois de novembre et mars.

Auteurs

Yann LE MEUR ,
Romuald BELLEC

RAVITAILLEMENT DES REFUGES

L'Institut polaire français assure en particulier le ravitaillement et l'entretien des refuges, à savoir 50 sites potentiels, où séjournent les scientifiques et les volontaires de service civique tout au long de l'année. La dépose de matériels scientifiques, nourritures et équipements se fait principalement par hélicoptère et par chaland.

En 2019, les approvisionnements héliportés ont été réalisés pendant les rotations de novembre et décembre du Marion Dufresne. La récupération du matériel scientifique et outillage (logistique) s'effectue sur la rotation de Mars-Avril (OPI).

Durant la campagne d'été austral 2019-2020, l'équipe logistique de l'Institut polaire français a effectué des ravitaillements en vivres, en énergie et matériel scientifique sur les refuges et sites isolés suivants :

CROZET : La Pérouse, Baie américaine, Pointe basse
KERGUELEN : Pointe Suzanne, Estacade, Ratmanoff, Pointe Morne, Val Studer, Baie Charrier, Cap Noir, Cap Cotter, Cataractes, Sourcils noirs, Phonolite, Bossière, Port Elisabeth, Gazelle, Port Couvreux.

Mortadelle et les 6 sites isolés du projet PALAS (Nord de Kerguelen)

AMSTERDAM : Entrecasteaux et Del Cano



CHANTIERS SUR LES SITES ISOLÉS

CROZET

Au cours de la campagne 2019, une équipe logistique a été déployée pour réaliser un chantier de rénovation du refuge de Pointe Basse. L'objectif prioritaire du chantier était d'intervenir sur les parties vieillissantes de la structure afin d'assurer la sécurité des usagers et la pérennité de l'ouvrage notamment. La partie la plus importante a concerné le renforcement de la structure du radier, support des refuges, et des espaces de circulation. Sur l'arbec rouge, situé à côté du refuge, une réorganisation des espaces de stockage et de travail a permis d'optimiser le lieu.

Le refuge Baie Américaine a fait l'objet cette année d'un état des lieux en prévision d'un chantier de rénovation pour les années prochaines. Cependant, quelques aménagements ont été réalisés tel que la sécurisation temporaire de l'auvent et l'entretien courant, le tri et le nettoyage intégral du refuge.





Refuge d'Estacade.

KERGUELEN

L'intérieur du refuge de Estacade a été rénové pour permettre l'accueil d'une équipe de 4 scientifiques sur des périodes longues avec notamment la mise en place de l'autonomie énergétique par le solaire et l'aménagement de 4 couchages, d'un coin cuisine et d'un atelier pour les activités scientifiques.

Le refuge de Pointe Morne a été entièrement rénové avec la mise en place d'un bardage extérieur sur l'ensemble du refuge et l'installation d'une nouvelle toiture. Des systèmes de récupération d'eau de pluie et d'énergie autonome photovoltaïque ont aussi été installés.

Poursuite du chantier pluriannuel sur le refuge de Studer : Après avoir réalisé une dépollution lourde sur ce site qui date des années 1980 et les aménagements intérieurs, couchage et stockage, un travail important a été réalisé pour consolider les fondations et entretenir le refuge.

L'ancien atelier, local scientifique, du Refuge de Ile Verte a été démoli et dépollué. Un nouveau module a été héliporté sur l'île et aménagé dans la foulée par l'équipe logistique.

Atelier pour le refuge de l'île Verte



Refuge de Pointe Morne.



Réhabilitation du radier au refuge de Studer.

Le Refuge de Korrigan a été mis en hivernage car il n'y a pas de fréquentation programmée sur 2020.

Un revêtement étanche sur les deux fillods du refuge Mortadelle a été installé afin de pérenniser le refuge. La station météo a été contrôlée par les volontaires au service civique du département informatique de l'Institut polaire et les données envoyées pour un projet scientifique de l'IGE.

À proximité du glacier, le camp avancé du refuge Mortadelle a été démantelée puis évacuée lors de l'OPI du Marion-Dufresne car il n'était plus utilisé.

De nouvelles implantations de sites isolés ont été réalisées pour permettre aux projets scientifiques de s'implémenter sur de nouveaux sites :

Pour le projet scientifique Palas (voir encart), quatre sites ont été installés avec du matériel et deux sites ont été organisés en camps de vie avec l'installation de cabanes en bois permettant de dormir et manger dans de bonnes conditions. Plusieurs autres sites étaient équipés de matériels de camping légers et transportables qui donnaient une plus large autonomie pour prospecter d'autres lieux à carotter dans la zone autour des lacs sans repasser systématiquement par l'un des camps de base.

Pour le projet Talisker, un camp avec 2 modules héliportables ont été positionnés sur la zone Nord de la Presqu'île de la société de Géographie, sur le site de Port Cenis. .



Refuge de Port Cenis.

CHANTIERS SUR LES STATIONS

CROZET, ALFRED FAURE Le soutien pour les projets scientifiques pendant

la campagne d'été reste l'activité principale des équipes de l'Institut polaire. Il y a également des chantiers spécifiques qui sont menés pour l'entretien des structures logistiques et scientifiques de la base.

Cette année, une équipe a été déployée sur la station de Crozet dans le but d'entamer la réorganisation du laboratoire Biomar afin de le rendre plus opérationnel et fonctionnel.

Le Shelter Science de l'Univers a été libéré grâce au transfert des serveurs au Biomar. Ce local est maintenant utilisé comme zone de stockage long terme pour le matériel logistique et scientifique.

KERGUELEN, PORT AUX FRANÇAIS

Pour l'installation d'une nouvelle toiture sur la plateforme logistique B17 de l'Institut polaire, le déménagement du matériel a permis un tri et une réorganisation totale de l'atelier.

Pour le projet Palas, en complément de la commande de grands modules, 2 petits modules de stockage ont été fabriqués au format caisse bois héliportable.

SUPPORTS ET MOYENS SPÉCIFIQUES DE SOUTIEN À L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE



Depuis plusieurs années, l'Institut polaire déploie en co-affrètement avec les TAAF, un navire de 25 m, La Curieuse, qui permet la mise en œuvre de projets scientifiques mais également un déploiement des activités de prospection et l'entretien des sites isolés côtiers sur l'ensemble du district de Kerguelen.

Cette année, La Curieuse a permis de réaliser de nombreuses missions scientifiques autour de Kerguelen. Le navire était présent sur la première période de l'année du 1^{er} janvier jusqu'au 24 janvier puis du 26 novembre jusqu'au 31 décembre 2019.

Il a assuré la mission de support sécuritaire pour la mission Palas et permis le déploiement des missions terrestres autour de Kerguelen pour les projets Enviker, Bingo, Talisker, Cycleleph, Salmevol, Subanteco ainsi que le suivi du milieu marin avec le projet Proteker qui pratique des plongées sous-marine autour de Kerguelen et dans le Golfe du Morbihan.

Dans le cadre de la maintenance décennale du Projet Superdarn, projet d'observation labellisé, vune nacelle de 18 m a été installée en 2019 et a permis aux équipes scientifiques de mener à bien le plan de jouvence et de garantir la continuité opérationnelle de cet outil.

Site de Guynemer.

MISSION PALAS 2

Durant cette campagne 2019, l'équipe logistique a mis en œuvre le projet *Paleoclimate from Lake sediments on Kerguelen archipelago 2* (Palas 2) dans la partie nord de l'Archipel de Kerguelen. L'objectif était de collecter des échantillons de sédiments lacustres afin de reconstituer à haute résolution les fluctuations climatiques passées. Son déploiement autour des lacs de glaciers sur la zone nord de Kerguelen a nécessité un gros investissement logistique, à un niveau jamais atteint depuis ces deux dernières décennies !

- La mise en place d'une mission autonome pour une équipe de 8 scientifiques composée de 4 français et de 4 norvégiens sur une durée d'un mois. Afin de garantir la sécurité de la mission, de nouvelles procédures de communication ont été utilisées avec des GPS permettant l'envoi de messages même en cas de non couverture par le réseau.
- L'installation de matériels et de refuges sur 6 sites isolés à proximité des lacs sélectionnés pour effectuer les opérations de carottages lacustres. Ces refuges ont été construits, aménagés puis implantés sur site temporairement le temps de la mission.

L'ensemble du matériel logistique (refuges, vivres, énergie, etc.) et scientifique (barge de carottage, sonar, etc.) représentait un total de 17 tonnes : 31 charges héliportables. Ce qui a nécessité le déploiement exceptionnel d'un hélicoptère écureuil de type B3 pour la récupération ;



La principale difficulté de cette opération reposait notamment sur la très courte fenêtre opérationnelle disponible pour réaliser l'installation à OP3, puis la récupération à OP4 des hommes, des échantillons et du matériel sur une vaste zone géographique : Environ 3 jours d'hélicoptère ont été nécessaires, 1,5 jours à la dépose + 1,5 jours à la récupération pour environ 10h/jour d'hélicoptère. Cette durée est équivalente ou supérieure au déploiement d'une opération à Crozet ou Amsterdam toutes opérations confondues (TAAF, Institut polaire français, Réserve naturelle) lors des rotations de ravitaillement du Marion Dufresne. Une grosse préparation a été nécessaire en amont entre l'équipe scientifique et logistique pour mener à bien ce projet.

EN MOINS D'UN MOIS DE CAMPAGNE, LES 6 LACS SÉLECTIONNÉS ONT PU ÊTRE ÉCHANTILLONNÉS. CELA REPRÉSENTE 14 POINTS DE PRÉLÈVEMENTS POUR UN TOTAL DE PLUS DE 120 MÈTRES DE CAROTTES SÉDIMENTAIRES.



La science





MISSION

PALAS 2 20

PALÉOCLIMAT À PARTIR DES SÉDIMENTS LACUSTRES
DE L'ARCHIPEL DE KERGUELEN

EAIIST 34

EAST ANTARCTIC INTERNATIONAL ICE SHEET TRAVERSE

MICROLIFE 46

LA VIE MICROSCOPIQUE DANS LA NEIGE AU SVALBARD



Mission PALAS 2019

PALÉOCLIMAT À PARTIR DES SÉDIMENTS LACUSTRES
DE L'ARCHIPEL DE KERQUELEN

Auteurs

Charline GIGUET-COVEX, Philip DELINE, Ludovic RAVANEL,
Pierre SABATIER et Fabien ARNAUD

Laboratoire EDYTEM Univ. Grenoble Alpes,
Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS,
EDYTEM, 73000 Chambéry, France

RÉSUMÉ

L'archipel de Kerguelen se situe dans la zone latitudinale de fluctuations des vents d'ouest qui jouent un rôle majeur dans le fonctionnement du système climatique global. Presque aussi étendue que la Corse, il présente

une multitude de lacs d'origine glaciaire. Les sédiments déposés au fond de ces lacs sont de précieuses archives du climat et des environnements passés. Lors de la mission PALAS 2019, les sédiments de six de ces lacs, situés entre la calotte glaciaire Cook et la Presqu'île de la Société de Géographie, ont été carottés. Avec des carottes longues de 5 à 10 m, nous espérons couvrir plusieurs milliers d'années d'histoire de ces environnements. Les marqueurs glaciaires autour des lacs ont aussi été cartographiés et échantillonnés. Dans le cadre du projet « Southsphere », piloté par Jostein Bakke de l'Université de Bergen (Norvège), des analyses sédimentologiques et géochimiques « classiques » seront réalisées sur les carottes. Il est également prévu d'appliquer des méthodes en plein essor, comme la tomographie 3D, l'analyse de l'ADN sédimentaire lacustre ou encore celle des composés lipidiques spécifiques aux membranes bactériennes, dépendants de la température. La mesure de la concentration en isotopes cosmogéniques des échantillons prélevés sur les moraines, les blocs erratiques et les roches moutonnées permettra de dater les extensions glaciaires. L'ensemble de ces résultats inédits permettra in fine de reconstituer les fluctuations des glaciers pendant l'Holocène et les changements climatiques qui les ont contrôlés, encore mal connus dans cette région très reculée.

farines glaciaires

Les farines glaciaires sont constituées de particules fines (argileuses) formées par l'action abrasive des glaciers sur la roche.

cosmogéniques

Des isotopes cosmogéniques se forment lors de l'interaction entre le rayonnement cosmique de haute énergie et le noyau d'un atome. Ils sont produits dans l'atmosphère ainsi que, pour certains, dans les roches et les sols exposés à ce rayonnement.

INTRODUCTION

L'archipel des Kerguelen se situe à 49°S, c'est-à-dire dans la zone du front polaire antarctique qui sépare les eaux froides polaires, des eaux tempérées des régions sub-antarctiques. Aujourd'hui, cette zone, aussi dite de « convergence antarctique », oscille entre 48° et 61° de latitude selon la saison. Elle est marquée par de très forts vents d'ouest ; Cette zone des vents d'ouest est équivalente à celle que l'on rencontre aux mêmes latitudes dans l'hémisphère nord, mais les vents sont ici plus violents du fait de l'absence de continent dans cette bande de latitude. Dans l'hémisphère sud, ils sont particulièrement violents en raison de l'absence de continents pour les freiner (Figure 1). Ce sont les fameux '40° rugissants' et '50° hurlants' des navigateurs ; pour les climatologues, ils sont un objet d'étude privilégié en raison du rôle essentiel qu'ils jouent dans la régulation du climat de la Terre. En effet, ils isolent l'Antarctique de la chaleur des basses latitudes, stimulent la circulation océanique mondiale via le courant circumpolaire antarctique et régulent l'absorption du CO² dans l'océan Austral. Cette position dans la zone de convergence antarctique fait de Kerguelen un site clé pour la compréhension du système climatique global et de son évolution.

Malgré l'importance de cette bande de latitudes dans le fonctionnement du climat à l'échelle globale, nos connaissances des changements climatiques passés y sont très limitées. Ce contexte s'explique par la forte proportion d'océan par rapport aux continents, rendant difficile l'acquisition d'archives climatiques. Quelques enregistrements ont été obtenus grâce aux moyens de carottages marins, ainsi que sur des archives continentales, principalement en Patagonie puis en Tasmanie, Nouvelle-Zélande et Géorgie du Sud¹. Dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF), les premières études sur des archives continentales sont très récentes. À Amsterdam par exemple, l'analyse des flux et de l'origine des poussières piégées dans de la tourbe a permis de proposer une reconstitution de la dynamique passée des vents d'ouest au cours des derniers 6600 ans. Elle met notamment en évidence une alternance entre des phases de renforcements et/ou déplacement des vents vers l'équateur et des phases d'affaiblissement et/ou déplacement plutôt vers le pôle².



À Kerguelen, une étude de géomorphologie glaciaire a permis de retracer les grandes fluctuations des glaciers au cours des derniers 24 000 ans³. Par ailleurs, à partir d'une approche de modélisation (intégrant des données instrumentales de la station de Port au Français), cette même équipe a montré que le déplacement vers le pôle du front polaire, en entraînant une baisse des précipitations à Kerguelen, expliquait en grande partie le recul spectaculaire de la calotte Cook depuis les années 1960⁴. Il existe donc une relation entre les fluctuations du front polaire et donc des vents d'ouest, et celles des glaciers de Kerguelen, via les précipitations.

La mission PALAS 2019 a été imaginée pour compléter ces connaissances encore lacunaires des fluctuations glaciaires et climatiques passées dans cette région du globe. Pour cela, l'objectif était de recueillir un maximum d'archives sédimentaires lacustres en connexion avec la calotte Cook (Figure 2), afin d'étudier de manière indirecte (i.e., via les processus glaciaires), la dynamique des vents d'Ouest. En effet, les lacs alimentés par des glaciers présentent un fort potentiel d'enregistrement du signal glaciaire au cours du temps, puisqu'une grande partie de leur sédimentation vient de la production de farines glaciaires⁵. Afin de valider ces reconstitutions et de mieux les contraindre dans l'espace, les moraines et autres formes glaciaires autour des lacs ont été cartographiées et échantillonnées lors de la mission de manière à réaliser des datations par isotopes cosmogéniques.



Figure 1. **Illustration de la circulation atmosphérique** (source : Nasa) ; l'évolution de la circulation au cours du temps peut être visionnée ici : <https://svs.gsfc.nasa.gov/3723>

¹ Dätwyler et al., 2018; Fletcher et Moreno, 2011; Kilian et Lamy, 2012; Oppedal et al., 2018; Saunders et al., 2012; Shulmeister et al., 2004

² Li et al., 2020

³ Jomelli et al., 2017

⁴ Favier et al., 2016

⁵ Nesje et al., 1991

De plus, pour déterminer le rôle des températures et des précipitations dans les fluctuations de la calotte Cook, une approche multi-indicateurs est prévue sur les carottes dans le cadre du projet « Southsphere », piloté par Jostein Bakke de l'Université de Bergen (Norvège). Les indicateurs ciblés sont les isotopes de l'hydrogène pour retracer les précipitations et des biomarqueurs lipidiques pour les températures. Les analyses sédimentologiques et géochimiques seront quant à elles utilisées pour retracer les fluctuations des glaciers. Des analyses de restes de végétaux terrestres, de pollens et d'ADN de plantes seront également effectuées pour étudier les fluctuations du couvert végétal, en termes d'étendue et de composition, en lien avec les changements climatiques. Si des pollens exotiques sont retrouvés, ils pourront être utilisés comme indicateurs de changements dans la position des vents d'ouest. Enfin, sur le lac Cartographie (Figure 2), autour duquel un nombre important de lapins a pu être observé lors de la mission, des analyses d'ADN de mammifères et de plantes sont prévues afin de retracer la dynamique des espèces invasives et leur impact sur l'environnement, dans cette zone très éloignée de leur point d'introduction.

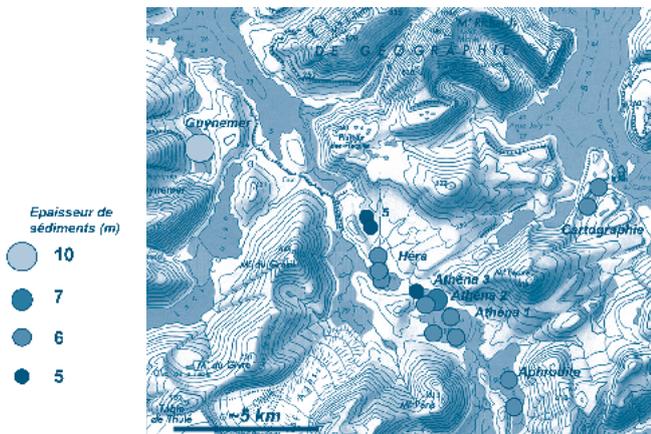


Figure 2. Répartition des sites de carottages et longueurs des carottes prélevées lors de la mission PALAS 2019.

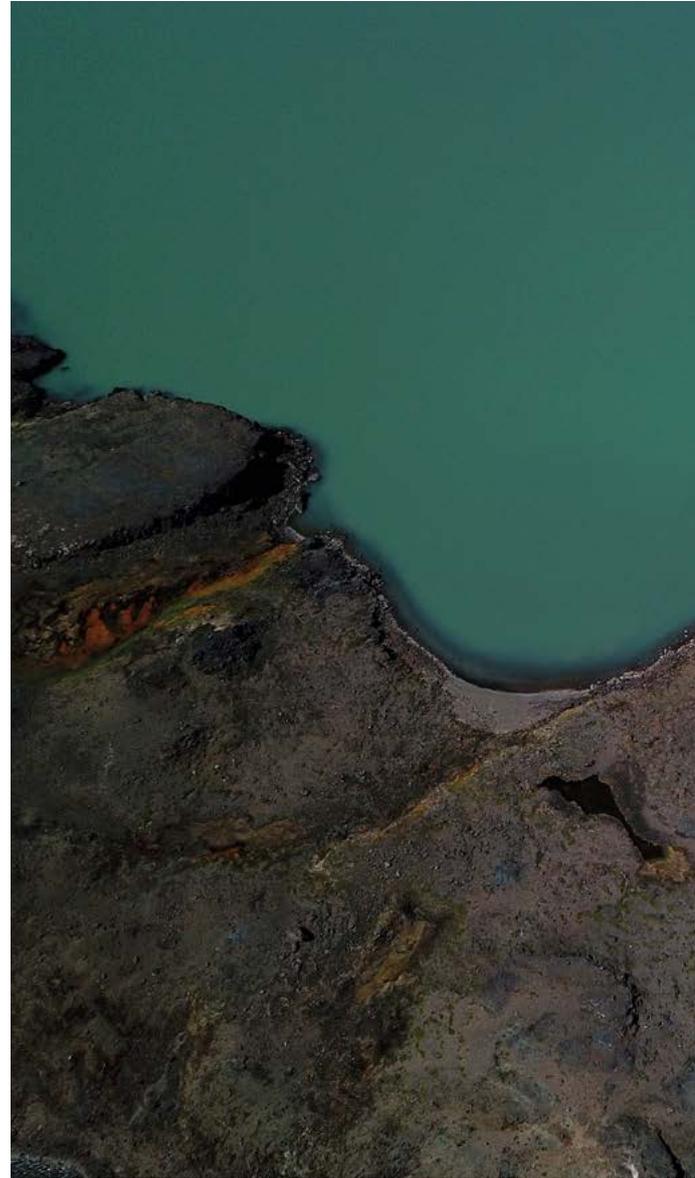


Figure 3. Illustration des techniques appliquées pour le carottage.

A) Photos de la plateforme de carottage utilisée à Guynemer et d'une des carottes prélevées au carottier Nesje. Le schéma de carottier illustre le système de carottier à piston développé par Niederrieter et utilisé à Guynemer ainsi qu'à Athéna pour réaliser les carottes > à 6m de long (par section de 2 ou 3 m).

B) Schéma de carottage fourni par l'application « corebook ». Cette application utilisée sur le terrain permet de rentrer les coordonnées du carottage et de représenter la position de chacune des sections en temps réel. Ceci permet d'évaluer les pertes de sédiments et ainsi d'aider le carottier à obtenir toute la séquence de remplissage sédimentaire (i.e. un taux de recouvrement entre les sections de 100%).

<https://svs.gsfc.nasa.gov/3723>

biomarqueurs lipidiques

Les biomarqueurs lipidiques sont des molécules organiques spécifiques qui permettent notamment de tracer l'origine de la matière organique.

© Nesje et al., 1991

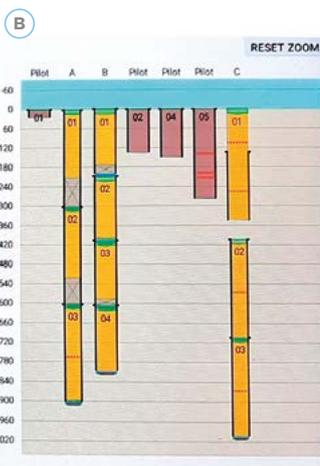


1. MÉTHODES

1.1. ÉVALUATION DE LA BATHYMÉTRIE DES LACS, REMPLISSAGES SÉDIMENTAIRES ET CAROTTAGES

Afin de déterminer la ou les zones de prélèvements des carottes sédimentaires, il est nécessaire de connaître la bathymétrie des lacs. En complément de la morphologie du bassin lacustre, il peut être intéressant de déterminer l'épaisseur du remplissage sédimentaire et d'étudier l'agencement des dépôts. Pour cela, les sédimentologues utilisent un équipement de sismique réflexion qui, grâce aux vitesses de propagation différentes des ondes en fonction des matériaux rencontrés, permet de révéler les couches de sédiments. Les zones les plus profondes, planes et éloignées des deltas sont souvent privilégiées par les paléo-environnementalistes/climatologues. En effet, ce sont les zones les moins affectées par des dépôts de glissements sous-lacustres provenant des pentes du bassin. Ces dépôts instantanés peuvent présenter de fortes épaisseurs et avoir érodé une partie des dépôts antérieurs. Par ailleurs, ces zones présentent des accumulations de sédiments plus faibles, ce qui permet de maximiser la profondeur temporelle couverte par l'archive.

	NEW RUN	NEW PILOT	
GUY : Recovery core I, Hole C (last core : GUY19-I-C-03)			
Name	>01	Pil-05	Pil-04
Coordinates	1:18	Acq 12:43	Acq 17:57
Tool config.	N.	1.	1.
Suggested Shift	26,0	N/A	N/A
Shift (cm)	12,0	N/A	N/A
Water (cm)	0,0	N/A	N/A
Lost Bottom	0,0	N/A	N/A
Material (cm)	29,0	277,5	150,0
Cap to cap	30,0	282,0	154,0
Top Material	14,0	N/A	N/A
Bottom Mat.	43,0	N/A	N/A
Bottom Liner	43,0	N/A	N/A
Bottom Run	43,0	N/A	N/A
Piston (cm)	14,0	N/A	N/A
Core-Catcher Samp.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Lors de la mission PALAS 2019, trois techniques de carottages différentes ont été mises en œuvre. Sur chacun des lacs, des carottages « courts » gravitaires (carottier UWITEC), associant pour la plupart du martelage afin d'augmenter l'épaisseur de sédiments récoltée, ont été effectués. Cette technique de carottage permet de prélever les sédiments sans perturber l'interface et fournit donc des enregistrements indispensables pour bien documenter la sédimentation récente. Sur le lac Guynemer, l'objectif était de prélever la séquence la plus longue possible. Pour cela, nous avons utilisé une plateforme et un carottier à piston stationnaire UWITEC développé par Richard Niederrieter (uwitec.at). Ce type de carottier (Figure 3A) permet de prélever les sédiments par tronçons de 2 (90 mm de Ø) ou 3 m de long (63 mm de Ø). Le principe consiste à descendre le carottier depuis la plateforme à la profondeur désirée puis à bloquer le piston pour pouvoir débiter le carottage en percutant à l'aide de marteaux. Une fois le tube de 2 ou 3 m rempli de sédiments, le carottier est remonté à la surface à l'aide de treuils puis la carotte récupérée. Ensuite, le carottier est renvoyé 2 ou 3 m plus bas afin de prélever la section suivante et ainsi de suite. Un système de « core catcher » hydraulique ou une « peau d'orange » est installé à la base du carottier afin d'éviter la perte de sédiments lors de la remontée de la carotte. Même si ces systèmes fonctionnent correctement, du sédiment correspondant à la place prise par le piston stationnaire, est perdu entre chaque section. Afin de combler cette perte et obtenir 100 % de la séquence sédimentaire, un second carottage (Trou B, Figure 3B) débutant à une profondeur décalée est réalisé juste à côté du premier (Trou A). Le schéma de carottage est construit en temps réel sur le terrain grâce à l'application « Corebook » développée au Laboratoire EDYTEM (Figure 3B). Le troisième système de carottage utilisé est celui développé par Atle Nesje⁶. C'est un système également à piston stationnaire qui permet de prélever en martelage jusqu'à 6 m de sédiment en une fois. Il a été déployé sur l'ensemble des lacs.

⁶ Nesje, 1992



1.2. CARTOGRAPHIE GÉOMORPHOLOGIQUE ET PRÉLÈVEMENTS POUR DATATION

CARTOGRAPHIE

La reconnaissance des extensions passées des glaciers combine l'observation et la cartographie des formes et des formations d'origine glaciaire. L'observation est conduite à plusieurs échelles spatiales et temporelles. Avant la mission terrain, elle a été permise par l'utilisation d'images satellite. Celles disponibles sur Google Earth présentent une résolution satisfaisante depuis 2017, mais la partie la plus à l'Est de notre secteur d'étude (Pic Guynemer) est complètement enneigée car couverte par une image d'août 2006. Cette ressource a permis de reconnaître quelques moraines d'autant plus apparentes que récentes, en particulier dans le secteur de Guynemer. Du fait des conditions de nébulosité et d'enneigement qui caractérisent la région, nous n'avons acquis une couverture tri-stéréo Pléiades que le 16 janvier 2019, près d'un an après leur commande auprès d'Airbus DS dans le cadre du programme ISIS. Le report d'une année de la mission PALAS à l'OP3 de 2019 a donc été, de ce point de vue, bienvenu : le MNT et l'ortho-photographie élaborés à partir de ces images satellite ont en effet favorisé nos observations préalables à la mission. De nombreuses moraines ont pu être reconnues, ainsi que des secteurs à roches moutonnées avec leurs blocs erratiques abondants, jusqu'à de potentiels chenaux d'écoulement des eaux

glaciaires, une reconnaissance qui a guidé l'organisation de la mission terrain. Outre qu'elle a permis de reconnaître, en l'absence du moindre sentier et avec de nombreux cours d'eau infranchissables à pied, des cheminement possibles sur le terrain, cette ressource géomatique a constitué la base du Système d'information géographique (SIG) dans lequel ont été reportées quotidiennement les observations de terrain sous la forme de la carte géomorphologique (cf. : Encadré 1) - laquelle a également bénéficié des images à très haute-résolution acquises par drone dans plusieurs secteurs.

La cartographie géomorphologique vise la reconstitution spatiale des extensions glaciaires holocènes voire tardiglaciaires⁷. Les moraines frontales et latérales témoignent de la géométrie 2D du glacier (et de ses variations temporelles), à partir de laquelle le volume de ce glacier peut être modélisé et des paramètres glaciologiques déduits - l'altitude de la ligne d'équilibre glaciaire et son évolution sont ainsi des indicateurs paléo-climatiques. Un secteur de roches moutonnées indique une extension minimale du glacier en longueur et en altitude ; un bloc erratique, une position du glacier pendant une phase de retrait.

MNT



Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) est une représentation de la topographie. Les ortho-photographies sont des images de la surface terrestre (satellites ou aériennes) dont la géométrie a été rectifiée afin de pouvoir se superposer à une cartographie plane.

⁷Jomelli et al., 2017

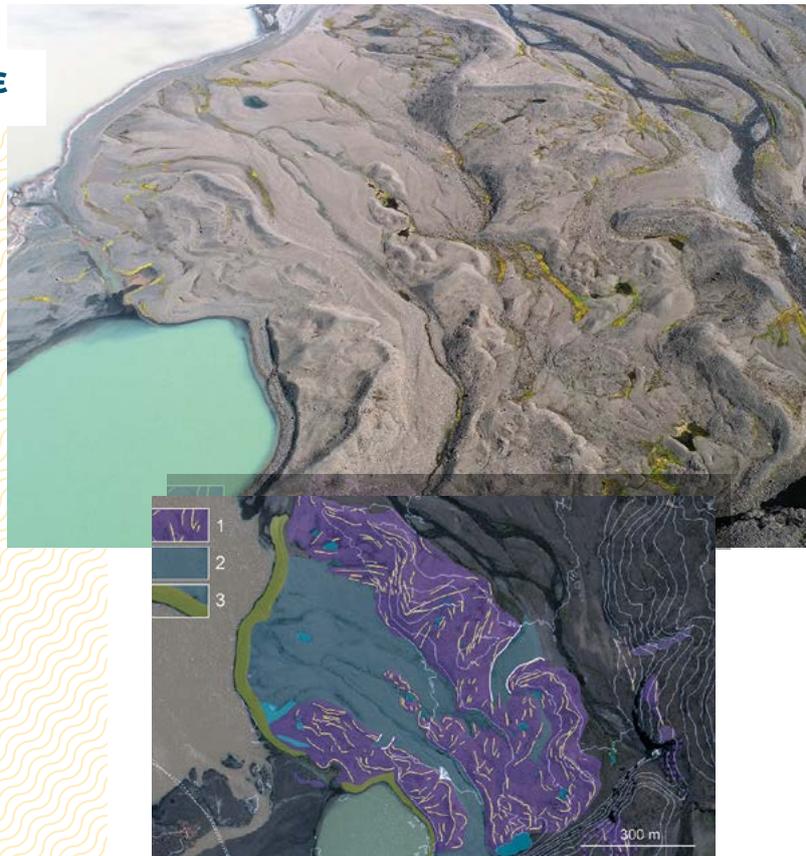
encadré 1.

CARTOGRAPHIE GÉOMORPHOLOGIQUE

Le principe de cette cartographie est de représenter l'ensemble des formes (e.g., moraine, talus d'éboulis, etc.) et formations (e.g., till, remplissage glaciolacustre...) d'un secteur d'étude, en les associant aux processus qui les ont engendrées (e.g., processus glaciaires, périglaciaires, etc.) tout en intégrant la chronologie (au moins relative) de leur mise en place.

L'objet de notre étude explique que les marqueurs géomorphologiques de la dynamique glaciaire ont été privilégiés - seules quelques formes/formations non-glaciaires ont été cartographiées quand elles participent de la reconnaissance/identification des formes glaciaires (e.g., ravinement et dépôt associé qui affectent une moraine, ou dépôt d'éroulement rocheux qui la jouxte).

Cette figure présente une partie du complexe morainique du glacier Agassiz. On distingue sur la photo prise par drone (haut ; autorisation 2019-158) trois ensembles principaux de moraines. Par le croisement des images satellite (bas) et drone et des observations et photos de terrain, ils ont fait l'objet d'une cartographie détaillée dont témoigne la multiplicité des crêtes (N.B. : les moraines n'ont pas été hiérarchisées ici en fonction de leurs dimensions). L'emprise et la distribution des larges chenaux d'écoulement témoignent de la vigueur des remaniements qui ont affecté à au moins deux reprises ce complexe morainique. Le fetch induit par la taille des lacs, parcourus par des vents fréquents et intenses, et les variations saisonnières de leur niveau expliquent le développement des plages sur leurs rives.



1: moraine et crête morainique ; 2: chenaux d'écoulement ; 3 : plage lacustre (N.B. : d'autres formes représentées ne sont pas explicitées ici). La ligne en pointillé blanc représente la position du front du glacier en 1963. Equidistance de isohypses : 50 m. Orthophoto : Pléiades, 16/01/2019



dendrochronologie

La dendrochronologie est une méthode de datation qui repose sur le comptage et l'analyse de la morphologie des cernes de croissance des arbres.

fetch

Le fetch est le temps et la distance parcourue par un même vent sur un plan d'eau sans obstacles. Au bout de cette zone « d'élan » l'eau va se lever pour former une vague : plus le fetch sera important, plus la vague sera haute.

® e.g., Le Roy et al., 2015
 9 e.g., Le Roy et al., 2017

PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS POUR DATATION COSMOGÉNIQUE

À cette dimension spatiale des paléo-englacements que donne à voir la carte doit être associé un calage chronologique non seulement relatif mais aussi absolu. Dans la plupart des massifs de montagne, la présence de bois dans les moraines a permis d'établir des chronologies des fluctuations glaciaires par dendrochronologie et datation radiocarbone⁸. Faute d'arbres à Kerguelen, c'est la datation par isotopes cosmogéniques (cf. : encadré 2) produits in situ qui a été mise en œuvre⁹ ; (cf. : Encadré 2). Pour cela, des échantillons ont été prélevés sur les complexes morainiques, dans des secteurs de roches moutonnées et sur des blocs erratiques. Ces datations permettront de retracer la dynamique passée des différents glaciers (Guynemer, Agassiz et Chamonix).

Au total, deux dépôts d'origine glaciaires, 10 surfaces de roches moutonnées, 23 blocs erratiques et 75 blocs sur moraines ont été échantillonnés à la disqueuse et au marteau-burin (Figure 4). Ces 110 échantillons de 1 à 2 kg ont été prélevés sur des basaltes (100), dont la calcite permet la production de ³⁶Cl, et sur des filons et géodes de quartz (10) pour y mesurer la concentration en ¹⁰Be.

encadré 2.

DATATION PAR ISOTOPES COSMOGÉNIQUES PRODUITS IN SITU

L'interaction du rayonnement cosmique primaire avec les constituants de l'atmosphère crée des nucléides cosmogéniques qui s'adsorbent ensuite à la surface des minéraux dans les roches, en y induisant des réactions nucléaires. Des nucléides cosmogéniques (¹⁴C, ²⁶Al, ³⁶Cl, ¹⁰Be) commencent alors à y être produits, in situ. La mesure de leur concentration donne une durée de l'exposition de la surface rocheuse, compte tenu du taux de production du nucléide (qui dépend du temps, de l'altitude...), de la topographie locale (masque) et du taux d'érosion éventuel de cette surface. La datation par exposition en surface avec les nucléides cosmogéniques nécessite de prélever un échantillon sur une épaisseur maximale de 3-5 cm, en privilégiant le centre de blocs plats de grande dimension, sur la crête pour une moraine, et les plus stables possible, en relevant leurs dimensions, leur altitude et le masque topographique (Figure 4). L'échantillon fait ensuite l'objet d'une préparation mécanique puis géochimique en laboratoire, longue pour le ¹⁰Be : broyage et tamisage, purification, séparation et dissolution avec l'acide fluorhydrique (HF), puis substitution de l'HF, et enfin extraction de l'oxyde de béryllium (BeO) - une préparation beaucoup plus rapide pour le ³⁶Cl. La mesure du rapport isotopique peut alors être réalisée par Spectrométrie de masse par accélérateur (AMS), en France sur l'instrument national ASTER (LN2C, CEREGE). Ce rapport est ensuite converti en concentration, à partir de laquelle est calculé avec un calculateur en ligne un âge d'exposition, associé à une incertitude (analytique et sur le taux de production) généralement < 5% sauf pour les surfaces très jeunes (derniers siècles).



Figure 4. **Prélèvements d'échantillons** de basalte pour datation de l'exposition de surface par ³⁶Cl. a : prélèvement sur un bloc erratique du replat supérieur ouest du bassin de Guynemer (325 m d'alt.) ; b : échantillon Ker 1991 prélevé sur un bloc de la moraine latéro-frontale Ma-1 (la plus externe) du complexe Agassiz (70 m) ; c : prélèvement et mesure de l'écrantage sur un bloc de la moraine frontale Ma-3 du complexe Agassiz (75 m) ; d : prélèvement sur une roche moutonnée du Mont Fauve (515 m).



2. RÉSULTATS

2.1. BATHYMÉTRIE ET REMPLISSAGE SÉDIMENTAIRE

La bathymétrie du Lac Guynemer est relativement simple avec un bassin unique et très profond (90 m). Par contre, celles du lac Héra et des autres lacs Mythos sont beaucoup plus complexes avec plusieurs bassins et parfois des structures « mamelonnées » que l'on peut voir sur les profils sismiques (Figure 5A). Cette complexité est probablement liée à des apports de sédiments provenant des différents glaciers (Agassiz, Chamonix et Pointu) connectés aux lacs par le passé et à des glissements subaquatiques. Dans ce contexte sédimentaire, on comprend la nécessité de l'équipement de sismique pour définir les zones de carottage les plus appropriées, c'est-à-dire présentant une sédimentation non-perturbée (conservation de l'ordre chronologique des dépôts et sans hiatus), et ainsi pouvoir traiter notre question scientifique.

2.2. BILAN DES PRÉLÈVEMENTS, PREMIERS RÉSULTATS ET PERSPECTIVES

À Guynemer, 10 m de sédiments par sections de 3 m de long et sur 3 trous (A, B et C) ont été prélevés (Figure 3B). De plus, trois autres carottes de 1,40 à 2,90 m de long ont été réalisées à l'aide du système de carottier Nesje. Les carottes seront étudiées à Bergen et Chambéry à partir de juin 2020. Cependant, des observations ont déjà pu être réalisées. En effet, sur les ancrs utilisées pour stabiliser la plateforme de carottage, une quinzaine de centimètres de sédimentation bien préservée et laminée a été remontée lors des manœuvres de désancrage (Figure 6). Ces sédiments montrent de manière claire un changement de couleur marquant une modification récente du type de sédimentation. Dans l'ancre située au sud, au pied du delta constitué par les apports glaciaires du Pic Guynemer (1088 m), a été observé un dépôt glissé et enroulé sur lui-même, typique des glissements de sédiments sous-lacustres. À l'autre bout du lac, dans les sédiments remontés avec l'ancre, un dépôt atypique a aussi été observé, riche en débris végétaux, alors que la profondeur d'eau (80 m) interdit le développement in situ de plantes aquatiques. De futures études permettront de déterminer si ces dépôts sont synchrones

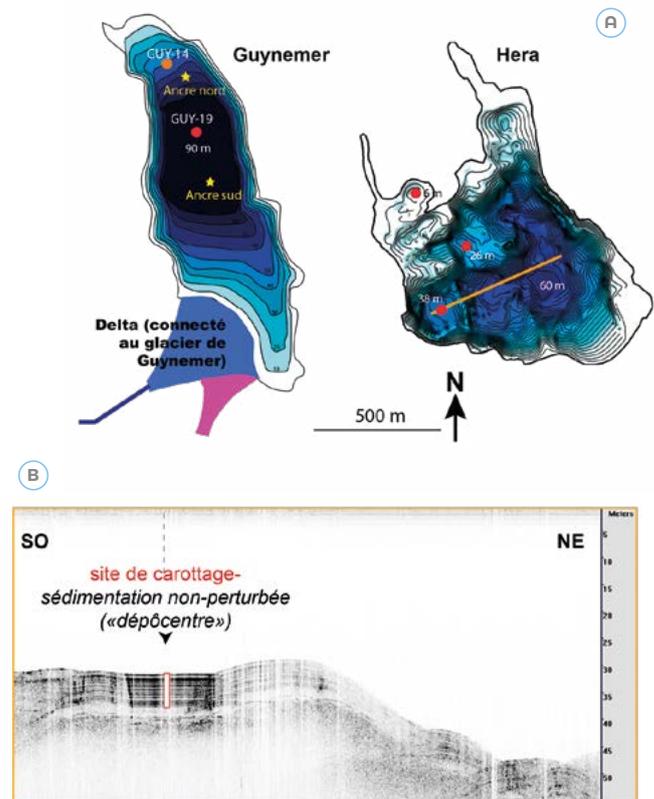
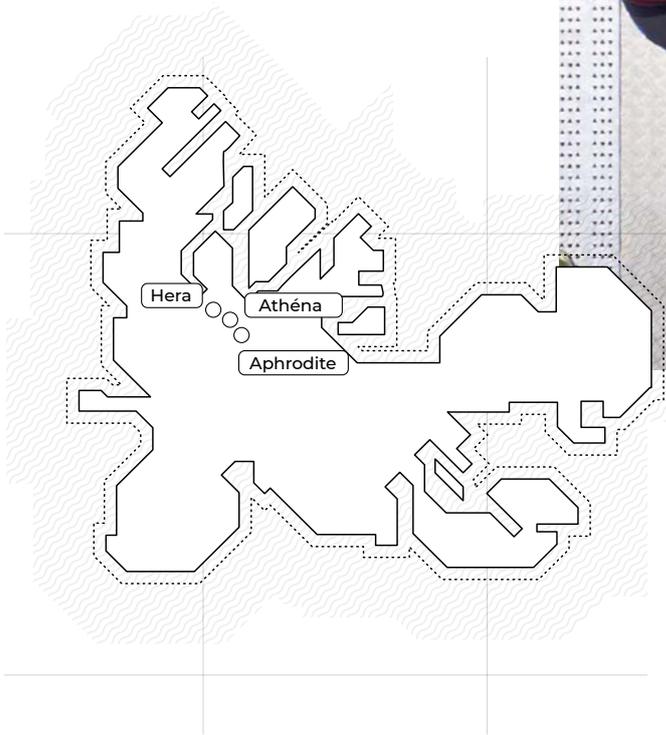
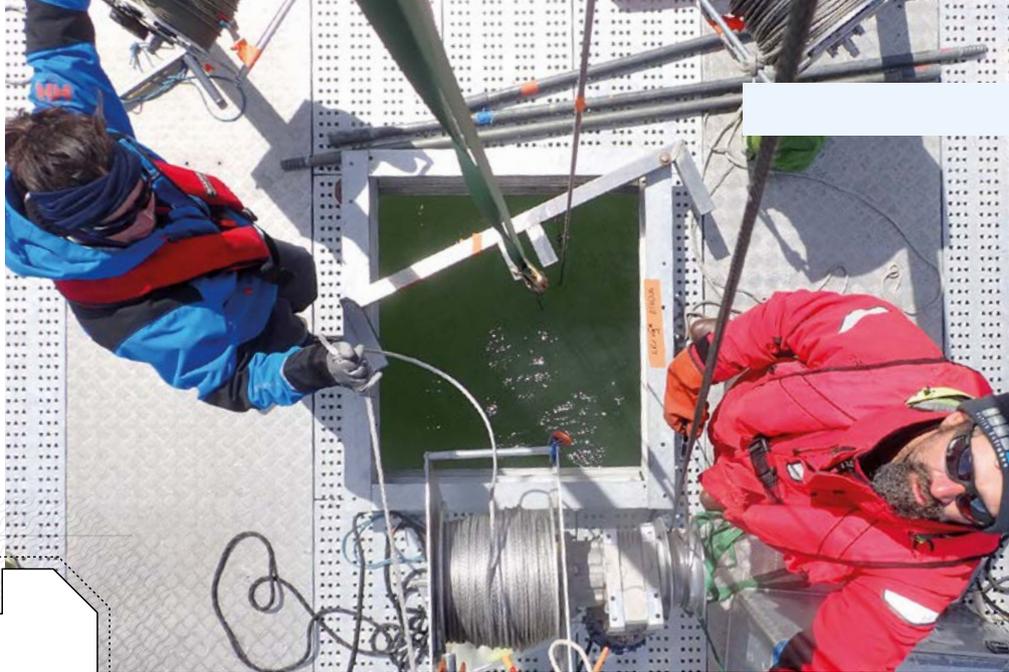


Figure 5. **Bathymétrie et sismique.**
 A) Cartes bathymétriques des lacs de Guynemer et Héra illustrant différentes topographies subaquatiques rencontrées sur les lacs situés au nord de la calotte Cook. Les zones de carottage de 2014 et 2019 sont représentées par les points orange et rouge, respectivement. Les positions des ancrs nord et sud, installées pour stabiliser la plateforme lors du carottage, sont représentées par des étoiles jaunes.
 B) Profil sismique correspondant au transect SO-NE en orange sur la carte bathymétrique d'Héra. Il met notamment en évidence un petit bassin perché à la sédimentation non-perturbée (contrairement à la zone plus profonde) et dans lequel une carotte de 6 m a été prélevée au carottier Nesje (Nesje, 1992). Sur la partie Nord-Est du transect, des structures « mamelonnées » apparaissent.

et d'en interpréter l'origine. L'une des hypothèses serait qu'un séisme ait déclenché une déstabilisation de la partie aquatique du delta, engendrant un tsunami à l'autre extrémité du lac. Une telle mise en évidence d'une activité sismique récente serait une découverte importante, Kerguelen n'étant pas connue pour être une zone très active sismiquement. Elle viendrait compléter une étude récente menée par notre équipe, qui a mis en évidence dans les sédiments du lac d'Armor les dépôts associés à 8 éruptions volcaniques importantes ayant eu lieu sur la péninsule Rallier de Baty, au cours des 11000 dernières années¹⁰.

¹⁰ <https://eartharxiv.org/5jnu6/>



Sur les lacs dits « Mythos » (i.e., Héra, Athéna 5 et Aphrodite) et des lacs « Cartographie » (Figure 2), des carottes de 5 à 6 m de long ont été prélevées à l'aide du système Nesje. À Athéna 2, une carotte de 7 m de long a également été prélevée avec le système Nesje jusqu'à 6 m puis avec le système « Niederrieter » jusqu'à 7 m.

Sur les 6 lacs, un total de 14 sites a été carotté, représentant un cumul de 127 m de carottes (Figure 2). Parmi les analyses prévues pour retracer les changements climatiques passés, des analyses d'ADN sédimentaire lacustre seront réalisées. Elles permettront également de traiter des questions de paléocéologies telles que les interactions entre une espèce invasive, le lapin, et l'environnement (cf. : Encadré 3).

Comme pour toutes les archives, l'étape indispensable à l'obtention de reconstitutions paléoclimatiques et paléocéologiques est la datation. Pour les sédiments lacustres couvrant plusieurs milliers d'années, elle s'appuie en grande partie sur les analyses radiocarbone (14C) de macro-restes de végétaux. Cependant, en milieu glaciaire, il peut être difficile de trouver des restes végétaux dans les carottes. La chronologie des éruptions volcaniques, récemment établie par notre équipe sur les sédiments du Lac d'Armor¹¹, pourra être utilisée pour apporter des éléments de datation supplémentaires.

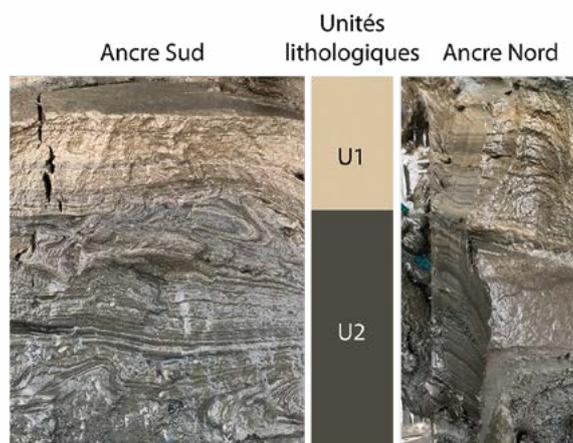
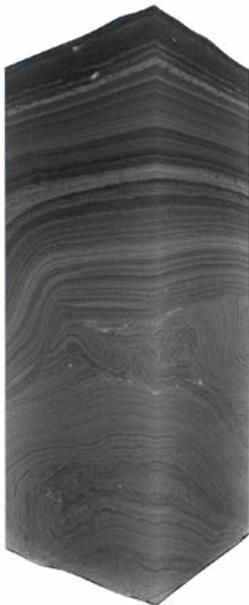


Figure 6. Illustration de la sédimentation du lac de Guynemer.

La partie de gauche de la figure présente une image tomographique (CT-scan) en 3 dimensions de la carotte de sédiments prélevée dans l'ancre située au sud du lac. Elle fait ressortir les sédiments argileux plus denses (en noir), les silts et sables moins denses (en blanc) et met en évidence les déformations en 3 dimensions causés par un glissement subaquatique. La partie de droite montre des photos prises sur le terrain des sédiments remontés des ancrs sud et nord et leur découpage en unité lithologiques.

¹¹ Arnaud et al., 2020



encadré 3.

HISTOIRE DE L'INVASION DES LAPINS À KERGUELEN ET IMPACT ÉCOLOGIQUE

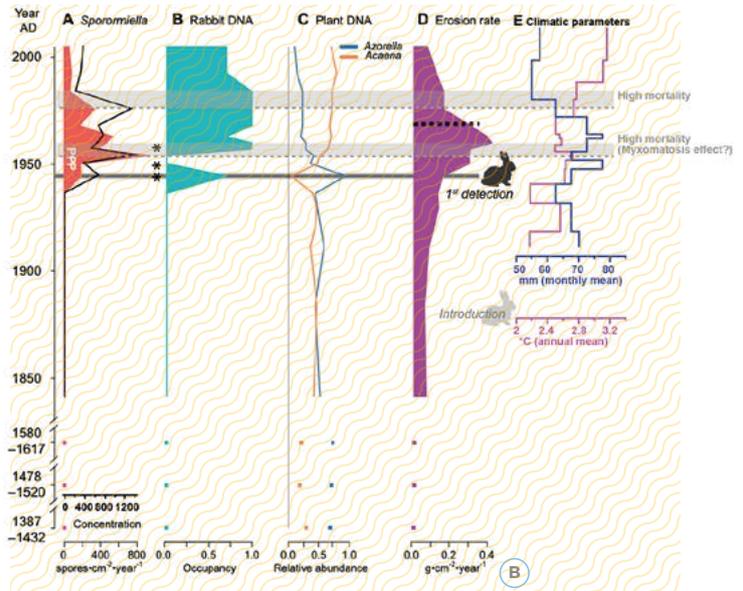
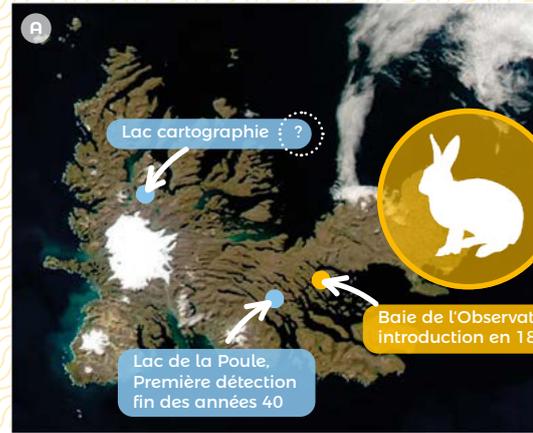
Les lapins ont été introduits dans la Baie de l'Observatoire en 1874 par les navigateurs britanniques de l'HMS Volage. L'objectif était de garantir, notamment en cas de naufrage, une ressource de nourriture sur cette île dépourvue de mammifères. L'introduction a été un succès dans le sens où les lapins ont bel et bien pullulé. En revanche, elle a entraîné une crise écologique majeure. En effet, au cours des missions scientifiques qui ont suivi, c'est tout d'abord l'effet sur la flore endémique, avec la quasi-disparition du chou de Kerguelen (*Pringlea antiscorbutica*), le remplacement des tapis d'*Azorella* Selago par les *Acaena* *Magellanica*, qui ont été observés, puis l'effet de la dégradation du couvert végétal sur l'érosion des sols.

Bien que les impacts de l'introduction de cette espèce invasive aient été décrits à de multiples reprises, nos connaissances sur la dynamique temporelle de l'invasion et les réponses de l'écosystème sont encore limitées. Les archives sédimentaires lacustres constituent l'unique moyen de remonter le temps pour retracer ces dynamiques.

Lors de la précédente mission PALAS en 2014, les sédiments d'une carotte prélevée dans le lac de la Poule ont fait l'objet d'analyses d'ADN de plantes et de mammifères (Fig. A). Celles-ci ont permis de mettre en évidence l'arrivée du lapin dans le bassin versant vers la fin des années 1940, c'est-à-dire environ 70 ans après leur introduction sur l'île à une dizaine de kilomètres à vol d'oiseau (Fig. B). Cette présence est confirmée par l'observation de spores de champignons coprophiles (*Sporomielia* sp.) se développant sur les déjections des herbivores. L'invasion du lapin provoque très rapidement une crise érosive qui perdure jusqu'au milieu des années 1960. Si l'érosion baisse depuis cette période, le changement de communauté végétale, c'est-à-dire la disparition progressive des *Azorella* au profit des *Acaena*, perdure encore aujourd'hui. Le pic d'*Azorella* dès l'arrivée des lapins s'explique très probablement par la dégradation massive de ces plantes en coussins liée à la construction des terriers (la mobilisation des fragments de coussins étant alors facilitée lors des pluies). Au milieu des années 1950, la forte mortalité des lapins suggérée par les données (chute de la concentration de *Sporomielia* et pic d'ADN dues aux cadavres), pourrait refléter l'introduction de la myxomatose en 1955-1956¹². Une seconde phase de mortalité importante est enregistrée dans les années 1975. Elle pourrait avoir été causée par le virus, la baisse des ressources de nourriture ou une autre raison. Il est intéressant de noter que la baisse de l'érosion intervient avant ce déclin important de la population de lapins, mais qu'elle est concomitante à la baisse des précipitations. La crise érosive lors de l'arrivée du lapin pourrait aussi avoir été accentuée par l'augmentation des précipitations (Fig. B).

Autour des lacs Guynemer et Mythos, seuls quelques lapins vivants ou morts ont été observés lors de notre mission PALAS 2019. Le chou de Kerguelen y est encore relativement abondant et les coussins d'*azorella* également. En revanche, près des lacs Cartographies ou sur les côtes de la baie

du Repos, plus éloignés de la calotte Cook, nous avons pu observer des populations de lapins significatives. Combien de temps a-t-il fallu aux lapins pour coloniser cette zone très éloignée de la Baie de l'Observatoire ? Quelle est l'ampleur de l'impact sur l'érosion et la végétation ? Quelles sont les dynamiques temporelles des réponses de l'écosystème mais aussi des populations de lapins (sommés-nous en phase de déclin comme autour du lac de La Poule ?) ? L'application des analyses ADN sur les sédiments du lac Cartographie permettront d'apporter des réponses à ces questions.



A) Localisation 1) des lacs ciblés pour étudier l'invasion des lapins et ses effets sur l'écosystème (en bleu) et 2) de la baie de l'Observatoire où les lapins ont été introduits (en jaune).

B) Évolution temporelle des spores de *Sporomielia* (A), de l'ADN de lapin (B), d'*Acaena* et *Azorella* (C) et du taux d'érosion dans la carotte de sédiment du lac de La Poule (D)¹⁵. Les courbes (E) représentent l'évolution des températures (moyenne annuelle) et des précipitations (moyenne mensuelle) depuis 1912 (interpolation à partir de données de stations météo à l'échelle mondiale de l'Université de Delaware¹⁴).

¹² Chappuis et al., 1995

¹³ Ficetola et al., 2017

¹⁴ Nickl et al., 2014



2.3. CARTOGRAPHIE DES MORAINES ET PRÉLÈVEMENTS POUR DATATION : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES SUR LA MARGE PROGLACIAIRE DE GUYNEMER

Le glacier de Gwynemer actuel est divisé en quatre parties de dimension inégale, avec une superficie totale de c. 1.4 km². Les deux secteurs inférieurs (0.25 km²) se tiennent 100 à 250 m en contrebas des secteurs supérieurs dont ils sont séparés par des parois non englacées ; leurs fronts descendent jusqu'à 340 et 395 m d'altitude.

La partie du complexe morainique de Gwynemer située à l'amont du cône-delta est très riche : outre les trois principales moraines latéro-frontales (Mg-4 à 6) à l'aval du lac supérieur, entre lesquelles des cordons généralement moins continus sont présents, de très nombreux cordons encadrent ce lac, en particulier sur sa rive nord, marqueurs du retrait glaciaire depuis 1963 ; le flanc interne de la plus grande de ces moraines, dont la partie apparente domine le lac de 30 m, est soumise à un ruissellement actif (Figure 7a). Quelques cordons perchés à > 300 m sur la rive sud sont possiblement raccordés à l'ensemble Mg4-6.

Trois moraines sont présentes autour du lac Gwynemer inférieur : Mg-3 sur le replat intermédiaire de la rive ouest, entre 165 et 200 m d'alt., Mg-2 à son extrémité nord, quelques m au-dessus du lac, et Mg-1 sur un replat de la rive est, à 190 m. 40 échantillons ont été prélevés pour la datation cosmogénique de Mg-1 (2), Mg-2 (3), Mg-3 (3), Mg-4 (7), Mg-5 (8), Mg-6 (5) et sur 12 blocs erratiques distribués à différentes altitudes (maxi : 305 m) autour du lac inférieur y compris sur le seuil qui se tient vers 150 m d'alt. entre les lacs Louise et de Gwynemer.

La même approche cartographique et de prélèvements a été appliquée dans les marges proglaciaires Agassiz (Figure 7b) et de Chamonix. Des échantillons ont également été prélevés sur des roches moutonnées et des blocs erratiques le long d'un transect altitudinal de 500 m entre le Lac Athéna 2 et le sommet du Mont Fauve (Figures 2 et 7c). Ces travaux permettront de documenter des phases d'extension des glaciers Agassiz et de Chamonix.

superficie totale de c.



c. = circa, c'est-à-dire « environ »

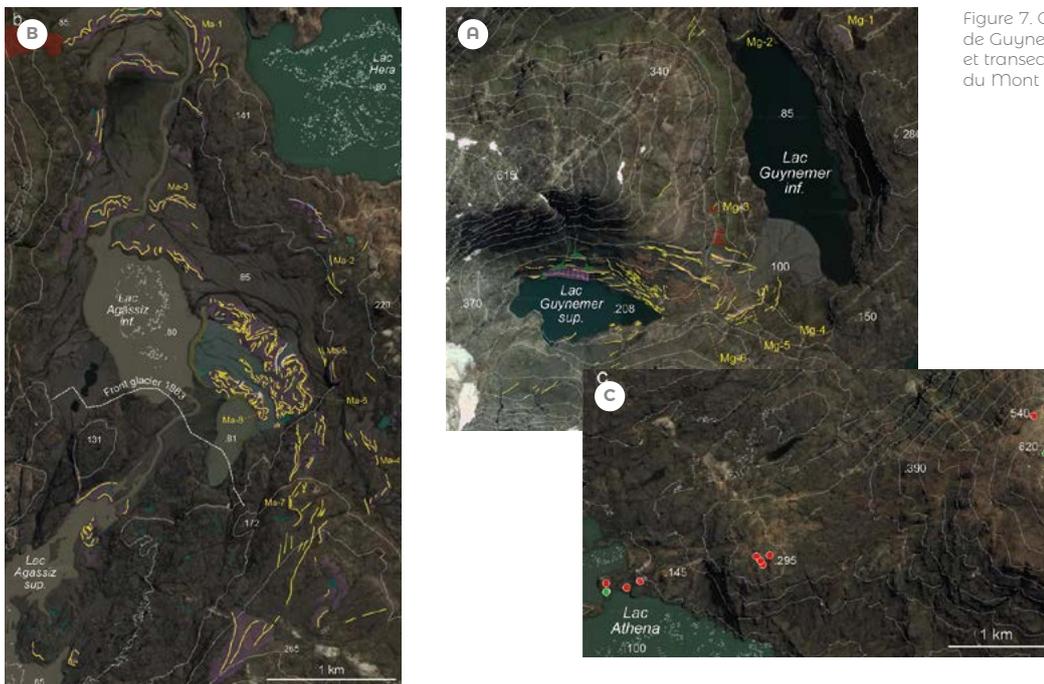


Figure 7. Complexes morainiques de Guynemer (a) et Agassiz (b), et transect d'échantillonnage du Mont Fauve (c).

CONCLUSION

Le travail de cinq carotteurs et trois géomorphologues pendant un mois sur le terrain et la logistique mise en place par l'Institut polaire français ont permis le prélèvement d'une quantité incroyable d'échantillons : 127 m de sédiments et 110 fragments de roches.

Les résultats préliminaires de cette mission ont déjà fourni une cartographie des formations glaciaires de la zone d'étude, située entre la calotte Cook et la presqu'île de la Société de Géographie. Les premières analyses de deux carottes courtes provenant du lac Guynemer montrent déjà des changements récents dans la dynamique de sédimentation et soulèvent des questions sur l'enregistrement potentiel de l'activité sismique en lien avec le volcanisme. La datation de ces carottes permettra d'apporter des réponses à ces questions. L'étude des autres carottes débutera en juin 2020 et les analyses des isotopes cosmogéniques pour dater les formations glaciaires sont en cours. Des reconstitutions des fluctuations des glaciers et paléoclimatiques arriveront donc prochainement.

REMERCIEMENTS

Toute l'équipe PALAS remercie l'Institut polaire sans lequel la campagne PALAS 2019 n'aurait tout simplement même pas pu être imaginée. En particulier, l'équipe de la logistique subantarctique nous a accompagné dès la conception de la campagne. Son professionnalisme et son dévouement total sur le terrain, au service de la science, ont sans nul doute rendu possible ce qui semblait à beaucoup impossible.

RÉFÉRENCES

Arnaud, F., Pierre, S., Leloup, L., Servettaz, A., Moine, B., Davelle, A.L., Guédron, S., et al. 2020.

"Holocene Tephrochronology of Kerguelen Archipelago, Subantarctic Indian Ocean."
EarthArXiv. May 20. doi:10.31223/osf.io/5jnu6.

Dätwyler, C., Neukom, R., Abram, N.J., Gallant, A.J.E., Grosjean, M., Jacques-Coper, M., Karoly, D.J., Villalba, R., 2018.

Teleconnection stationarity, variability and trends of the Southern Annular Mode (SAM) during the last millennium. *Clim. Dyn.* 51, 2321–2339.
<https://doi.org/10.1007/s00382-017-4015-0>

Favier, V., Verfaillie, D., Berthier, E., Menegoz, M., Jomelli, V., Kay, J.E., Ducret, L., Malbêteau, Y., Brunstein, D., Gallée, H., Park, Y.-H., Rinterknecht, V., 2016.

Atmospheric drying as the main driver of dramatic glacier wastage in the southern Indian Ocean. *Sci. Rep.* 6, 32396.
<https://doi.org/10.1038/srep32396>

Ficetola, G. F., Poulencard, J., Sabatier, P., Messenger, E., Gielly, L., Leloup, A., Étienne, D., Bakke, J., Malet, E., Fangeat, B., Storen, E., Reyss, J.-L., Taberlet, P., Arnaud, F., 2018.

DNA from lake sediments reveals long-term ecosystem changes after a biological invasion. *Sci. Adv.* 4, eaar4292

Fletcher, M.-S., Moreno, P.I., 2011.

Zonally symmetric changes in the strength and position of the Southern Westerlies drove atmospheric CO₂ variations over the past 14 ky. *Geology* 39, 419–422.
<https://doi.org/10.1130/G31807.1>

Jomelli, V., Mokadem, F., Schimmelpennig, I., Chapron, E., Rinterknecht, V., Favier, V., Verfaillie, D., Brunstein, D., Legentil, C., Michel, E., Swingedouw, D., Jaouen, A., Aumaitre, G., Bourlès, D.L., Keddadouche, K., 2017.

Sub-Antarctic glacier extensions in the Kerguelen region (49°S, Indian Ocean) over the past 24,000 years constrained by 36 Cl moraine dating. *Quat. Sci. Rev.* 162, 128–144.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.010>

Kilian, R., Lamy, F., 2012.

A review of Glacial and Holocene paleoclimate records from southernmost Patagonia (49–55°S). *Quat. Sci. Rev.* 53, 1–23.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.07.017>

Le Roy, M., Deline, P., Carcaillet, J., Schimmelpennig, I., Ermini, M., 2017.

¹⁰Be exposure dating of the timing of Neoglacial glacier advances in the Ecrins-Pelvoux massif, southern French Alps. *Quat. Sci. Rev.* 178, 118–138.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.10.010>

Le Roy, M., Nicolussi, K., Deline, P., Astrade, L., Edouard, J.-L., Miramont, C., Arnaud, F., 2015.

Calendar-dated glacier variations in the western European Alps during the Neoglacial: the Mer de Glace record, Mont Blanc massif. *Quat. Sci. Rev.* 108, 1–22.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.033>

Li, C., Sonke, J.E., Le Roux, G., Van der Putten, N., Piotrowska, N., Jeandel, C., Mattioli, N., Benoit, M., Wiggs, G.F.S., De Vleeschouwer, F., 2020.

Holocene dynamics of the southern westerly winds over the Indian Ocean inferred from a peat dust deposition record. *Quat. Sci. Rev.* 231, 106169.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106169>

Nesje, A., 1992.

A Piston Corer for Lacustrine and Marine Sediments. *Arct. Alp. Res.* 24, 257.
<https://doi.org/10.2307/1551667>

Nesje, A., Kvamme, M., Rye, N., Løvlie, R., 1991.

Holocene glacial and climate history of the Jostedalsgreen region, Western Norway; evidence from lake sediments and terrestrial deposits. *Quat. Sci. Rev.* 10, 87–114.
[https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90032-P](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90032-P)

E. Nickl, C. J. Willmott, K. Matsuura, S. M. Robeson, 2010.

Changes in annual land-surface precipitation over the twentieth and early twenty-first century. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 100, 729–739

Oppedal, L.T., Bakke, J., Paasche, Ø., Werner, J.P., van der Bilt, W.G.M., 2018.

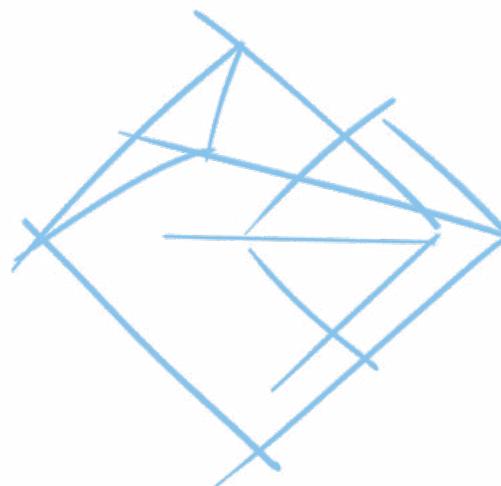
Cirque Glacier on South Georgia Shows Centennial Variability over the Last 7000 Years. *Front. Earth Sci.* 6, 2.
<https://doi.org/10.3389/feart.2018.00002>

Saunders, K.M., Kamenik, C., Hodgson, D.A., Hunziker, S., Siffert, L., Fischer, D., Fujak, M., Gibson, J.A.E., Grosjean, M., 2012.

Late Holocene changes in precipitation in northwest Tasmania and their potential links to shifts in the Southern Hemisphere westerly winds. *Glob. Planet. Change* 92–93, 82–91.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.04.005>

Shulmeister, J., Goodwin, I., Renwick, J., Harle, K., Armand, L., McGlone, M.S., Cook, E., Dodson, J., Hesse, P.P., Mayewski, P., Curran, M., 2004.

The Southern Hemisphere westerlies in the Australasian sector over the last glacial cycle: a synthesis. *Quat. Int.* 118–119, 23–53.
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00129-0)







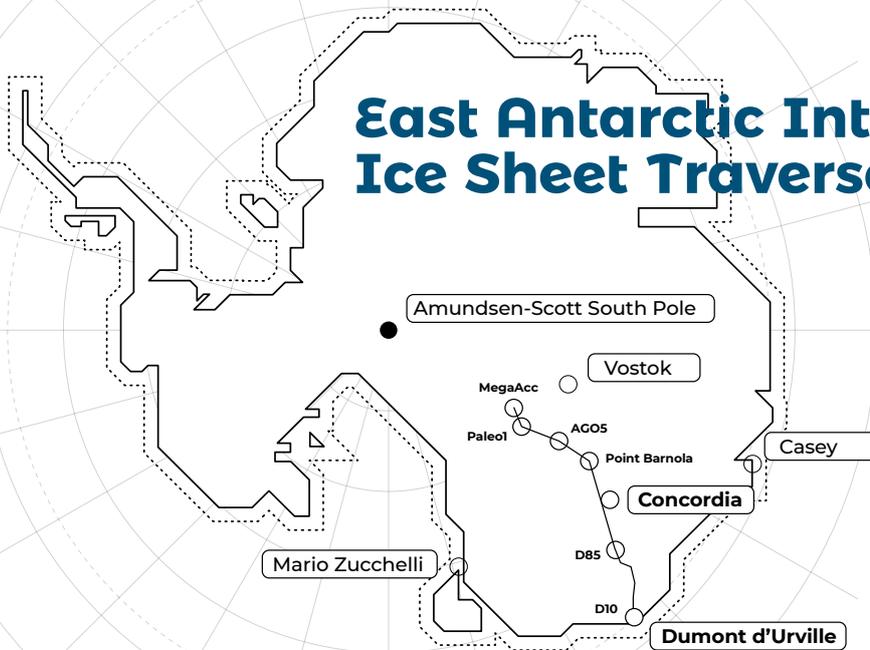
EAIIST

East Antarctic International Ice Sheet Traverse

Auteur

Joël SAVARINO

Coordinateur programme EAIIST.
Grenoble

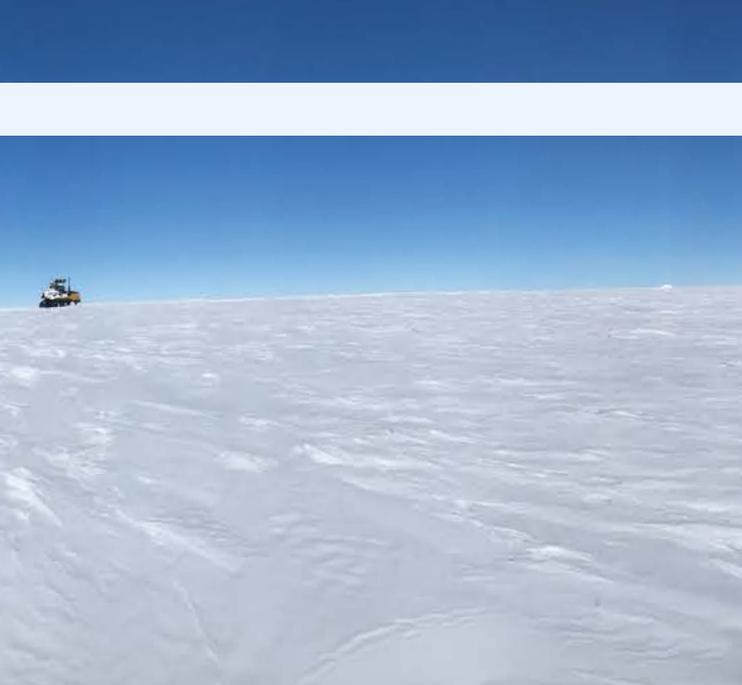


INTRODUCTION

UNE COURTE ET FORCÉMENT INCOMPLÈTE HISTOIRE DES RAIDS TERRESTRES EN ANTARCTIQUE.

Henry Shackleton. L'expédition *Imperial Trans-Antarctic Expedition* de 1914, plus connue sous le nom du navire qui fût englouti par les glaces, *l'Endurance*, avait pour objectif de traverser le continent antarctique, de la mer de Weddell à la mer de Ross en passant par le pôle Sud. L'équipe de Shackleton devait utiliser des traîneaux tirés par des chiens et s'appuyer sur une seconde équipe logistique déployée en mer de Ross. Elle devait constituer des points de vivre sur la dernière partie du trajet, ce qu'elle fera mais déplorera le décès de trois membres de cette seconde équipe.

À tout seigneur tout honneur, le premier à avoir imaginé, pensé, organisé et tenté de réaliser un raid terrestre sur le continent antarctique est l'incroyable *Ernest*



Les « polaires » connaissent tous cette histoire incroyable de l'Endurance, ce monument épique de la survie en milieu polaire et hostile, de la traversée inconcevable en barque entre l'île inhospitalière et glacée de l'Éléphant et la Géorgie du Sud. Cette expédition fût une prouesse (une histoire de survie exemplaire sous le commandement de Shackleton) dans un échec.

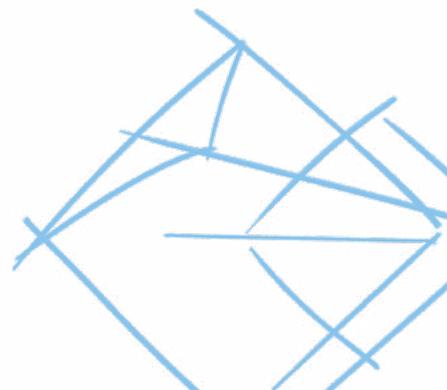
Il faudra attendre près de 50 ans et la troisième année polaire internationale de 1957-1958 pour que le premier raid terrestre visant une traversée intégrale du continent antarctique ait lieu en 99 jours et 3500 km parcourus. C'est l'explorateur britannique *Vivian Fuchs* et son équipe partie de la mer de Weddell qui traverseront les premiers l'Antarctique en Tucker Sno-cat et Bombardier Muskeg. Ils seront aidés par une équipe de soutien conduite par l'illustre Sir *Edmund Hillary* qui traça la dernière section du trajet entre la mer de Ross et le pôle Sud.

Deux ans plus tard, après son hivernage à la station Charcot en 1957, le glaciologue Français *Claude Lorius* effectuera un raid mécanisé, invité par une équipe américaine pour la *Victoria Land Traverse*, et co-découvrira une chaîne de montagne alors non-mentionnée dans les relevés topographiques. Fort de son expérience polaire, *Claude Lorius* sera à l'initiative de l'*International Antarctic Glaciological Project* (IAGP) avec des collègues russes, américains, australiens et anglais. Ce programme de glaciologie qui a couru de 1969 à 1980 avait pour but d'étudier et de comprendre l'histoire, l'évolution, l'écoulement, la topographie de surface et du socle rocheux de la calotte polaire de l'Antarctique de l'Est grâce aux raids terrestres et sondages aériens¹. Ce programme fût très certainement le premier à utiliser les raids terrestres comme un outil de recherche complet et non plus uniquement d'exploration avec quelques mesures scientifiques à la clef, avec un programme scientifique complet incluant de la géodésie, de la géophysique, de la sismologie, l'analyse des propriétés physique et chimique de la glace,

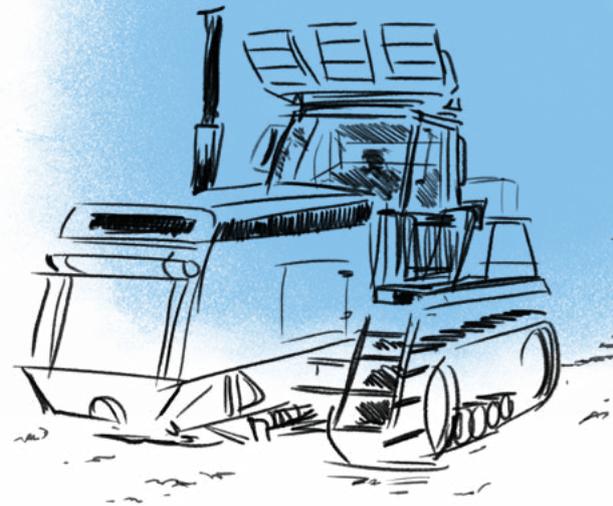
un programme de forage. C'est à partir des données acquises durant l'IAGP que sera déterminé entre autres l'emplacement des forages profonds à D47 et au Dôme C (données radar aériennes pour le forage Dôme C 78) et par voie de conséquence l'emplacement de la station Concordia.

Point ici n'est besoin de détailler tous les raids qui ont suivis, notons tout de même que 10 ans après la fin du programme IAGP, l'initiative *International Trans-Antarctic Scientific Expedition* (ITASE), coordonnées par les USA a été lancée encore une fois en France, à Grenoble et a réuni 20 nations. Ce programme international, qui a perduré jusqu'à l'horizon 2010, a permis l'exécution de plusieurs raids scientifiques dont le but était de spatialiser les données climatiques, météorologiques, géophysiques, chimiques.

C'est dans le cadre d'ITASE que la France s'est relancée dans l'aventure des raids scientifiques. Fort de 20 ans d'expériences acquises avec le raid logistique alimentant la station Concordia et suite au renouvellement d'une partie du parc de véhicules, l'Institut polaire français a acquis de nouvelles capacités de raids scientifiques, avec une caravane vie et énergie, des laboratoires mobiles et des traîneaux, 30 ans après le programme IAGP. Les scientifiques ont ainsi pu conduire depuis 2010 une série de raids scientifiques comme le programme VANISH (raid aller/retour Concordia-Vostok), ABN (raid franco-australien Dumont d'Urville-Aurora Basin North) ou ASUMA (raid côtier autour de Dumont d'Urville). Tous ont plus ou moins suivi un programme scientifique identique, proche des préconisations de l'IAGP. Un raid scientifique bien que moins cher qu'une campagne océanographique ou aéroportée reste tout de même un effort financier conséquent et tous tentent d'y inclure un maximum d'expérience scientifique afin de valoriser au mieux les investissements. Le raid EALIST qui a eu lieu durant la campagne d'été 2019-2020 n'a pas échappé à cette logique. En voici le récit.



PRÉPARATIFS



CONSTRUCTION DU PROJET ET FINANCEMENT

Dans la lignée des projets passés et devant l'absence de données de surface sur un tronçon Dôme C - Pôle Sud qui correspond au basculement de l'écoulement de la glace vers la partie ouest de l'Antarctique, l'idée a germé d'effectuer un raid scientifique sur ce tronçon. Profitant d'un passage à McMurdo en 2012, j'ai pu m'entretenir avec la responsable du programme de glaciologie de la *National Science Foundation* (NSF) de l'époque, *Julie Palais*, pour connaître son sentiment sur l'idée d'un raid Dôme C - Pôle Sud en collaboration avec des équipes américaines. Suite à ses encouragements, les premiers contacts ont été formalisés avec des équipes italiennes et américaines puis, par la suite, avec des chercheurs australiens.

Un premier workshop fût organisé à Grenoble en septembre 2014, suivi par la rédaction d'un livre blanc où était consigné les questions scientifiques, les participants, le trajet, le plan de financement et le calendrier envisagé. Compte tenu des distances à parcourir en deux mois de raid, ce trajet (3 300 km aller/retour) ne pouvait s'effectuer qu'en deux saisons : Dôme C-Pôle Sud à l'année n avec hivernage des véhicules à Pôle Sud et le retour à l'année n+1. Ce schéma imposé par la distance à parcourir présentait aussi le double avantage de traverser des structures topographiques particulières comme les mégadunes ou les surfaces « vitrées » et de pouvoir laisser sur les sites visités une série d'expériences avec récupération l'année suivante lors du retour sur Concordia. Cela nécessitait donc un soutien logistique (fuel, hivernage des véhicules, maintenance) de la part de la station Pôle Sud. Malheureusement, une difficulté majeure dans ce type de projet est très vite apparue : celui de coordonner le soutien logistique et financier de plusieurs nations, aucun pays ne dis-

posant des mêmes moyens, procédures et structures de financement de sa recherche polaire. Au fil du temps, la NSF est devenue de plus en plus réticente à accueillir le raid à Pôle Sud pour des raisons internes. De surcroît, le projet américain a été systématiquement mal évalué par le comité de sélection des projets sur lequel s'appuie la NSF pour financer ou non un projet. Il s'en est suivi un long parcours de dépôt de dossier et rejet du côté américain pour finalement aboutir au retrait des équipes US en 2018 et à une participation des Australiens sans implication sur le terrain. Les Italiens ayant obtenu leur financement via leur Programme national de recherche antarctique (PNRA) ainsi que les équipes françaises grâce aux financements de l'Agence nationale de la recherche, de la fondation BNP-Paribas et de l'Institut polaire français, deux workshops en octobre 2018 et 2019 et de multiples échanges avec les instituts polaires ont permis de jeter les bases du raid : le parcours (aller/retour au point médian Concordia-Pôle Sud), les activités de recherche et les participations au raid.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Au cours des premières réunions, trois questions scientifiques ont été retenues.

La première est celle du bilan de masse de l'Antarctique qui touche directement l'élévation du niveau des mers. Les projections du rapport spécial sur les océans et la cryosphère du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) indique une forte augmentation du niveau des mers à l'horizon 2100 de 20 à plus de 100 cm. Cette large fourchette est en grande partie due à l'incertitude pesant sur le bilan de masse de l'Antarctique. Or, si les côtes perdent de plus en plus de glace, qu'en est-il du plateau antarctique ? Dans un climat plus chaud, l'atmosphère contiendra plus d'humidité et il est attendu une augmentation des précipitations neigeuses sur le continent antarctique qui, à défaut de renverser la tendance pourrait ralentir la vitesse d'augmentation du niveau des mers. 1 % de perte de masse du continent antarctique se traduit par une augmentation de 70 cm du niveau de l'océan.

mégadunes

Ondulation de la surface d'une amplitude de quelques dizaines de mètres pour une longueur d'onde de quelques km. Structure qui se forme par l'effet combiné du vent, de l'accumulation et de la pente de la surface.

vitrées

Surface durcie par le vent présentant très peu de relief de surface, ne permettant pas à la neige de se déposer.



Avec 10 % de la population mondiale vivant à moins de 10 m d'altitude de la mer, les conséquences seront catastrophiques pour les sociétés et la biodiversité marine. Il est donc essentiel de mesurer l'évolution des taux d'accumulation de neige sur les parties centrales de l'Antarctique et de les replacer dans un contexte historique sur les derniers milliers d'années pour obtenir les meilleures projections futures possibles.

La deuxième question portée par le projet EAIIST touche à la qualité des enregistrements glaciologiques contenus dans la glace. Sur les sites de forage profond comme Vostok ou Concordia, durant les périodes glaciaires l'accumulation de neige était environ deux fois inférieure à ce qu'elle est en période chaude. Or dans les zones hyperarides de l'Antarctique, il peut se former des structures de surface tout à fait particulières comme les mégadunes où l'accumulation de neige est très variable (perte sous le vent et gain au vent de la dune) et peut conduire à des biais d'enregistrement des signaux climatiques et chimiques. Aller étudier ces zones de mégadunes et autres surfaces où l'accumulation de neige subit des phénomènes d'ablation permet de mettre le pied sur des terrains analogues à ce qui a pu se passer en période glaciaire à Vostok ou Concordia et de voir comment les signaux s'enregistrent.

La dernière question abordée par EAIIST touche à la représentativité des mesures faites actuellement à proximité de stations de recherche comme Concordia. L'activité d'une station fonctionnant au fioul génère inévitablement une pollution locale de la neige dont les conséquences sont parfois difficiles à évaluer : contamination de la neige, structure thermique du manteau neigeux, redistribution de la neige par le vent, absence de marquage des zones d'échantillonnage, passage des véhicules non répertoriés, etc.. La possibilité de conduire des expériences en terrain vierge permet alors d'évaluer l'impact et les biais que l'activité d'une station peut générer.

Enfin, notons que EAIIST a obtenu le label *Year Of Polar Prediction* (YOPP), une initiative internationale coordonnée par l'Organisation mondiale de la météorologie dont le but est de promouvoir la recherche coopérative internationale permettant le développement de meilleurs services de prévisions météorologiques et environnementales pour les régions polaires, sur des échelles de temps allant des heures aux saisons. EAIIST a donc prévu de mettre à disposition de la communauté l'ensemble de ses données météorologiques.



LE CONSORTIUM

Le projet a rassemblé une vingtaine d'équipes, avec la participation des laboratoires LSCE, CEREGE, IPGS, IGE pour la France, l'INGV, le CNR, l'ENEA, les universités de Venise, Bologne, Florence pour l'Italie, l'AAD pour l'Australie auxquels il faut bien sûr ajouter l'Institut polaire français et le PNRA pour les aspects logistiques. De ces équipes viendront les participants au raid.



LE PARCOURS SOUHAITÉ

Ayant intégré la non-participation américaine au projet, une nouvelle route a été définie avec la contrainte de pouvoir faire l'aller/retour dans la

même saison puisque plus aucun support n'était possible à Pôle Sud. Avec la volonté de préserver les objectifs initiaux du projet, il a été finalement décidé d'aller jusqu'aux zones de mégadunes, à quelques 640 km de Concordia. Cette distance à faire en aller/retour, possible en une saison, permettait aussi la récupération par voie aérienne ou terrestre d'une partie de l'équipement scientifique que le raid laisserait sur place pour couvrir une année complète d'enregistrement. Sur la base des questions scientifiques et des cartes satellites, cinq lieux ont été définis (Tableau 1).

	POINT BARNOLA	AGOS	PALÉO	WIND	MEGA accumulation	MEGA érosion
Coordonnées	75°42'33"S 123°15'30"E	77°14'17"S 123°28'35"E	79°38'47"S 126°8'15"E	80°47'58"S 122°10'38"E	80°34'15"S 121°38'33"E	80°34'39"S 121°47'58"E
Distance Concordia / km	68	239	512	637	613	612
Intérêts	Proche de Concordia sans pollution	Station géophysique américaine, zone à accumulation régulière	Zone à l'accumulation régulière	Surface vitrée probablement en ablation	Zone de mégadunes en accumulation	Zone de mégadunes en érosion

tableau 1 . Lieux définis pour des arrêts prolongés « science ».

PROGRAMME SCIENTIFIQUE

Comme mentionné plus haut, l'organisation d'un raid scientifique en milieu hostile, isolé, contraignant tant pour les machines que pour les hommes, présente des coûts significatifs qu'il convient de minimiser en maximisant les retours scientifiques possibles, tout en répondant aux questions scientifiques. Avec cette ligne directrice, les activités scientifiques envisagées étaient les suivantes (ci-dessous). Toutes ces tâches étant inégalement réparties suivants les sites visités.

PHYSIQUE DE LA NEIGE

- **ALBÉDO SPECTRAL** pour le bilan d'énergie
- **STRUCTURE DE LA NEIGE ET RUGOSITÉ DE SURFACE** pour le bilan d'énergie et comparaison avec les mesures micro-ondes satellites
- **DENSITÉ DE LA NEIGE** pour le bilan d'énergie et d'accumulation
- **GRADIENTS THERMIQUES et PÉNÉTRATION DE LA LUMIÈRE DANS LE MANTEAU NEIGEUX** pour le bilan d'énergie
- **DÉPÔT DE BALISES** pour mesurer l'accumulation

CHIMIE DE LA NEIGE

- **PUITS DE NEIGE** pour la mesure des enregistrements glaciologiques de surface
- **NEIGE DE SURFACE** pour la variabilité spatiale de l'enregistrement
- **FORAGES** pour les mesures d'accumulation et la variabilité spatiale et historique de l'enregistrement

GÉOPHYSIQUE

- **RADAR DE SURFACE** pour déterminer l'empilement des couches de neige et suivre spatialement l'évolution de l'accumulation
- **STATIONS SISMIQUES** pour sonder les soubresauts du glacier et son épaisseur
- **STATIONS GPS** pour déterminer les directions et vitesses d'écoulement

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHÈRE

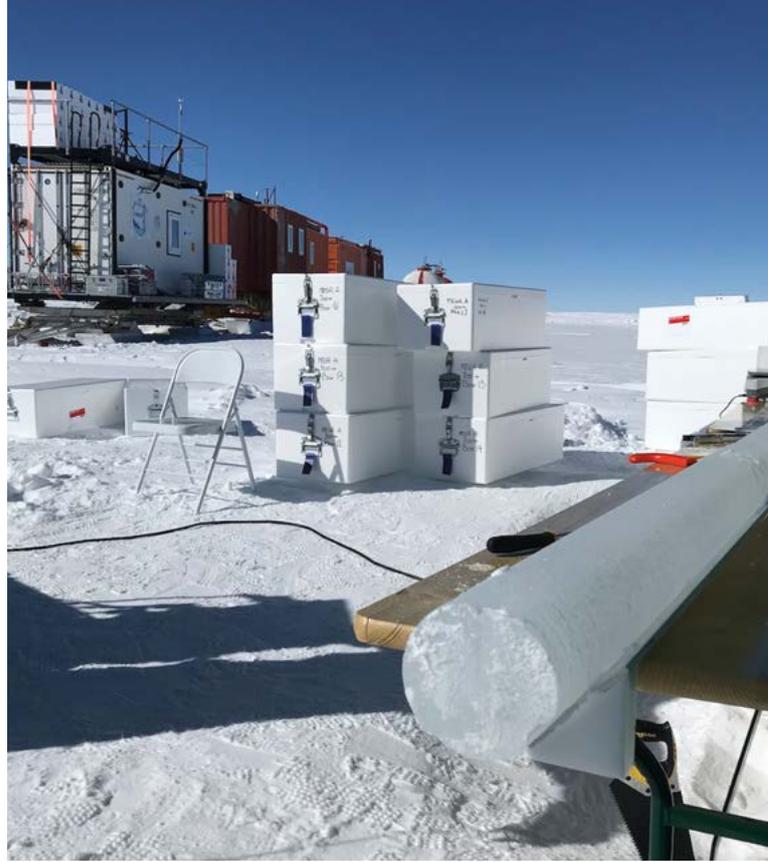
- **TEMPÉRATURE, HUMIDITÉ, PRESSION, VITESSE ET DIRECTION DU VENT, RADIATION SOLAIRE, ACCUMULATION** pour le bilan de masse et la météorologie

CHIMIE DE L'ATMOSPHÈRE

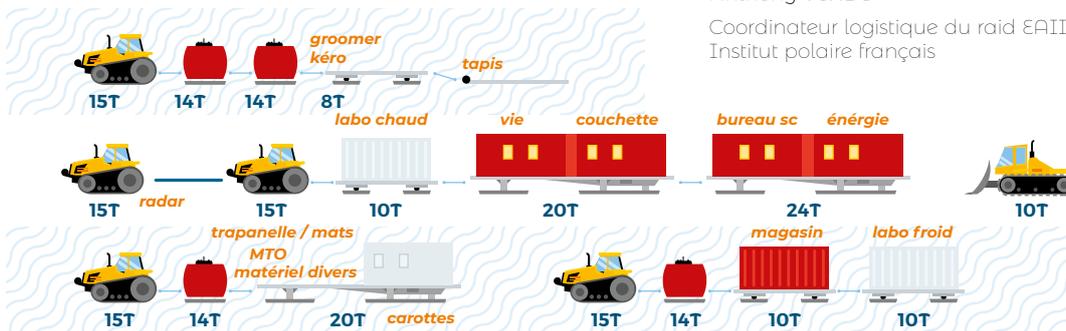
- **ISOTOPES DE LA VAPEUR D'EAU** pour les fonctions de transfert air-neige
- **MASSE ET DISTRIBUTION EN TAILLE DE L'AÉROSOLS** pour comparaison avec Concordia et pour le transport des masses d'air
- **COLLECTE D'AÉROSOLS** pour comparaison avec Concordia et fonction de transfert air-neige
- **OXYDES D'AZOTE** pour comparaison avec Concordia et fonction de transfert air-neige

ORGANISATION

Fort de ce programme scientifique, les différentes réunions de travail ont permis d'établir un chronogramme, la configuration du raid, une répartition des tâches et la rotation du personnel. Une saison sur le plateau antarctique n'ouvre qu'une soixantaine de jours d'activités scientifiques en saison d'été. En tenant compte des préparatifs nécessaires, c'est au final cinquante jours de raid qui étaient disponibles pour réaliser EAIIST. À ces cinquante jours sur le plateau antarctique, il fallait ajouter 2 x 10 jours de conduite pour acheminer les véhicules de la côte à Concordia et les redescendre. Pour permettre à toutes les expériences scientifiques d'être réalisées, une rotation de personnel devait s'effectuer sur la zone des mégadunes permettant ainsi à 15 personnes en tout de participer alors que le raid ne peut accueillir que 10 couchages.



CONSTITUTION DU RAID



Auteur

Anthony VENDÉ

Coordinateur logistique du raid EAIIST,
Institut polaire français

51T

84T

98T

243T

UNE LOGISTIQUE À LA MESURE DE L'AMPLEUR DU PROJET EAIIST

La préparation d'un raid de cette envergure commence bien en amont avec les premières réunions incluant l'Institut polaire en 2014. La logistique terrain qui a commencé à l'année N-2 pour avoir le matériel disponible durant l'année N-1 et pouvoir réaliser le programme dès le début de campagne N.

EAIIST a mobilisé une équipe logistique pendant toute une campagne d'été : le personnel EAIIST est arrivé sur site dès le début de campagne quelques jours après les techniciens ouvrant la station Robert Guillard de Cap Prud'homme, et le retour pour la France s'est fait juste avant la fermeture de cette station à R3, après avoir conditionné les échantillons retour et rangé le matériel.

En plus des 4 logisticiens mobilisés pendant toute la saison d'été, une assistance ponctuelle mais importante des personnels de Cap Prudhomme et de Concordia a été nécessaire pour la préparation du départ, la maintenance durant les escales et le rangement de fin de saison.

La circulation du convoi de 262 tonnes au départ de Dôme C a été plutôt fluide durant le raid et la

concordance avec les avions pour les échanges de personnel et de matériel scientifiques bien orchestrée malgré les conditions polaires. Ainsi pendant les 42 jours en autonomie sur le plateau Antarctique, l'équipe EAIIST a pu réaliser toutes les mesures scientifiques et les forages prévus au programme.

Mais la rudesse de l'environnement a quand même provoqué quelques avaries techniques à la fin du raid avec un moteur cassé sur un tracteur et des réparations lourdes sur le traineau du laboratoire chaud.

La logistique EAIIST s'est terminée avec la livraison des échantillons scientifiques à Grenoble et les scientifiques ont encore beaucoup de travail pour extraire le maximum d'informations sur les mesures effectuées et échantillons prélevés !

FIN DU RAID EAIIST : 75 JOURS D'AVEVENTURE DONT 10 JOURS D'ESCALE À CONCORDIA, 3657 KMS PARCOURUS, 905 MÈTRES DE CAROTTES DE GLACE PRÉLEVÉS, L'INSTALLATION DE 2 STATIONS NEIGE, 2 STATIONS MÉTÉO ET 5 STATIONS SISMO !

LE RAID

L'ÉQUIPE ET LES ASPECTS HUMAINS

La composition d'une équipe pour raid isolé en quasi autonomie n'est pas une tâche à prendre à la légère. Même si la dynamique d'un groupe vivant quasiment les uns sur les autres est difficilement prévisible, il est des atouts qu'il faut mieux mettre dans sa poche avant de partir en procession. Les contraintes de départ étaient d'avoir à bord un personnel technique compétent et expérimenté composé d'un chef de raid, deux mécaniciens et d'un docteur. Les six places restantes pour les scientifiques devaient là aussi être occupées par du personnel expérimenté connaissant parfaitement le terrain et ses conditions difficiles, être adaptable et multitâche. Il fallait aussi prendre en compte une participation franco-italienne au raid. Je souhaitais de plus la présence de femmes autant que possible, afin d'avoir des points de vue variés et complémentaires sur les sujets qui pourraient être abordés au cours des 70 jours de confinement volontaire.

L'équipe technique a été établie par l'Institut polaire. Elle était composée de Anthony Vendé, chef de raid, Alexandre Leluc et Quentin Celle, mécaniciens et Nicolas Rombauts médecin urgentiste occasionnel et cuisinier désigné.

Pour les scientifiques, les différentes réunions ont permis de dégager une équipe complémentaire et expérimentée composée de Joël Savarino (IGE), coordinateur scientifique et chimiste, de Nicolas Caillon (IGE), ingénieur chimiste, Pete Akers (IGE), chercheur post doctorat chimiste, Mathieu Casado (AWI), chercheur post doctorat chimiste, Andrea Spolaor (U. Venise), chercheur chimiste, Graziano Larocca (INGV), ingénieur géophysicien, Emmanuel Le Meur (IGE), maître de conférence géophysicien, Fanny Larue (IGE) chercheuse post doctorat physicienne (seule présence féminine à mon grand regret), Vincent Favier (IGE), physicien des observatoires, Laurent Arnaud (IGE), ingénieur physicien, Ghislain Picard (IGE), professeur physicien et Philippe Possenti (IGE), ingénieur d'étude, foreur.

Toutes ces personnes comptabilisaient des années d'expérience polaire dans toutes les configurations possibles (travail en station de recherche, en camp isolé, en raid, en milieu alpin) avec des spécialités scientifiques purement polaires. Comme cité plus haut, s'il est difficile de prédire la dynamique d'un groupe, j'ai le sentiment que l'entente a été excellente quelle que fût la composition des équipes. Chacun a su amener une personnalité, un regard complémentaire au groupe. Je n'ai ressenti que très peu de tension entre nous, chacun faisant l'effort d'être le plus accommodant possible tout en maintenant un esprit chaleureux, amical et bienveillant. Je n'ai eu quasiment aucune plainte en tant que coordinateur et celles qui ont pu remonter à mes oreilles étaient très secondaires. Les

Amundsen-Scott South Pole

MegaAcc
Paleol
AG05
Point Barnola
Concordia
D85
D10



rencontres avec le raid logistique alimentant la station Concordia sur les portions de route communes ont été des moments très forts du raid. Ce n'est pas vraiment l'endroit où on imagine croiser quelqu'un sur sa route. Se retrouver en toute amitié, au milieu de nulle part, prendre l'apéritif, partager un repas entre les « scientos » et les « technos » restera un moment fort du raid, tout comme le fût l'échange de personnel aux mégadunes.



- 1 - Nicolas Rombauts, notre doc
- 2 - Graziano Larocca, dépôt des sismomètres
- 3 - Anthony Vendé, chef de raid
- 4 - Emmanuel Le Meur, radar de surface
- 5 - Ghislain Picard, propriétés physique et optique de la neige
- 6 - Quentin Celle, mécanicien
- 7 - Andrea Spolaor, chimiste de la neige
- 8 - Philippe Possenti, foreur
- 9 - Vincent Favier, données météo et accumulation de neige
- 10 - Laurent Arnaud, ingénieur instrumentaliste
- 11 - Alexandre Leluc, mécanicien
- 12 - Nicolas Caillon, ingénieur chimiste
- 13 - Pete Akers, géochimiste
- 14 - Joël Savarino, coordinateur scientifique et chimiste atmosphère et neige
- 15 - Fanny Larue, propriétés physique et optique de la neige
- 16 - Mathieu Casado, climat et isotopes de l'eau



LE TRAJET

Le raid EAIIST s'est déroulé du 23 novembre 2019 au 5 février 2020. Le trajet, établi à partir de l'analyse de cartes satellites, s'est décomposé en 34 jours de conduite (comptant le temps d'acheminement) à 12 km/h de moyenne, 19 jours d'arrêt technique à Cap Prud'homme et Concordia et 26 jours d'arrêts « science ».

Sur la figure 2 est représentée la trace GPS du parcours suivi par le raid EAIIST avec les arrêts du soir et les sites visités (Tableau 1). Le trajet a pu suivre fidèlement le parcours envisagé. L'échange de personnel a été très fluide et s'est déroulé aux jours convenus. Très peu de soucis techniques sont venus entraver la progression du raid. On notera tout de même le dysfonctionnement d'une centrale hydraulique sans conséquence, une casse moteur sur un challengeur obligeant à une nouvelle répartition des charges mais fort heureusement ayant eu lieu sur le parcours retour et à 100 km de Concordia. Survenu plus tôt cela aurait posé de sérieux problèmes. Suivra la casse d'un timon, le remplacement d'un axe de patin de traîneau, le bris d'une vitre de la dameuse comme autres soucis mécaniques, tous ont pu être gérés sans retarder la progression du raid. L'excellente ambiance qui a régné tout au long du raid résulte aussi de cette excellente progression. Profitant d'un retour sur la côte sans pression et en avance sur le calendrier, un détour a été fait pour repasser sur un site visité par le raid ASUMA en 2017 pour réparer une station météo tombée en panne.

Figure 2. Trace GPS du parcours suivi par le raid EAIIST avec les arrêts du soir et les sites visités.

