

Antarctique 2.0°C, pourquoi localiser des manchots ?

■ Lana LENOURRY - Paul CHAMBON - Julia GRONDIN - Cédric BOTELLA - Synthèse et mise en forme par Bernard FLACELIÈRE

Le projet Antarctique 2.0°C est le premier projet mené par l'association Juste 2.0°C, forte de trente jeunes passionnés. Six étudiants et étudiantes des Écoles normales supérieures (figure 1) partent en expédition, pendant six mois, de la France jusqu'en Antarctique à bord d'un voilier aménagé en laboratoire itinérant. Leur objectif est d'étudier et analyser l'impact du réchauffement climatique sur les différents écosystèmes marins et littoraux en Antarctique. Parmi les six axes de recherches, climatologie, biogéochimie, microplastiques, sciences sociales, microbiologie et biologie des populations, nous nous intéresserons ici à ce dernier et plus particulièrement aux techniques de géolocalisation nécessaires au suivi des populations de manchots. Les partenaires français Teria (positionnement), YellowScan (LiDAR) et Instadron (drone et photogrammétrie) nous éclaireront sur leurs partenariats.

MOTS-CLÉS

Antarctique, réchauffement climatique, manchots, reproduction, localisation, GNSS, LiDAR, photographie

suivis sur le terrain : étude du régime alimentaire, analyse de l'exploitation de l'espace de pêche (ex. : volume, profondeur, temps de plongée...), analyse de la répartition interspécifique de l'espace de pêche, etc. Si les stocks des ressources alimentaires des manchots font actuellement l'objet de nombreux suivis, l'étude des habitats de reproduction reste jusqu'à présent peu explorée. Ils constituent pourtant un enjeu tout aussi important pour le succès reproducteur des manchots. Ces espaces de reproduction évoluent avec les changements actuels, parmi eux : l'élévation du niveau de la mer et le retrait des glaciers. Les colonies qui se reproduisent et nidifient en bord de plage peuvent voir leur espace de nidification diminuer, voire disparaître selon la topographie locale. À l'inverse, les colonies dont l'espace est limité par la présence de glaciers, peuvent, elles, gagner du terrain. Au regard des changements en cours et à venir, la disparition de certaines colonies et des flux migratoires de manchots sont à prévoir. Pour mieux anticiper ces flux et les possibles relocalisations attenantes, il est nécessaire de mener une analyse de l'exploitation des espaces terrestres par les manchots. Cet enjeu est d'autant plus important que certaines espèces de manchots cohabitent au sein de mêmes espaces de reproduction. En péninsule Antarctique, par exemple, les espaces de reproduction sont souvent partagés entre manchots Adélie, papous et à jugulaire. Aux changements climatiques, globaux et anthropiques s'ajoutent donc de la compétition interspécifique pour les ressources trophiques et d'espace. Il est possible que les relations de compétitions évoluent sous l'influence des changements des espaces terrestres, mais aussi sous l'effet de la pression de compétition interspécifique. Nous nous questionnons sur les modalités de la répartition et de la ségrégation spatiale des manchots Adélie, papous

Cette fantastique mission, pourquoi et comment ?

■ Contexte de l'étude

Le changement climatique et les changements globaux sont au cœur des sujets actuels de société ; chercheurs, initiatives citoyennes, entreprises et politiques se saisissent de la question de l'anthropisation et de ses conséquences. Les regards se tournent aujourd'hui sur les régions polaires : l'Arctique comme l'Antarctique sont en mutation. Ces mutations sont étudiées et suivies par la communauté scientifique dont le travail permet de mettre en place des mesures de gestion adaptées. Dans ce contexte, tout indicateur et témoin de l'état des écosystèmes est scrupuleusement observé. C'est notamment le cas de la composante biotique de ces écosystèmes. Dans les régions australes, les manchots sont

utilisés comme "sentinelles" des milieux austraux. Ce titre de sentinelle s'explique par l'exploitation tant du milieu marin que terrestre par ces oiseaux (figure 2). Ces espèces dépendent en effet des stocks de ressources marines pour se nourrir ainsi que de la disponibilité des espaces terrestres pour se reproduire. Le réchauffement climatique et les changements globaux associés modifient ces espaces et génèrent de nouvelles pressions sur les populations locales de manchots, de même que la présence humaine, touristique comme scientifique, accrue en région australe. Les pressions exercées sur les populations modifient leur structure. L'une de ces pressions résulte de la variation des stocks alimentaires, aujourd'hui les comportements alimentaires des manchots sont relativement bien



Figure 1. De G à D : Lana est en charge du suivi des manchots, Baptiste de la microbiologie, Niels étudie la climatologie, Margot s'intéresse à la sociologie des sciences, Olivier s'occupe de la chimie des microplastiques et Clément de la biogéochimie.



et à jugulaire. Comment ces espèces occupent-elles leurs espaces de reproduction en fonction des caractéristiques topographiques du terrain et comment se répartissent-elles l'espace en cas de cohabitation ?

C'est au travers de l'expédition antarctique que Lana Lenourry essaie de répondre à ces questionnements. Cette étude est encadrée par le Dr Céline Le Bohec (Centre Scientifique de Monaco & Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien) et le Dr Daniel Zitterbart (*Woods Hole Oceanographic Institution*).

■ Présentation de l'expédition porteuse de l'étude

L'étude des manchots s'inscrit dans le cadre de la mission Antarctique 2.0°C, expédition scientifique et étudiante à la voile à destination de la péninsule Antarctique. Cette expédition est juridiquement portée par l'association étudiante Juste 2.0°C, une association loi 1901 reconnue d'intérêt général qui a pour objectif de soutenir et de promouvoir des projets associant recherche scientifique, sensibilisation et initiatives. L'expédition interdisciplinaire rassemble six étudiants des Écoles normales supérieures provenant de diverses disciplines : biogéochimie, microbiologie, climatologie, sciences sociales, chimie et biologie des populations. L'objectif commun des six projets scientifiques est l'étude des sciences environnementales et l'impact de l'anthropisation sur les écosystèmes atlantiques et austraux. Ce projet scientifique est encadré par une quinzaine de laboratoires français et internationaux.



© Baptiste Arnaud - Juste 2.0°C

Figure 2. Une colonie de manchots Adélie.



Figure 3. Une base fixe équipée du récepteur GNSS PYX Teria.

© Baptiste Arnaud - Juste 2.0°C

■ La campagne de terrain

La campagne a été réalisée de manière itinérante, l'usage du voilier a permis de partir de Marseille, le 6 octobre 2021, pour rejoindre la péninsule Antarctique et descendre jusqu'à la base scientifique ukrainienne Akademik Vernadsky tout en réalisant les divers protocoles scientifiques. Sur ce transect, onze colonies de manchots ont pu être cartographiées par LiDAR ou par photogrammétrie lorsque l'accessibilité au terrain ne permettait pas de descendre le Matrice 300 RTK (parfois trop encombrant).

En descendant sur le terrain, la première étape est d'installer la station de base pour la laisser en place le plus longtemps possible pour le traitement PPK. Il s'agit ensuite de déterminer le site de décollage qui sera le pivot pour plusieurs plans de vol. On choisit ce site en fonction de la visibilité qu'il permet sur la zone, et si possible, le plus loin des manchots en nidification. Les modèles numériques de terrain en Antarctique ne sont pas assez précis pour les utiliser pour le vol, se placer en hauteur permet de limiter les risques de collision avec le relief. Le survol est réalisé à une hauteur

minimale de 60 m pour limiter l'impact sur la faune. Quand cela est possible, les vols peuvent être doublés par un second plan de vol perpendiculaire au premier. Pour tous les sites des points d'appui sont utilisés. Pendant que l'opératrice prépare le drone et le plan de vol, un membre de l'expédition commence à installer les points d'appui sur l'ensemble de la zone. Une étape qui peut s'avérer très longue selon la hauteur de la couverture neigeuse, de même que la prise des positions GNSS des points d'appui.

Concernant les conditions météorologiques, nous n'avons pas constaté d'impact majeur du froid sur l'autonomie des batteries de l'ensemble des technologies : Mapper 3, PYX de Teria ou du drone. Nous n'avons pas non plus eu de givre des hélices qui peut être une inquiétude dans certaines conditions. Le drone, malgré son chargement a su résister au vent (parfois jusqu'à 30 nœuds), au froid (jusqu'à -15°C) et même à quelques chutes de neige.

Aujourd'hui, nous travaillons sur l'orthomosaïque pour l'identification des espèces de manchots présentes sur sites et l'identification et le compte des manchots en nidification grâce au module caméra du Mapper 3. Le modèle numérique de terrain généré par le LiDAR permettra l'analyse spatiale et topographique des sites de nidification des différentes espèces de manchots.

Lana Lenourry

La géolocalisation de l'étude avec Teria

Créé en 2005, Teria est expert dans la géolocalisation de précision centimétrique. Présent sur l'ensemble du territoire national et des DROM ainsi

qu'en Europe, Teria continue d'étendre son réseau à l'international.

Dans le cadre de l'opération Antarctique 2.0°C, Teria a apporté une solution technique innovante PYX avec le récepteur GNSS de haute précision, associé à une solution logicielle pour l'acquisition et le calcul précis de cibles indispensables à l'obtention d'images LiDAR de bonne résolution.

■ Équipements et méthodes

Pour accompagner Lana dans sa mission, Teria a fourni deux récepteurs PYX ayant l'avantage, outre de posséder la dernière puce GNSS Septentrio, de bénéficier d'un faible encombrement indispensable à ce type d'expédition réalisée dans des conditions difficiles. Le premier récepteur PYX a été utilisé en tant que base fixe déployée sur chaque zone de travail (figure 3) et le second, comme itinérant ou rover pour mesurer la position des cibles disposées sur le terrain. Un protocole détaillé a été fourni à Lana afin d'extraire la position précise de ces cibles.

Après l'activation de la base fixe, Lana a mesuré chaque cible pendant une minute tout en enregistrant les données brutes. Puis, à l'aide d'un logiciel de post-traitement et d'une solution développée sur mesure par Teria, Lana a extrait avec précision chaque point nécessaire à la calibration précise des données du LiDAR fourni par YellowScan.

Le traitement des données GNSS du PYX s'est appuyé sur un outil *open source* tel que RTKlib¹. Au préalable, les données brutes au format SBF² ont été converties en format Rinx, puis un calcul de ligne de base a été effectué. Par la suite, un outil développé spécialement pour cette mission par Teria a permis d'extraire les points mesurés en coordonnées géographiques. Celles-ci ont été intégrées ultérieurement dans le traitement du LiDAR.

¹ RTKlib est un progiciel *open source* pour le positionnement standard et précis avec le GNSS.

² SBF (*Septentrio Binary Format*) est un fichier de données créé par les récepteurs GNSS. Il contient un journal de données sur la position, l'heure et la vitesse d'un appareil équipé d'un récepteur GNSS.

■ Comment cela s'est-il passé ?

D'un point de vue ergonomique, Lana a fortement apprécié la légèreté du récepteur PYX de même que son autonomie permettant un fonctionnement continu (une journée complète) malgré les températures extrêmes. Simple à mettre en marche, une fois le PYX configuré en mode post-traitement, seul un appui sur le bouton marche/arrêt était nécessaire. Qu'il soit positionné sur le trépied ou sur la canne, la forme du récepteur PYX permet une bonne prise en main, et ce, même avec une paire de gants.

En seulement quelques heures, Lana a été formée à l'ensemble de ces outils avec le support de nos ingénieurs techniques. Après quelques tests de mise en œuvre, elle est devenue très rapidement autonome.

Pour compléter sa mission, une étude est en cours pour post-traiter les données des bases en mode PPP permettant un référencement des bases en ITRF.

Lors des prochaines campagnes de mesure, il sera ainsi possible de comparer les MNT entre eux, par exemple.

Paul Chambon

Le matériel YellowScan en action

À notre connaissance c'est la première fois qu'une étude LiDAR par drone a pu être menée en Antarctique. Le YellowScan Mapper a permis à Lana d'obtenir rapidement une résolution centimétrique d'une surface étendue. Il est donc possible de précisément analyser et caractériser l'espace occupé par les manchots au regard de l'espace disponible, mais non utilisé.

■ Quels équipements et méthodes ?

Pour cette mission, Lana disposait d'un LiDAR YellowScan Mapper incluant un module caméra, embarqué sur un M300 de chez DJI (figure 4).

Les acquisitions ont été volées à 10 m/s et à 60 mètres d'altitude au-dessus de onze sites de nidification.

Chaque site nécessitait entre deux et quatre vols pour couvrir l'ensemble de la surface (entre 15 et 50 hectares).



Figure 4. Le LiDAR YellowScan Mapper incluant un module caméra, embarqué sur un M300 de chez DJI.

Chaque site représentait au moins une journée de 7 h sur le terrain pour : la planification du vol, l'acquisition, la vérification de l'acquisition et la détermination des espèces par des observations menées depuis le sol. La densité de points obtenue est de 300 points/m² en moyenne.

Les terrains étudiés sont souvent enneigés ou détrempés, cela n'a pas empêché l'obtention d'un modèle numérique de terrain pour chaque vol.

Le système YellowScan employé permet d'acquérir facilement l'information. Avec le logiciel d'extraction de points CloudStation, il est possible de vérifier sur le terrain, directement après le vol, l'emprise et le rendu des points LiDAR. De plus, à la suite de l'extraction dans CloudStation, le traitement et l'export en modèle numérique de terrain (ou DEM) est intuitif et rapide. L'acquisition de photographies permet de compléter les informations prises par l'observateur au sol (notamment pour la reconnaissance d'espèces).

■ De bons résultats

Lana espère également qu'en mettant ces modèles numériques de terrain à disposition de la communauté scientifique, ceux-ci puissent faciliter l'effort de recherche en milieu austral. En effet, détenir une topographie précise pourrait notamment faciliter la phase de préparation des campagnes de recherche, la connaissance du terrain avant échantillonnage, par exemple. Le module caméra du Mapper permet également la reconnaissance d'éléments. C'est un point indispensable pour le compte des manchots, les photos permettent aussi de distinguer les manchots en nidification des manchots non nidifiant. Elles permettent même parfois d'identi-



fier les espèces de manchots lorsque celles-ci cohabitent.

Julia Grondin

Avec Instadrone pour l'acquisition LiDAR

■ Qui est Instadrone ?

Afin de réaliser les captations du LiDAR aéroporté dans de bonnes conditions, Lana a été formée et accompagnée par les équipes d'Instadrone, spécialistes des prestations techniques par drone, dont les acquisitions LiDAR en zone végétalisée.

Depuis 2014, ce bureau d'études s'appuie sur un réseau d'opérateurs de drone sur l'ensemble du territoire (28 agences) et à l'étranger (8 pays). L'expérience acquise sur de nombreuses typologies de terrain a permis de développer des *process* (modes opératoires) d'acquisition performants et fiables.

■ Comment réaliser un levé LiDAR ?

En effet, un levé LiDAR nécessite un parfait suivi du terrain afin d'obtenir une donnée homogène sur l'ensemble de la zone à capter. Instadrone utilise le logiciel UGCS, une application de planification de vol, qui permet le suivi du terrain par le drone tout au long du vol. Nativement, le MNS (modèle numérique de surface) est un SRTM³ qui convient dans de très nombreux cas. Mais il est également possible d'intégrer un MNS plus précis (exemple : données IGN) en cas de topographie complexe et à risque pour le drone.

Pour des raisons de simplification technique dans le cadre de la mission de Lana, les équipes ont choisi de réaliser les plans de vol directement par l'application DJI Pilot du drone M300 RTK, vecteur d'emport du LiDAR YellowScan Mapper. Depuis peu, cette application propriétaire permet également l'emport de MNS. Elle a l'avantage de se passer de l'ordinateur sur le terrain et d'éviter les désagréments liés au froid et à la gestion des batteries.

Lana a donc été formée au pilotage du drone DJI M300 RTK sur le site d'Instadrone à Servian (Hérault), après avoir validé son examen théorique dans un

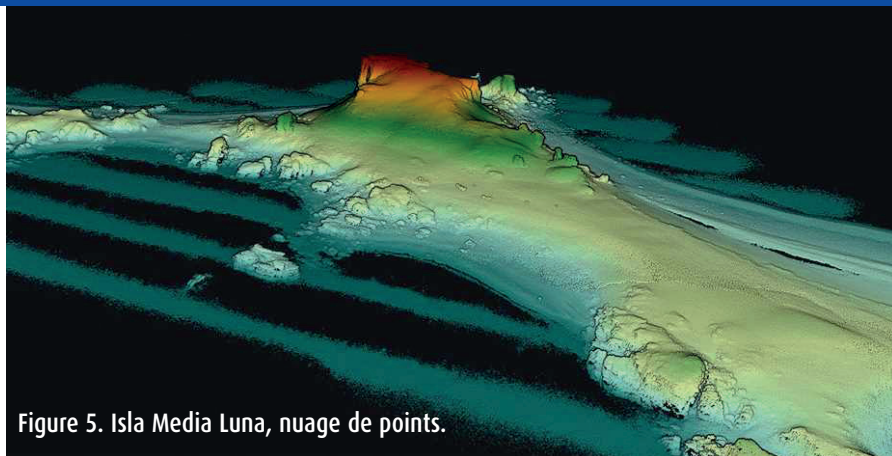


Figure 5. Isla Media Luna, nuage de points.

centre DGAC⁴. Instadrone a également accompagné Juste 2.0°C par le prêt de deux drones, dont un Matrice 300 RTK pour l'emport du LiDAR dans des conditions optimales de sécurité pour la faune et le matériel. En solution de secours, Instadrone a également prêté un Phantom 4 pro afin de réaliser au moins des photographies en cas de dysfonctionnement ou de dégradation du Matrice ou du LiDAR au cours de la mission.

Après avoir acquis les bases du pilotage manuel, avoir pris ses marques lors de vol en condition de vent élevé, Lana a été formée à la réalisation de plan de vol automatisé et au *process* d'acquisition LiDAR ; mise en œuvre, initialisation, captation, vérification de la donnée acquise.

Il a fallu adapter les hauteurs de vol afin de ne pas déranger la faune présente sur la banquise tout en garantissant la qualité du nuage de points (figure 5).

Les impératifs de logistique (transport des batteries, chargement sur le bateau, transport du matériel à bord de l'annexe...) ont dû être anticipés afin de simplifier au maximum la mission, sachant que des problèmes inhérents aux conditions météorologiques allaient forcément compliquer la mission de Lana.

Lana n'a eu à déplorer aucun incident. Le matériel est revenu complet et intact malgré les difficultés rencontrées sur le terrain. Le protocole d'acquisition et le respect des mesures de sécurité, pré-vol et en vol, a garanti l'intégrité du matériel et a permis d'obtenir de la donnée, limitant autant que possible le dérangement des manchots.

Cédric Botella

Contacts

Lana LENOURLY, étudiante chercheuse à l'ENS, lana.lenourry@ens-paris-saclay.fr
Paul CHAMBON, directeur technique à Teria, paul.chambon@reseau-teria.com
Julia GRONDIN, Content Manager chez YellowScan, julia.grondin@yellowscan-lidar.com,
Cédric BOTELLA, gérant d'Instadrone, contact@instadrone.fr

Bibliographie

Liens Internet

Le site de l'association Juste 2.0°C : <https://www.j2d.org/>

Les pages du site Teria : <https://www.reseau-teria.com/2022/02/21/teria-partenaire-de-lexpedition-scientifique-antarctique-2-0c/>

ABSTRACT

The Antarctica 2.0°C project is the first project led by the Juste 2.0°C association, which is made up of thirty young enthusiasts. Six students from the Écoles Normales Supérieures are going on a six-month expedition from France to Antarctica aboard a sailboat fitted out as a travelling laboratory. Their objective is to study and analyze the impact of global warming on the various marine and coastal ecosystems in Antarctica. Among the five research axes, climatology, biogeochemistry, microplastics, social sciences and population biology, we will focus here on the last one and more particularly on the geolocation techniques necessary to monitor penguin populations. The French partners Teria (positioning), YellowScan (LiDAR) and Instadrone (drone and photogrammetry) will explain their partnerships.

³ Shuttle Radar Topography Mission.

⁴ Direction générale de l'aviation civile.