

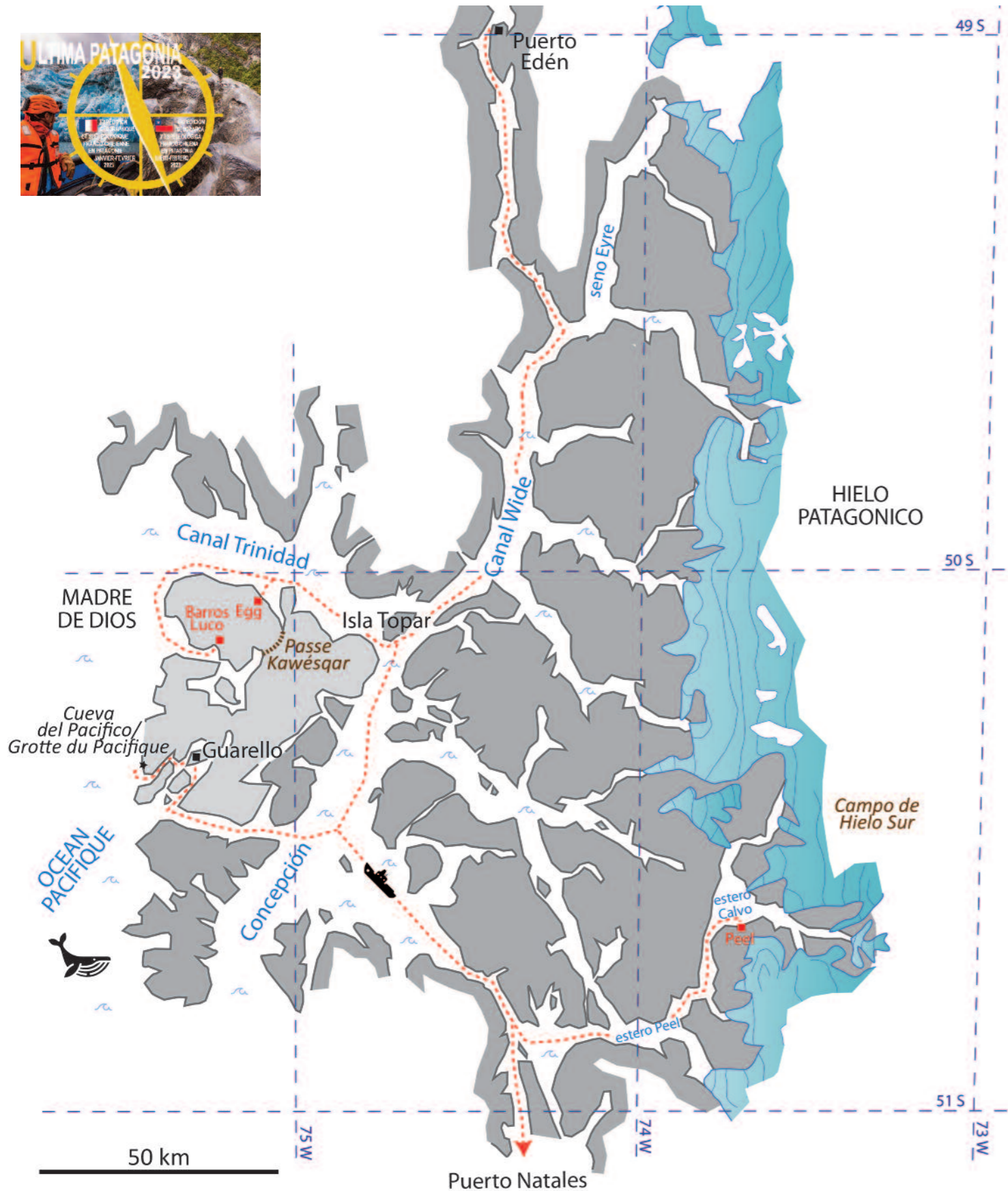
Ultima Patagonia 2023

Rapport d'expédition



Arrivée à l'Estero Egg © Serge Caillault, Centre Terre.





◁ Carte des différents lieux explorés lors de l'expédition et trajets en bateaux.
© Arnould Malard, Centre Terre.

▷ Photos © Serge Caillault, Centre Terre.



Ultima Patagonia 2023 : une expédition hors normes

Table des matières

Ultima Patagonia 2023, une expédition hors normes	Page 6
Historique des expéditions de Centre-Terre et apports des précurseurs avant 1995	Page 8
L'équipe Centre Terre UP 2023	Page 12
Récits d'expédition	Page 14
1. La pré-expédition	Page 16
Les vivres pendant l'expédition Ultima Patagonia 2023 (Laurence)	Page 19
La marine chilienne, partenaire clé d'Ultima Patagonia (Natalia)	Page 21
Puerto Edén	Page 24
2. De Puerto Edén à Madre de Dios	Page 26
Promouvoir la spéléologie au Chili	Page 34
3. Sur les traces des nomades de la mer	Page 36
Exploration en territoire Kawésqar	Page 42
L'équipe cinéma	Page 44
4. Explorations sur le glacier Campo de Hielo Patagónico Sur	Page 46
Un cadastre spéléologique pour les archipels calcaires de Patagonie Chilienne	Page 58
5. Les lapiaz de l'estero Egg	Page 60
Une nouvelle cabane à Madre de Dios	Page 96
Les camps avancés de l'estero Egg	Page 99
Le Porche Edén, une grotte-école aux confins de la Patagonie	Page 102
Le tour du Lac Sans Nom	Page 103
Plongées souterraines, l'épopée !	Page 106
6. Retour au Barros Luco	Page 110
Le suivi médical durant l'expédition	Page 124
Le volet scolaire de l'expédition	Page 125
7. Épilogue	Page 130
Cartes des pointages des cavités et camps Centre Terre	Page 138
Cahier scientifique	Page 142
Géométrie et dynamique du glacier HPS-35 : explorations, photogrammétrie, modélisation numérique	Page 144
Relevé 3D de la grotte Lapis Lazuli	Page 150
Croûte calcaire sous-glaciaire du HPS31	Page 155
Géomorphologie de Madre de Dios Nord (Estero Egg)	Page 156
Spéléothèmes et observation en grotte pour l'étude climatique passée et présente	Page 166
Pluviométrie au Egg	Page 170
Caractérisation de la chimie des eaux de l'archipel de Madre de Dios	Page 172
Les biotopes intra-karstiques : des écosystèmes uniques	Page 174
Dévoiler la biodiversité de Patagonie à l'aide de l'ADN environnemental	Page 176
Études microbiologiques dans les profondeurs des grottes de l'île Madre de Dios	Page 180
Biologie souterraine - collectes de la faune cavernicole sur le secteur de l'Estero Egg	Page 184
Expedition Ultima Patagonia 2023 : la prospection de la faune et de la flore et son importance pour la Préservation de l'environnement	Page 187
Diversité et activité des chauves-souris sur l'île Madre de Dios et le glacier Témpanos	Page 190
Avifaune et habitats patagons : observations et inventaire dans le secteur de Madre de Dios, 50° S (Ultima Esperanza, Région XII, Chili).	Page 194
Remerciements	Page 204



Sans doute Dieu a-t-il créé la Patagonie dans un accès de colère...

Ultima Patagonia 2023, une expédition hors normes



Bernard TOURTE, Natalia MORATA, Richard MAIRE, Charlotte HONIAT

L'expédition Ultima Patagonia 2023 est la 9^{ème} expédition conduite en Patagonie Chilienne par l'équipe Centre Terre depuis 1997, sans compter la reconnaissance effectuée en 1995. Depuis 2014, nos efforts ont bénéficié de la précieuse aide de Natalia Morata, notre contact basé au Chili. Le fil conducteur de toutes ces expéditions n'a pas changé: il est fondé sur des valeurs d'exploration, de soif de découverte, de science fondamentale, d'amitié et de partage, fruits d'une même passion qui unit spéléologues et scientifiques pour le meilleur et parfois pour le pire, car les environnements et les conditions d'engagement sont toujours plus complexes.

Cette cuvée 2023 a subi bien des vicissitudes. À commencer par un interminable temps de maturation entre son lancement début 2020 et sa réalisation effective: la pandémie Covid a dicté son tempo. Dès le mois de mars 2020, les premiers soucis se manifestent quand l'équipe

de reconnaissance de ce qui devait être le projet UP-2021, vient tout juste de prendre la mer depuis la baie de Puerto Edén. Natalia, Denis, Florian, Gilles et Bernard voguent en toute quiétude vers l'Estero Calvo situé dans les glaces du Campo de Hielo Sur. C'est alors que tombe la première d'une longue suite de mauvaises nouvelles: la France vient de plonger dans un confinement draconien! Les déconvenues s'enchaînent... Air France cesse ses vols outre-Atlantique, l'équipe est mise en quarantaine dès son retour à terre, les ferries sont stoppés dans les archipels, les transferts de bus cessent sur le continent. L'ambassade de France ne sait plus comment aider ses ressortissants en difficulté... Le retour depuis le Chili se transforme en véritable parcours du combattant!

L'expédition UP-2021 doit être reportée en 2022... Fin septembre 2021, nouvelle douche froide: les conditions sanitaires ne sont clairement pas au rendez-vous pour garantir un

départ possible début 2022. Tout s'écroule de nouveau. Malgré tous ces coups de sort, nous préparons une relance de la machine, cette fois-ci pour le premier trimestre 2023. Mais les trois années perdues ont tout changé: l'équipe prévue, la liste des partenaires, le projet de film et surtout le volet financier. L'inflation impacte sévèrement tous les postes de dépense, du coût des vols à celui du transport du fret, du prix des locations des bateaux à celui de l'essence sur place, du prix des transports terrestres aux coûts d'hébergement... Le budget bondit de 250 000 à 360 000 €!

Si proche maintenant d'un éventuel départ, l'équipe se soude et redouble d'efforts pour boucler le nouveau budget. Début octobre 2022, la décision est prise d'expédier le conteneur de matériel nécessaire aux besoins de l'expédition vers Punta Arenas... en vue de ce qui est devenu, désormais, UP-2023! Pourtant, rien n'est encore gagné: un ensemble d'obligations est encore en vigueur au

Chili, qui impose entre autres trois jours de confinement pour les ressortissants étrangers prenant pied sur le territoire! Un obstacle ingérable sur les plans financier et logistique. Nous prenons le pari que cette règle va tomber avant notre départ, et bien heureusement, c'est ce qui finit par se produire.

Après tous ces déboires, l'équipe de préexpedition s'envole enfin le 9 janvier 2023. Jusque au terme de l'expédition, c'est une chronologie millimétriquement pensée et affinée depuis 2020 qui va s'enclencher et cocher toutes les cases prévues.

UP-2023, c'est avant tout une expédition sous pavillon franco-chilien, officiellement lancée de Puerto Edén, le village insulaire du peuple Kawésqar, qui durant des millénaires a nomadisé et apprivoisé cet environnement hostile, et avec qui Centre-Terre a réussi à créer un lien très fort. C'est également une expédition qui, pour la première fois depuis 2000, a géré la conduite d'explorations et de travaux scientifiques en simultané depuis deux camps lourds particulièrement éloignés: celui de l'Estero Calvo, situé en zone glaciaire sur le Campo de Hielo Sur, et celui de l'Estero Egg au nord de l'île de Madre de Dios où jusqu'à présent nous n'avions pu mener que de courtes incursions.

L'équipe a pu réinvestir aussi la partie centrale de l'île Madre de Dios grâce à l'installation en dur édifée dans le Seno Barros Luco en 2017. Enfin, nous avons effectué divers travaux de vérification, de mesures et de prélèvements sur la partie sud de l'île, que nous avions explorée entre 2000 et 2010

depuis la base minière de Guarello. Cette édition 2023 est également marquée par la richesse et la diversité des participants scientifiques (12 au total) couvrant plusieurs champs d'expertise tels que la biologie marine, la géographie, la karstologie, la géologie, l'archéologie, la géomorphologie, la météorologie, la microbiologie, le paléoclimat, l'étude de l'avifaune et de la faune souterraine...

Du point de vue de l'exploration glaciaire, en sus des travaux scientifiques (prélèvements d'échantillons, photogrammétrie, mesures du déplacement de la masse glaciaire), ce sont plusieurs dizaines de moulins qui ont pu être explorés, nous permettant d'approcher la cote -100 m dans deux d'entre eux.

Sur les massifs calcaires de Madre de Dios, deux nouvelles cavités ont permis de franchir la cote de -300 mètres et d'explorer plusieurs nouveaux siphons. Au total, ce sont sept systèmes souterrains majeurs qui ont été découverts et explorés entre les secteurs glaciaires et calcaires, totalisant plus de 7 500 m de réseaux souterrains topographiés au cours de l'expédition.

Ultima Patagonia 2023 a assuré la continuité des projets antérieurs portés par Centre Terre, sous l'égide de la Fédération Française de Spéléologie. En particulier, elle a conduit un projet scolaire d'ampleur, qui a réuni 24 établissements français, de primaire et de secondaire. Il s'est achevé par un concours auquel douze classes passionnées ont participé.

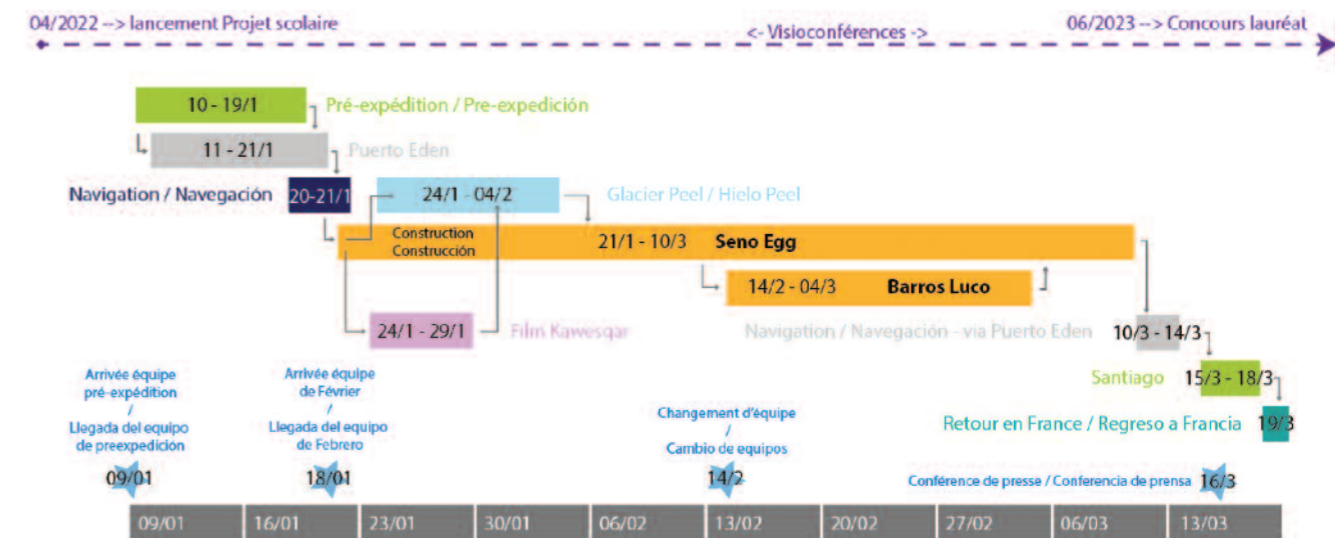
UP-2023 a également permis la

réalisation d'un film de 90 minutes pour la case « Science » d'ARTE, un documentaire diffusé au cours du premier trimestre 2024.

Enfin, sur le plan des aides que nous avons reçues, il est important de noter que c'est un très large réseau de partenaires qui a soutenu cette expédition UP-2023. Nous remercions nos partenaires institutionnels et privés français, autrichiens, suisses et même canadiens. Nous adressons un remerciement tout particulier à toutes les autorités chiliennes, qui ont facilité l'obtention de l'ensemble des autorisations nécessaires, notamment le Ministère des Biens Nationaux du Chili, et nous ont accordé des soutiens logistiques d'importance, tels ceux apportés par l'Armada de Chile et la CONAF pour des transferts au cours de l'expédition.

Nous tenons à remercier très chaleureusement tous les partenaires privés et publics qui se sont associés à UP-2023. Sans eux, rien de ce que nous avons

▽ Premier contact avec les glaciers patagons. Photo © Serge Caillault, Centre Terre
▽ Déroulé de l'expédition UP2023. © Arnaud Malard, Centre Terre.



◀ Vue sur l'Estero Egg et le camp de base d'UP 2023. Photo © Serge Caillault, Centre Terre

Historique des expéditions de Centre Terre et apports des précurseurs avant 1995

Richard MAIRE

Deux paramètres essentiels sont à l'origine des expéditions en Patagonie chilienne. Il y a d'abord la création en Gironde de l'Association Centre Terre par Jean-François Pernette et Richard Maire en 1992, avec pour premier objectif une expédition en Papouasie Nouvelle-Guinée en 1993 car un des buts de Centre Terre est d'explorer les régions karstiques les plus reculées et les plus difficiles de la planète. Or un événement anodin va intervenir lors d'un voyage en Argentine et au Chili en 1994 par Jean-Noël Salomon et Richard Maire; un géographe universitaire de Santiago leur remet un article du géologue italien Giovanni Cecioni intitulé « *El fenomeno carstico en Chile* » paru en 1982 et qui montre la présence de calcaires dans les archipels chiliens de Patagonie. La décision est prise dans la foulée: l'année suivante, en 1995, une première reconnaissance a lieu à Diego de Almagro (Province d'Última Esperanza, région de Magallanes). Les paysages karstiques sont uniques au



▷ L'équipe Centre Terre 1995 avant de débarquer à Diego de Almagro et en Patagonie pour la première reconnaissance au Chili. A bord de la Katita, on a de gauche à droite: Michel Letrône, Jacques Sautereau, Richard Maire et Jean-François Pernette.
© Centre Terre.

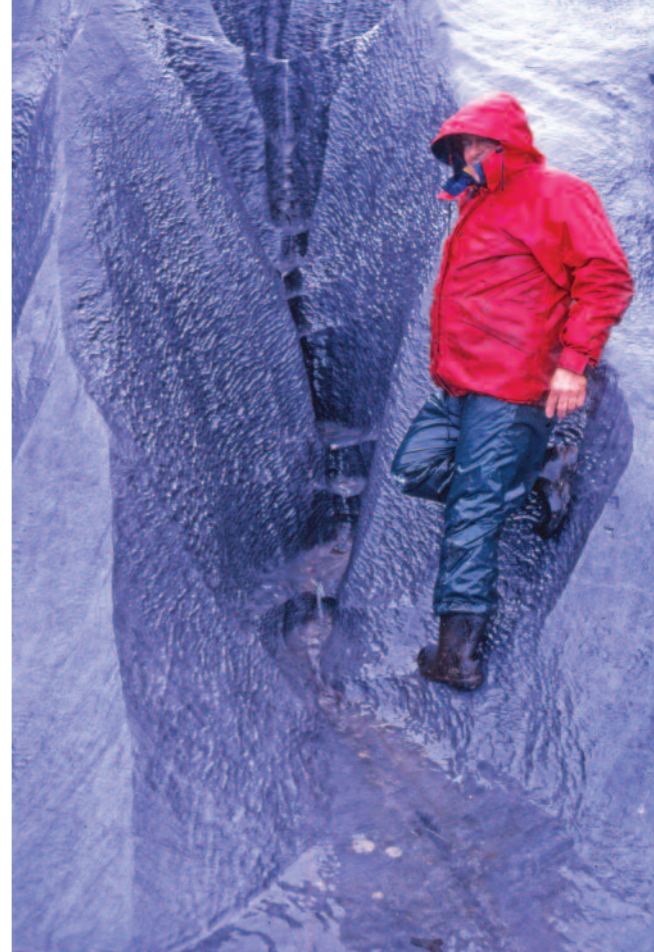
monde, il faut absolument revenir avec une grosse équipe et des moyens importants.

Ainsi, de 1997 à 2023, neuf expéditions vont se dérouler: deux à Diego de Almagro (1997, 2014) et sept à Madre de Dios (2000, 2006, 2008, 2010, 2017, 2019, 2023). Les premières retombées médiatiques aboutissent au tournage d'un Ushuaïa-Nature à DDA en 2001. Mais avant tout, il est nécessaire de mettre en lumière les apports de ceux qui nous ont précédés. Il y a plusieurs milliers d'années,

les « Nomades de la Mer » (*Kawésqars*) connaissaient déjà fort bien les côtes de Diego de Almagro (DDA) et de Madre de Dios (MDD) comme l'attestent les peintures rupestres de la grotte Pacifique découvertes en 2006 et les anciennes sépultures découvertes en 2000, en particulier dans la grotte Ayayema. Dans la seconde moitié du XVI^e s., les navigateurs Juan Ladrillero (1557) et Pedro Sarmiento de Gamboa (1579-80) sont les premiers Européens à explorer la complexité des canaux intérieurs dans l'espoir

de rejoindre plus facilement le détroit de Magellan, d'où l'appellation « *Última Esperanza* » donnée à cette région. Mateo Martinic (2004, p. 19-20) rapporte que Pedro Sarmiento a été très impressionné par l'extrême inhospitalité des côtes rocheuses et de la végétation, notamment à partir du canal Trinidad et plus au Sud. Il souligne que la progression dans cette forêt magellanique est dangereuse, voire « mortelle » dit-il, et qu'il est parfois nécessaire de marcher sur la cime des arbres pour se déplacer. Sarmiento de Gamboa est considéré comme le premier chroniqueur à avoir décrit la géographie physique des archipels (Martinic, 2004, p. 101).

A la fin du XVIII^e s., les cartes d'Amérique du Sud délimitent assez bien l'archipel Madre de Dios, notamment celle de 1798 de Felipe Bauza. En 1826-1827, le marin britannique William Low, grand chasseur de loups de



◁ Michel Letrône sur les lapiés de Diego de Almagro en 1995 lors de la première reconnaissance de Centre Terre.
Photo © Richard Maire, Centre Terre.

▷ Tableau 2 : Occupation, exploration, exploitation et études des archipels avant 1995.

◁ Tableau 1 : Synthèse des expéditions entre 1995 et 2023 et films réalisés.

Années	Lieux	Responsables	Participants	Tournage film
1995	Reconnaissance à Diego de Almagro (DDA)	M. Letrône, R. Maire, J.-F. Pernette, J. Sautereau	4	Petit reportage super 8 de Michel Letrône
1997	1 ^{ère} expé à DDA et reconnaissance à Guarello	Resp. J.-F. Pernette et R. Maire	10	
2000	1 ^{ère} expé à Madre de Dios (MDD)	Resp. J.-F. Pernette Resp. scient. R. Maire	25 6 nationalités	L'expédition Ultima Patagonia (52') de L.H. Fage, France 2 + Fr.5
s2001	Tournage Ushuaïa-Nature à DDA avec Gilles Santantonio	Invité scientifique : R. Maire	B. Tourte M. Philips	Emission Ushuaïa-Nature (TF1)
2006	2 ^{ème} expé à MDD, découverte peintures rupestres	Resp. B. Tourte Resp. scient. R. Maire	28	
2008	3 ^{ème} expé à MDD, exploration de la grotte de la Baleine	Resp. B. Tourte Resp. scient. R. Maire	48	Le mystère de la Baleine (Fr.2, 52') de L.H. Fage
2010	4 ^{ème} expé à MDD	Resp. B. Tourte Resp. scient. R. Maire	33 2 nationalités	
2014	2 ^{ème} expé à DDA	Resp. B. Tourte Resp. scient. R. Maire et S. Jaillet	25 3 nationalités	L'île aux glaciers de marbre (52') de L.H. Fage, TF1
2017	5 ^{ème} expé à MDD	Resp. B. Tourte Resp. scient. R. Maire et S. Jaillet	41 2 nationalités	Patagonie l'Île oubliée (90'), de G. Santantonio, Arte
2019	6 ^{ème} expé à MDD + 1 ^{ère} reconnaissance sur glaciers	Resp. B. Tourte, Resp. scient. R. Maire et Ch. Honiat	48 4 nationalités	Ultima Patagonia (93') de G. Santantonio, Arte
2023	7 ^{ème} expé à MDD + 2 ^{ème} reconnaissance sur glaciers	Resp. B. Tourte, Resp. sc. Ch. Honiat et R. Maire	> 40 6 nationalités	Film (90') de G. Santantonio, Arte

Années - Périodes	Noms	Observations
Plusieurs millénaires jusqu'au milieu du XXe s.	Ethnie Kawésqar (Nomades de la Mer)	Peintures pariétales de la grotte Pacifique
1557-58	Juan Ladrillero	Canales Trinidad et Conception
1578-1579	Pedro Sarmiento de Gamboa	Description du milieu, découverte sépulture île White Horse (Nord DDA)
1775 1798	Juan de la Cruz Cano y Olmedilla Felipe Bauza	Carte de l'Amérique du Sud Carte Am. Sud depuis lat. 36°30'
1826-27	William Low (chasseurs de loups de mer)	Découverte sépulture dans une petite île au Sud de MDD
1832	Robert Fitz Roy et Charles Darwin (HMS Beagle)	Aborigènes sur la côte ouest de MDD et description du milieu hostile
1881	Richard Coppinger (Cruise of the Alert)	Etude scient. Partie N de MDD
1914	Pascual Rispoli (chasseurs de loups de mer)	Découverte des marbres de DDA
1924	Emilio Swierczewski et Doymo Cettineo	Exploitation initiale du marbre de DDA
1926	Cie industrielle des Marbres de Cambridge	Exploitation des marbres de DDA
1929	Cie industrielle des Marbres de Cambridge	Suite exploitation, difficultés diverses
1931	Cie industrielle des Marbres de Cambridge	Abandon exploitation de DDA
1945 (mars-mai)	Herbert Hornkohl et Walter Biese	1 ^{ère} étude des marbres de DDA
1946-47	Création de la Sté Sidérurgique du Pacifique (ancêtre de la CAP)	Mise en évidences des importants gisements calcaires de MDD
1948-49	Carlos Luis Fuller (ingénieur des mines) et Luciano Cruz Coke (ingénieur)	Délimitation et préparation de la zone d'exploitation
1950	CAP (Cie des Aciers du Pacifique)	Début exploitation de Guarello
Années 1950-60	Gabriela Paterito, Francisco Arroyo (Kawésqar)	Travail à la mine (F. Arroyo) Incursion dans le Barros Luco
1952-53	Giovanni Cecioni (géologue)	Etudes des phénomènes karstiques à MDD et découverte de fossiles
1955	R.V. Holligsworth	Détermination des fusulinidés
1955-56-57	Walter Biese (géologue et 1er spéléologue des archipels)	Description des glaciers de marbre et des cannelures en marches d'escalier
1969	Ministère de l'Agriculture	Création du Parc Nat. B. O'Higgins et de la Réserve forestière « Alakalufes »
1978-79	R. Forsythe et C. Mpodozis (géologues)	Etude des calcaires de Tarlton (MDD)
1982	Giovanni Cecioni	Synthèse sur les karsts du Chili



◀ Paysage calcaire extraordinaire de l'île de Madre de Dios.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre

mer, fait une découverte archéologique notable dans une petite île au sud de MDD. Il s'agit d'une sépulture avec de nombreux ossements humains non déterminés (Martinic, 2004, p. 60).

En 1832, le célèbre navire HMS Beagle longe les côtes occidentales de Patagonie et notamment la côte ouest de MDD. Le capitaine Robert Fitz-Roy, accompagné de Charles Darwin, signale la présence de canoeros, les Kawésqars, dont 150 environ sur la côte pacifique de MDD comme le rapporte l'historien Mateo Martinic (2004). Robert Fitz Roy décrit avec beaucoup d'exactitude l'hostilité du climat et du milieu en ces termes : « *Le climat de la Patagonie occidentale est si désagréable que le pays est presque inhabitable. Les nuages, le vent et la pluie sont continus dans leur monotonie. Peut-être n'y-a-t-il pas 10 jours dans l'année où il ne pleut pas ; et pas 30 durant lesquels le vent ne souffle pas fort ; pourtant l'air est doux et la température étonnamment uniforme tout au long de l'année. Le pays est comme la pire partie de la Terre de Feu : une chaîne de montagnes, à moitié enfoncée dans l'océan, stérile vers*

la mer, avec des forêts impénétrables, toujours trempées par les pluies fréquentes, et qui ne sont jamais asséchées par évaporation avant de nouvelles averses ». (Fitz Roy, 1836, p. 142). Mais il faut attendre la fin du XIX^e s., en 1881, pour avoir une étude scientifique réalisée par le naturaliste et médecin anglais, Richard Copping, sur la côte nord de Madre de Dios (Canal Trinidad). Il est le premier à mettre en évidence les encoches marines étagées et à décrire certains lapiés. Il fait aussi des découvertes archéologiques, notamment d'anciennes sépultures (baie Rosario). Il découvre aussi deux types de coraux étudiés ensuite au British Museum : Labiopora (Errina) et Astrophyton.

Au début du XX^e s., en 1914, un événement apparemment banal va jouer un rôle décisif. En effet, un chasseur de loups de mer, Pascual Rispoli, ramène à Punta Arenas plusieurs beaux galets blancs et gris qui sont rapidement identifiés par le géologue Doymo Cettineo comme étant des marbres. Dès lors, en 1924, deux géologues des mines se rendent sur les lieux, c'est-à-dire dans l'île Diego

de Almagro (appelée alors île Cambridge) pour étudier la possibilité d'une exploitation. Ainsi est créée la Compagnie Industrielle des Marbres de Cambridge qui commence à exploiter les marbres de DDA en 1926, mais à partir de 1929, les difficultés de terrain et le manque de financement conduisent à l'abandon de l'exploitation en 1931 (Martinic, 1980). Des restes de cette exploitation sont encore visibles.

Les années 1940-1950 vont accélérer les connaissances géologiques et karstologiques. De mars à mai 1945, le géologue et ingénieur des mines Herbert Hornkohl et son collègue le géologue et spéléologue Walter Biese effectuent une première étude de l'épaisse série des marbres de DDA en soulignant leur très grande pureté : 98,3 % de carbonate de calcium et 0,7 % de carbonate de magnésium. En dehors du climat difficile, ils insistent sur les conditions favorables de leur exploitation à partir du canal Nelson situé juste au Sud.

Mais en 1946 est fondée la Société Sidérurgique du

Pacifique qui deviendra la CAP en 1947 (Compagnie des Aciers du Pacifique). Le but est de trouver d'autres gisements de calcaires à partir d'études de photogrammétrie aérienne. L'attention va ainsi se porter sur Madre de Dios et l'Armée du Chili va étudier la possibilité d'établir un port ; et c'est ainsi que l'île de Guarello est choisie pour installer une mine-carrière. Les études géotechniques et la supervision des travaux (quatre tunnels) sont effectuées en 1948-1949 notamment par deux ingénieurs des mines, Carlos Luis Fuller et Luciano Cruz Coke, avec la création des limites par traces de peintures, observées par la suite en 1997. Le début de l'exploitation a lieu en février 1950. La production passe de 37 286 tonnes en 1950 à 119 169 tonnes en 1951 (CAP). Par la suite, les installations serviront de base pour les expéditions 2000, 2006, 2008 et 2010 de Centre Terre.

En 1953, avec le cutter Juanito appartenant à l'ENAP (Empresa Nacional de Petróleo créée en 1950), le géologue italien Giovanni Cecioni étudie les calcaires et leur répartition dans les archipels de MDD et DDA. Il découvre de petits fossiles qui sont déterminés par R.V. Holligsworth. Ce sont des fusulinidés, à savoir des foraminifères marins de 5-10 mm de long, caractéristiques du Carbonifère moyen et du Permien. Entre 1955 et 1957, Walter Biese, qui est le premier spéléologue à venir dans les archipels, effectue la première description des « glaciers de marbre » avec ses nombreux

gouffres et ses lapiés très originaux, notamment les cannelures en marches d'escalier qu'il dénomme « Karren-trepp ». Rappelons que Walter Biese a dû fuir les persécutions nazis et se rendre d'abord en Suisse en 1934, puis au Chili en 1937. En 1959, il est récompensé en tant que membre honoraire de la Federation of German Cave and karst Researchers. G. Cecioni (1982) indique que W. Biese, dans une publication inédite de 1945, est également le premier à avoir dit que les phénomènes karstiques de DDA (formation Pelantaro) sont les plus austraux de la planète.

Parallèlement, suite à la colonisation et au processus d'assimilation socio-culturelle, la communauté kawésqar résiduelle des archipels s'est implantée en grande partie à Puerto Edén à partir de 1936. Dans les années cinquante-60, Gabriela Paterito et Francisco Arroyo vivent en partie à MDD, notamment à Guarello (travail à la mine de Francisco). Durant son enfance, Gabriela a l'occasion d'aller dans le seno Barros Luco avec son père qui chasse les loups de mer dans les grottes littorales. Gabriela parle de la pureté du calcaire et souligne que le Barros Luco est dangereux quand le vent souffle de l'Ouest et du Nord (Delgado, 2012, p. 49).

En 1969, sur proposition du Ministère de l'Agriculture, sont créés le Parc National « O'Higgins » et la Réserve Forestière « Alakalufes ». Le but est de protéger le patrimoine naturel

exceptionnel des archipels. Mais MDD est volontairement exclu en raison de l'exploitation du calcaire, preuve qu'environnement et développement ne font pas bon ménage. En 1978-1979, les géologues chiliens R. Forsythe et C. Mpodozis réalisent une étude précise des calcaires de MDD, appelés calcaires de Tarlton, et du contexte géologique.

Actuellement, Madre de Dios est un « bien national protégé ». Cette protection de l'archipel a été établie en 2007 par le « Ministère de Bienes Nacionales », l'agence chargée de la gestion et de l'administration des biens publics du Chili, à la suite des découvertes des équipes de Centre Terre.

Aujourd'hui, après cette saga d'expéditions ayant regroupé au total plus de 300 participants de sept nationalités entre 1995 et 2023, on constate que les archipels calcaires et non calcaires de Patagonie chilienne restent encore méconnus, voire inconnus notamment sur les îles granitiques.

Un travail scientifique et d'exploration important reste donc à accomplir. Six films documentaires ont été tournés entre 2000 et 2023, et diffusés sur les chaînes TF1, France 2, France 3 (Thalassa), Arte. Les trois premiers ont été réalisés par Luc-Henri Fage et les trois derniers par Gilles Santantonio avec la chaîne Arte. Cet impact médiatique est capital en termes de protection du patrimoine naturel-culturel et de défense de l'environnement.



Références :

- Biese W., 1956. Über Karstvorkommen in Chile. Die Höhle, 7 (4), p. 91-96.
- Cecioni G., 1956. Primeras Noticias Sobre la Existencia del Paleozoico Superior en el Archipiélago Patagonico. An. Fac. Cienc. Fis. Matem., Universidad de Chile, 13, p. 183-202.
- Cecioni G., 1982. El fenomeno carstico en Chile. Inform. Geogr. Chile, 29, p. 57-79.
- Delgado A.A., 2012. Kawésqar entre la realidad y la ficción. Historia de la vida de Gabriela Paterito y cuentos de Francisco Arroyo. Universidad de Granada, 279 p.
- Fitz Roy R., 1839. Narrative of the voyage of the HMS Beagle. RN London, Henry Colborn.
- Forsythe R. et Mpodozis C., 1979. El archipelago Madre de Dios, Patagonia Occidental, Magallanes: Rasgos generales de la estratigrafía y estructura de « basamento » pre-jurásico superior. Revista Geologica de Chile, 7, p. 13-29.
- Hornkohl H., 1946. Los yacimientos de marmol y cal de la Isla Diego de Almagro. Bol. Minero de la Soc. Nacional de Minería, 553, mayo 1946, p. 249-255.
- Knolle F., Röhling H-G., Brust M.K. & Danner P., 2022. Dr Walter Biese (1895-1960) – Verspäteter Nachruf auf einen politisch verfolgten Geologen und Höhlenforscher. Z. Dt. Ges. Geowiss. (J. Appl. Reg. Geol.), 173 (1), p. 259-274.
- Martinic M., 1980. Patagonia de Ayer y de Hoy. Ed. Soc. Difus. Patagonia, Punta Arenas, 213 p.
- Martinic M., 2004. Archipiélago Patagonico. La Ultima Frontera. Ed. de la Universidad de Magallanes, 297 p.
- Riccardi A., 1992. Giovanni Cecioni, 1914-1987. Asociacion Geologica Argentina Rev., 1990, XLV (3-4), p. 410-411.

◀ Reste de l'exploitation des marbres de Diego De Almagro d'une très grande pureté : 98,3 % de carbonate de calcium et 0,7 % de carbonate de magnésium.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre, DDA 1014

(1) Bruno Peyronnet, (2) Jérôme Krumenacker, (3) Gilles Santantonio, (4) Caroline Boghossian, (5) Laurence Boudoux d'Hautefeuille, (6) Arnauld Malard, (7) Jules Clouzeau, (8) Christian Chauvin, (9) Alexandre Andrieu, (10) Florian Rives, (11) Christine Magot, (12) Mehdi Boukhal, (13) Kateryna Medvedieva, (14) Didier Lamotte, (15) Clément Chaput, (16) Franck Bréhier, (17) Denis Morales, (18) Bernard Tourte, (19) Cédric Roques, (20) Raphaël Seguin, (21) David Meunier, (22) Alexandre Honiat, (23) Natalia Morata-Calvo, (24) Amandine Dransart-Laborde, (25) Laurent Mestre, (26) Marie Eveillard-Buchoux, (27) Olivier Guérad, (28) Jessica Morin-Buote, (29) Gwladys Fontanieu, (30) Charlotte Honiat, (31) Tanguy Racine, (32) Sébastien Verlhac, (33) Joël Trémoulet, (34) Michel Philips, (35) Christophe Rognon, (36) Nicolas Fouilland, (37) Gonzalo Ossa, (38) Jaime Neira, (39), Matias Vargas, (40) Jérémie Prieur-Drevon, (41) Richard Maire, (42) Carlos Placido, (43) Florian Chenu, (44) Sylvain Boutonnet, (45) Lionel Ruiz,
 En médaille : (46) Serge Caillault, (47) Francisco Arroyo, (48) Maria Isabel Tonko,

L'équipe Centre Terre - UP 2023



Récits d'expédition





1 - La pré-expédition

Quant au reste de l'équipe, pas question de visiter Punta Arenas. Ils prennent le bus dans la foulée de l'atterrissage, le **11 janvier à 6h30** le matin: direction Puerto Natales pour rejoindre ensuite Puerto Edén. Natalia dirige ce groupe avec Richard, Didier et Laurent ainsi que Gilles et son équipe de cinéastes: Caroline, Christian et Bruno.

La grande cheffe d'orchestre de ces opérations « courses », depuis déjà plusieurs expéditions Ultima Patagonia, est Lolo-Laurence. Tout commence à chaque fois de la même manière avec la réalisation d'une interminable liste de courses où chaque produit est déterminé puis quantifié avec la plus grande attention afin de pouvoir, sans aucune erreur, assurer les 4200 repas que compte cette expédition UP-2023. Il s'agit de

Ce **mercredi 11 janvier**, à Punta Arenas, l'équipe « vivres et

Santiago du Chili, aéroport international Arturo-Merino-Benítez. L'équipe de pré-expédition, composée de douze personnes, et l'équipe cinéma, composée de cinq personnes, s'envolent ce **mardi 10 janvier 2023** en direction de Punta Arenas.

Une partie de l'équipe de pré-expédition, dirigée par Bernard, reste à Punta Arenas. On trouve ici Franck, Lolo-Laurence, Sylvain, Florian C, Sébastien, Katia, et Carlos que l'on appelle parfois « Mowgli ». Ils ont pris leurs quartiers à l'Hôtel Martita situé sur la Costanera, au bord du détroit de Magellan, non pas pour profiter des plages et des températures particulièrement clémentes pour le coin, mais pour une gigantesque partie de courses dans les supermarchés et boutiques locales. Des courses version XXXL afin de disposer en moins d'une semaine chrono de la totalité des provisions nécessaires à une pleine et entière autonomie pour les 47 personnes qui vont se relayer sur la durée de l'expédition!

Leur mission consistera à charger une partie du matériel qui se trouvait encore dans le conteneur (Natalia, Gilles et Ronald avaient déjà déchargé le conteneur et une partie du matériel acheté), ainsi que le fret aérien envoyé depuis la France. Ensuite, ils devront faire l'ensemble des achats nécessaires à l'expédition, dont celui des vivres. À cela s'ajoutent d'autres acquisitions comme les bouteilles de gaz pour les gazinières, les chauffe-eau et... pour les plongeurs, les piles, les batteries, les sacs poubelles, la cordelette, l'outillage, etc.



boissons » est sur le pied de guerre. Elle monopolisera jusqu'à six personnes à plein temps durant quatre journées.

garantir l'approvisionnement pour les petits-déjeuners, déjeuners et dîners qui seront pris dans les camps de base (Egg



et Barros Luco), les pique-niques des camps avancés ou des explorations spéléologiques, mais aussi certains repas pris sur les bateaux lors des transits. Les vivres et les boissons représentent à eux seuls environ 4 à 5 tonnes de victuailles (soit plusieurs dizaines de caddies) pour une facture prévisionnelle de 15000 €. À noter aussi qu'avant d'acheter certains produits en grandes quantités, ceux-ci devront être testés. C'est le cas notamment du chocolat, des confitures, des gâteaux, mais aussi du produit vaisselle, jusqu'au papier hygiénique - histoire de s'éviter ensuite de mauvaises surprises...

Les deux premiers jours consistent à arpenter les rayons des supermarchés et les boutiques de la ville afin de mener à bien un relevé et un comparatif de prix des plus complets sur environ 200 produits essentiels et coûteux, et ce pour les volumes nécessaires. Une mise en jambes aux explorations où certains auront fait près de 25 km à pied (mesurés au GPS!) dans la journée, pour aller de boutique en boutique à travers Punta Arenas.

Sur les besoins techniques, c'est le même combat... Une équipe dédiée se charge d'une tournée similaire afin de débusquer les meilleurs prix sur les besoins identifiés: un poêle, des chauffe-eau, des batteries pour les zodiacs, du gaz, des instruments scientifiques, ou encore des pièces de construction pour les camps de base qui seront érigés ou remis en fonctionnement.

Le **vendredi 13 janvier**, c'est la première « vraie » journée

d'achats. Bernard sort le carnet de chèques et règle une note d'environ 4 millions de pesos chiliens au supermarché, ce qui correspond à une bonne quinzaine de caddies bien remplis, soit un camion de fret à charger.

Le **samedi 14 janvier**, même combat, dans le plus grand supermarché de la ville: cinq palettes complètes de victuailles sont achetées et stockées en réserve ou en chambre froide dans l'attente de prendre la route vers Puerto Natales.

Le **dimanche 15 janvier**, Bernard, accompagné de Katia, Carlos et Sébastien, rencontre M. Gonzalo Bertolotto, chef du Centre météorologique maritime de Magallanes. Les discussions portent sur les conditions météorologiques complexes dans la zone et la manière dont les spéléologues de Centre Terre gèrent au quotidien les aléas météorologiques. Bernard questionne également M. Bertolotto sur les protocoles de sécurité en vigueur relatifs à la navigation dans les canaux de Patagonie en cas de mauvais temps.

L'après-midi, grâce aux efforts de Francisco Sánchez, un historien qui travaille dans l'équipe de communication du gouvernement maritime de Punta Arenas, plusieurs interviews sont organisées avec les médias locaux afin d'accroître la divulgation et la compréhension de nos activités exploratoires, spéléologiques et scientifiques auprès du grand public.

Plusieurs articles de journaux permettront aussi de mettre en avant les relations mises en place avec les institutions

locales, par exemple celles avec l'Armée du Chili pour le transfert des équipes mi-février.

Le **lundi 16 janvier**, l'opération « courses » reprend au galop, avec ce coup-ci, l'achat de tous les produits frais, en particulier un très conséquent volume de légumes frais (choux, courgettes, oignons, concombres...) et de charcuteries en mesure de se conserver un maximum de jours. Cette opération impose d'écumer plusieurs commerces de la ville afin de passer récupérer les commandes qui ont pu être faites en fin de semaine. La charcutière s'en souviendra: elle a passé tout son week-end à trancher 22 kg de jambon sec et de lomo et à les conditionner sous vide par paquets de 150 g! En France, la seconde équipe Centre Terre constituée de 17 participants prend aujourd'hui son envol de Paris pour Santiago à 23 h 30.

Le **mardi 17 janvier**, c'est aujourd'hui la journée figlorage sur les petits manques. Les listes d'achats sont revues une dernière fois, il s'agit de ne rien oublier. Si un manque est constaté, hop! une personne est missionnée vers le magasin le plus proche.

En fin d'après-midi, Bernard part accueillir les 17 Centre Terriens à l'aéroport. Un accueil ponctué d'une chaleureuse soirée à l'Hôtel Martita pour célébrer l'anniversaire de Lolo, ce qui permet aux nouveaux arrivants de goûter, dans une ambiance des plus conviviales, à nombre de spécialités chiliennes: pisco sur, pebre, ceintollas, agneau patagon grillé, brochettes de beef argentin et salade...

▷ Les denrées fraîches représentent quelques dizaines de cartons.
△ Chargement des palettes de vivres dans l'un des camions loué pour l'occasion.
Photos © Bernard Tourte, Centre Terre

▽ L'équipe de la pré-expédition à l'aéroport de Punta Arenas.
Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre.
▷ Longue file de caddies à la caisse du supermarché.
Photo © Bernard Tourte, Centre terre.
△ Les futurs pique-niques embarqueront bientôt pour Madre de Dios.
Photo © Sylvain Boutonnet, Centre terre.

Le **mercredi 18 janvier**, à 9 heures, le chargement du camion commence. Tout d'abord, les bombards et leurs motorisations Suzuki restant encore au conteneur sont placés dans le fond du camion. À 10 heures, celui-ci part ensuite récupérer les 5 palettes de vivres stockées au plus grand supermarché de la ville. Il revient ensuite à 11 heures à l'Hôtel Martita et achève son remplissage avec les 250 cartons de tailles diverses et variées, stockés là au fil de la semaine par l'équipe de pré-expédition. À 13 h 30, après le pique-nique, les membres de l'équipe prennent le bus, direction Puerto Natales afin d'embarquer en fin de soirée sur le ferry Crux Australis qui les emmènera à Puerto Edén, point de départ officiel de l'expédition UP-2023.



L'expédition Ultima Patagonia 2023 commence vraiment!

Le **vendredi 20 janvier** - 6 heures du matin - le ferry arrive après 29 heures de navigation, un record. À son bord se trouvent l'équipe « courses » de la pré-expédition, l'équipe de spéléologues et de scientifiques du mois de janvier ainsi qu'un camion plein de victuailles et de matériel... qu'il faudra décharger sur le port... pour charger les bateaux... Direction Madre de Dios.

▷ Bernard Tourte expose à Mr Gonzalo Bertolotto, responsable du Centre météorologique maritime de Magallanes, les conditions difficiles de la navigation autour de l'île de Madre de Dios.

Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.

△ L'autorisation nous est accordée pour lever l'ancre, en route pour Puerto Eden.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

Les vivres pendant l'expédition Ultima Patagonia 2023

Pour chaque expédition, quel que soit le domaine sportif, l'un des nerfs de la guerre est la nourriture. En effet, s'il y a de la nourriture en quantité suffisante pour que chacun puisse manger à sa faim, et qu'il y a de la variété et de la qualité autant que possible pour donner envie de manger à chaque repas avec plaisir, alors les hommes et les femmes de l'aventure pourront affronter presque n'importe quel obstacle.

Obélix disait « *quand l'appétit va, tout va* »; il avait bien raison!

Mais, en expédition, ce n'est pas aussi simple qu'à la maison. À la maison, il y a le réfrigérateur qui permet de conserver les aliments à la bonne température, le congélateur pour conserver des aliments encore plus longtemps, une température ambiante constante qui permet de conserver les fruits et légumes, et surtout il y a le magasin pour se réapprovisionner régulièrement. Pendant l'expédition Ultima Patagonia, il n'y a rien de tout cela: pas de réfrigérateur, encore moins de congélateur, une température oscillant entre 2 et 20 degrés dans la tente de stockage de la nourriture, et le premier magasin à trois jours de bateau...

Les courses sont donc toutes

faites pour les huit semaines de l'expédition et les 47 participants pendant la pré-expédition, c'est-à-dire pendant la semaine précédant le début officiel de l'expédition, à Punta Arenas, par une dizaine de personnes. Cela implique une préparation minutieuse de la liste de courses, en prenant en compte les changements de dernière minute du programme et du nombre de participants.

En effet, il faut prévoir en quantité suffisante, mais ne pas non plus acheter trop, car cela aurait des implications budgétaires importantes, augmenterait la manutention (transport des vivres) inutilement et conduirait à gaspiller de la nourriture.

Pour ce qui est de la conservation, l'humidité importante et constante qui caractérise bien le climat de l'archipel de Patagonie nous oblige à ne prendre que peu de produits frais, qui malheureusement pourrissent trop vite, et à favoriser les produits secs (pâtes, riz, purée, haricots, lentilles, quinoa...), les fruits et légumes en boîtes (macédoines, petits pois, maïs, cœurs d'artichaut, et multitude de fruits au sirop), la viande séchée (jambon, lomo, saucissons, chorizo) et les produits en boîte de conserve (sardines, maquereaux, poulpes, crevettes).

Lors des expéditions précédentes sur Madre de Dios, nous avons été un peu embêtés par les rats qui s'introduisaient dans la tente de stockage de la nourriture. Au vu de la quantité importante qui est achetée pour une telle expédition, il est impossible de tout protéger de ces rongeurs. Nous protégeons, grâce à un stockage en bidon et en caisse plastique, seulement ce qui se faisait réellement attaquer par ces petites bêtes. Cette année, soit grâce à l'expérience, soit grâce au fait que nous étions sur de nouvelles zones d'exploration, soit par chance, soit par une combinaison de plusieurs paramètres, le stock de nourriture n'a pas été visité par ces rongeurs.

Les menus s'articulent autour d'une logique simple et efficace:

- petit déjeuner avec thé, café, pain maison, confitures et pâtes à tartiner, céréales
- le midi c'est pique-nique avec biscottes, charcuterie ou boîtes de sardines ou équivalent, fromages et biscuits
- goûter et en-cas avec barres de céréales, fruits secs et graines
- et le soir c'est un menu complet avec une salade en entrée, un plat chaud de type lasagnes, pâtes bolognaises, polenta saucisses... puis

Laurence BOUDOUX D'HAUTEFEUILLE

▷ Une partie de l'alimentation de l'expédition entreposée au port de Puerto Eden avant chargement sur les bateaux

Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



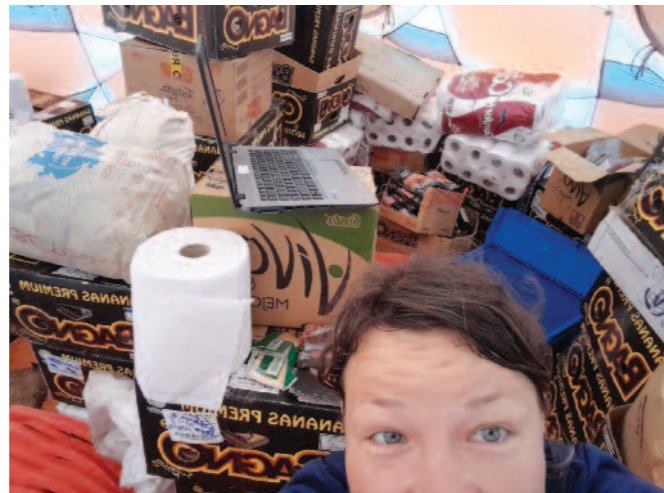


dans chacune de ces équipes.

Ces deux aléas ont demandé des ajustements de dernière minute pendant les courses, des ajustements très réguliers de la répartition de la nourriture pendant l'expédition, et un petit stress sur la réussite de cette mission (jusqu'au dernier jour de l'expédition pour Laurence qui n'était plus sur place à partir du changement d'équipe mi-février).

La mission « *gestion des vivres* » a été réussie grâce à un bon suivi du stock par Christine sur le camp Egg en tout début d'expédition, Franck sur le Egg en deuxième partie d'expédition, Laurent, Clément et Charlotte sur le Barros Luco en deuxième partie d'expédition, et Laurence sur la partie Glacio puis sur le camp de l'estero Egg, mais aussi sur toute la partie préparation en amont de l'expédition, pendant la pré-expédition et la gestion pendant l'expédition.

fromages, et un dessert de type salade de fruits ou yaourt. En camp avancé, le repas est plus simple et le plat chaud consiste en un repas lyophilisé par personne, grâce à nos sponsors.



Cette année, les deux difficultés principales dans la gestion des vivres ont été :

- le nombre important d'équipes en parallèle devant être indépendantes en nourriture,
- les changements fréquents (et imprévisibles) sur le nombre exact de personnes

Les vivres en quelques chiffres :

- d'innombrables changements de planning avant et pendant l'expédition
- 1 455 jours/personne
- 2 jours de repérage des produits dans les magasins de Punta Arenas (ce qui correspond à plusieurs dizaines de kilomètres à pied)
- 3 jours de courses à 6 personnes, de 9 heures à 17 heures
- au moins six magasins différents pour trouver LA bonne levure pour le pain, la fameuse "Instant Success", la même que les marins utilisent donc très importante pour garantir la réussite de chacun des pains
- 3 magasins où les courses ont principalement été effectuées
- 50 kg de charcuterie dont 10 kg de pâtés, 22 kg de jambon et lomo tranchés et emballés sous vide par paquets de 150 g et 4 kg de fouet (saucisson) coupé en deux et emballé sous vide individuellement
- 29 kg de saucisses et 15 kg de chorizos à cuire
- 84 kg de fromage
- 4 palettes de vivres dans le magasin où nous avons acheté le plus
- 3 listes distinctes pour les 3 camps de base principaux : Egg, Glacio et Barros Luco
- mais au final plus de 6 répartitions de vivres avec en plus : navigation de Puerto Edén à l'estero Egg, navigation de l'estero Egg au camp Glacier et navigation du bateau cinéma en direction de Guarello.

La marine chilienne, partenaire clé d'Ultima Patagonia 2023



Natalia MORATA-CALVO

<| L'échange d'équipe a eu lieu entre le LSG Puerto Natales et le bateau No Te Rindas à proximité du phare de l'île Hernando.
Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.

Avec ses 4270 km du nord au sud, coincé entre la cordillère des Andes et l'océan Pacifique, le Chili est l'un des pays les plus longs du monde. Il est entouré de 6435 km de côtes, dont les rivages de l'archipel Madre de Dios, de l'île Diego de Almagro et de la plupart des glaciers du champ de glace de la Patagonie méridionale, qui déversent leurs langues glaciaires directement dans la mer.

La mer est donc un élément déterminant de la géographie de ce pays d'Amérique du Sud, notamment à Magallanes, sa région la plus méridionale, où se trouvent les îles calcaires que Centre Terre explore depuis près de trois décennies.

Cette composante maritime est la raison pour laquelle la marine chilienne, et en particulier la Troisième zone navale, est l'une des autorités chiliennes avec lesquelles nous coordonnons nos expéditions, car ses tâches en temps de paix comprennent des opérations de surveillance du bon usage du littoral, des opérations de sauvetage et un soutien à la recherche.

À cette occasion, la phase administrative préalable à l'expédition Ultima Patagonia 2023 a été particulièrement importante au Chili, principale-

ment en raison de la diversité des points géographiques traversés par notre expédition. Après avoir obtenu les autorisations de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado (DIFROL), du Ministerio de Bienes Nacionales (pour le Bien National Protégé « Archipiélago Madre de Dios ») et de la Corporación Nacional Forestal (pour le Parc National Bernardo O'Higgins), le projet d'expédition a été présenté au contre-amiral Fernando Borcoski de la Troisième zone navale de la marine chilienne et à Juan Carlos Andrades, directeur régional du Service national de prévention et d'intervention en cas de catastrophe (SENAPRED), qui est actuellement l'organisme chargé de coordonner, entre autres, les opérations de protection civile. Tous deux ont reçu le protocole de sécurité et de communication pour nos équipes sur le terrain, et la Troisième zone navale a été invitée à apporter son soutien à l'une des opérations de relocalisation les plus délicates de notre expédition : le changement d'équipe à la mi-février.

Les modalités générales du soutien de la marine chilienne ont été définies avec le gouverneur maritime de Punta Arenas, Juan Pablo Colipi, qui a fait en sorte que le bateau des services généraux LSG Puerto Natales

soit le navire qui transfère nos équipes entre Madre de Dios et Puerto Natales, en profitant de l'une des opérations de patrouille dans la zone. Les derniers détails de l'opération (dates, horaires et points de contact avec l'équipe d'expédition) ont été coordonnés avec le commandant du LSG Puerto Natales, Javier Alvarez, en communication régulière avec le capitaine du port de Puerto Edén, Roberto Vidal, qui a autorisé le départ de nos navires de Puerto Edén.

Par ailleurs, avant le départ officiel de l'expédition, une équipe du Centre Terre menée par Bernard Tourte, chef d'expédition, a été reçue à Punta Arenas par le chef du Centre météorologique maritime de Magallanes, Gonzalo Bertolotto, pour échanger des informations sur l'élément qui marque le plus souvent le quotidien de nos expéditions : les conditions météorologiques complexes de la zone.

Cette année encore, le soutien de la marine chilienne a contribué de manière décisive au succès de notre expédition, qui a été fortement tributaire du mauvais temps, en particulier lors des phases de navigation entre les différents camps de base. Pour ces trajets, nous avons loué des petits bateaux et

Liens utiles :
<https://www.armada.cl/>
<https://www.directemar.cl/>
<https://senapred.cl/>



▽ Natalia Morata, accompagnée de Juan Carlos Tonko et Carolina Huenucoy, de la communauté Kawésqar résidente à Puerto Edén, a rencontré le contre-amiral Fernando Borcoski, de la Troisième force navale pour demander le soutien de la marine.

© Centre Terre.

▷ Le capitaine du port de Puerto Edén, Roberto Vidal, confirme l'autorisation de départ après avoir vérifié nos navires.

© Centre Terre.

△ Bernard Tourte présente les détails de l'expédition au chef du Centre météorologique maritime de Magallanes, Gonzalo Bertolotto.

Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.



leurs équipages à Puerto Edén et Caleta Tortel qui, même s'ils connaissent la région, ne sont pas en mesure de faire face à des conditions de navigation très défavorables pour des raisons de sécurité. Cela a entraîné des retards et des

changements de programme qui, bien qu'ils aient altéré la progression des explorations, sont gérables dans le cadre de la dynamique de l'expédition. En revanche, cette marge de manœuvre n'existe pas pour le changement d'équipe mi-

février. Pour assurer cette opération, d'autant plus délicate qu'elle impliquait les vols aller-retour d'une grande partie de l'équipe de Punta Arenas vers la France et le Canada, la seule alternative fiable dans la zone des canaux de Patagonie était la marine chilienne.

La Troisième zone navale a également largement contribué à l'expédition Última Patagonia 2023 grâce à une excellente et large couverture médiatique qui a permis de faire connaître le travail de Centre Terre en Patagonie occidentale et de rendre visible le lien de partenariat fort qui existe avec la marine chilienne.



Puerto Edén



Puerto Edén est un village localisé sur la bordure est de l'île Wellington, le long du canal Paso del Indio. C'est un district de la municipalité de Puerto Natales située à 400 km.

Le village est niché au milieu du plus grand parc national du Chili, le parc Bernardo O'Higgins, qui s'étend sur plus de 5 millions d'hectares, au sein des régions d'Aysen et de Magallanes. Puerto Edén est, en plus d'être l'un des endroits les plus isolés du Chili, l'ultime lieu habité à proximité de l'archipel de Madre de Dios. Un lieu où, depuis le milieu du siècle dernier, se sont concentrées le plus grand nombre de familles d'origine kawésqar, et où vivent actuellement les derniers membres représentants de cette communauté. Puerto Edén est aussi le lieu où les habitants de Guarello ont déménagé lorsque la mine a été installée et où des habitants de Chiloé sont également arrivés en quête d'un avenir meilleur. Le village qui compte aujourd'hui moins de 200 habitants fut créé dans les années trente par des colons avec la construction d'une base militaire. La base se situait à mi-chemin entre deux grands cen-

tres de populations du sud du Chili, Puerto Montt au Nord et Punta Arenas au Sud, et constituait une escale pour les trajets entre ces deux villes. L'activité économique principale est la pêche artisanale même si le tourisme et l'artisanat traditionnel tendent aujourd'hui à se développer. On trouve à Puerto Edén plusieurs petits commerces (épiceries), une crèche et une école qui accueille les enfants jusqu'au collège, un poste de police et une capitainerie, un poste de santé. La particularité du village est aussi l'absence de route. Les

habitants se déplacent soit en bateau, soit en empruntant des passerelles en bois qui longent la côte et font le charme du village.

Le climat est tempéré et pluvieux. Le cumul annuel de pluie est d'environ 5 000 mm. On notera cependant que durant cette première semaine d'expédition à Puerto Edén (du 12 au 21 janvier), il a fait particulièrement chaud (25° quotidiennement) et que les membres de Centre Terre n'ont reçu sur leur tête qu'une petite averse.

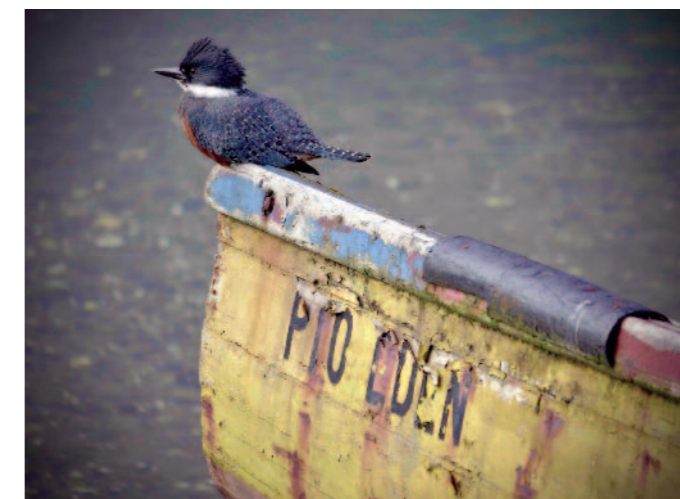
Didier LAMOTTE

△ Puerto Eden.

Photo © Serge Gaillault, Centre Terre.

▷ Martin-pêcheur à ventre roux (*Megasceryle torquata*) de Puerto Edén.

Photo © Bruno Peyronnet, Centre Terre.

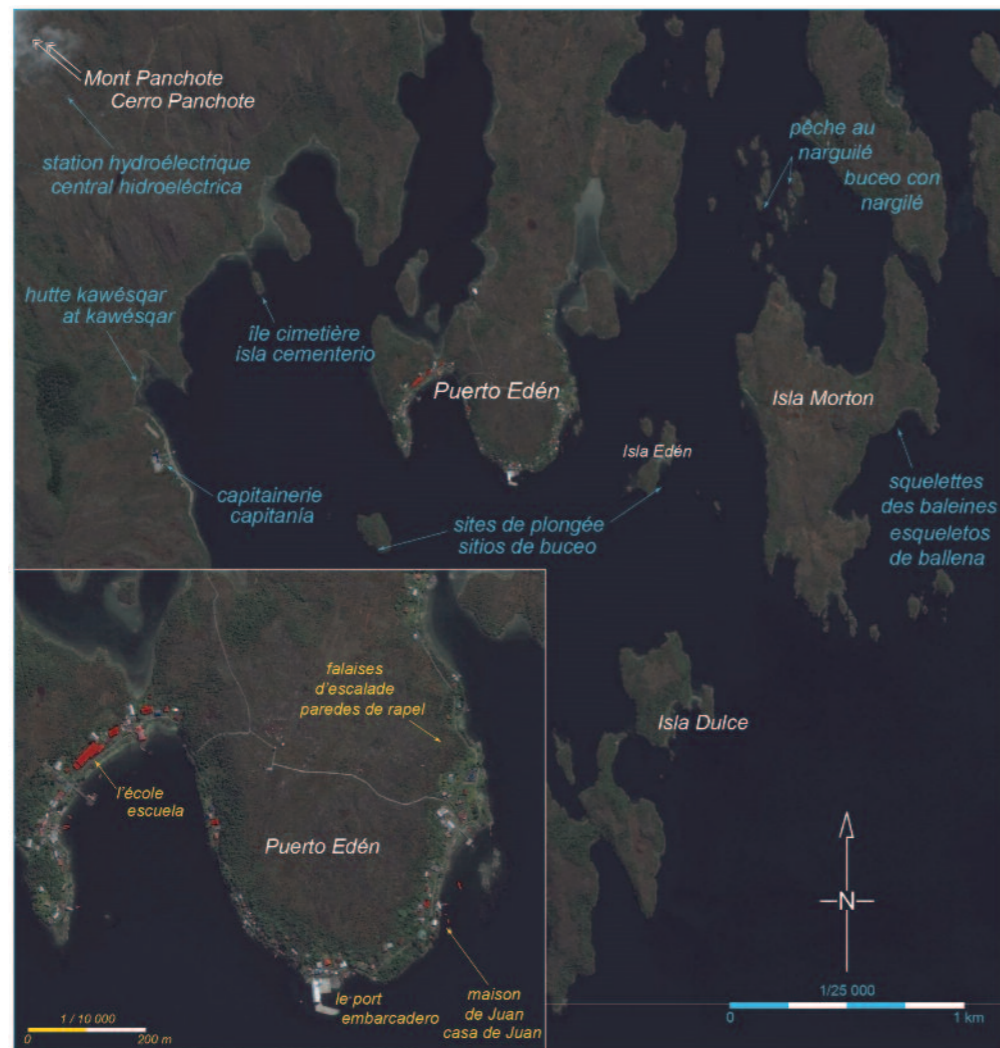


2 - De Puerto Edén à Madre de Dios





Le 11 janvier, l'équipe Centre Terre dirigée par Natalia, accompagnée de l'équipe cinéma, fait étape à Puerto Natales où elle embarquera le soir sur le ferry Crux Australis. La journée est mise à profit pour rendre visite à Gabriela Paterito, une des anciennes Kawésqars qui a le plus contribué à défendre et valoriser la culture de son peuple. Gabriela, réside actuellement à Puerto Natales dans une petite maison en banlieue de la ville. Richard, Natalia et Gilles connaissent bien Gabriela qu'ils ont déjà rencontrée plusieurs fois dans les précédentes expéditions et c'est encore un plaisir pour eux de rendre visite à leur amie. Gilles a prévu une interview de Gabriela. C'est sur le port de Puerto Natales qu'il aura lieu. Richard et Natalia sont chargés d'animer l'entretien. Ils présentent à Gabriela tout le planning de l'expédition, ainsi que les différents lieux qui seront explorés durant les deux mois et demi à venir. Gabriela connaît bien tous les lieux cités : l'estero Egg, l'estero Calvo, les glaciers, jusqu'aux canaux au sud de Madre de Dios. Elle a déjà parcouru tous ces canaux et



bras de mer dans sa jeunesse, en canot à rames, depuis Puerto Edén (environ 150 km jusqu'au nord de Madre de Dios)! Elle partait, à la belle saison, avec des membres de sa communauté vers des lieux de pêche et de chasse qui assuraient leur survie, puis remontait passer l'hiver à Puerto Edén. Ils n'hésitaient pas à faire du cabotage sur le front pacifique pour chasser ou récolter les œufs des albatros dans les falaises.

En fin d'après-midi, nous accompagnons Gabriela chez elle et c'est avec une certaine émotion que Richard lui dit au revoir.

L'équipe pour Puerto Edén embarque sur le ferry Crux Australis à 20h00. Outre le transport de passagers, le bateau assure également le ravitaillement des villages de Puerto Edén et Puerto Yungay et son pont est bondé : camions de marchandises, camping-cars, palettes de provisions alimentaires, sacs de bois de chauffage, etc. Mais curieusement le camion de Centre Terre n'est pas sur le bateau. Il est toujours garé sur le trottoir devant le port. Après plusieurs appels téléphoniques, Natalia nous apprend que le chauffeur a tout simplement oublié l'heure du rendez-vous pour l'embarquement. Cependant, la situation se débloque rapidement, le chauffeur arrive rapidement et monte le camion sur le bateau. Le stress retombe. L'équipe Centre Terre gagne la passerelle inférieure où les places en cabine sont réservées. Le ferry lève l'ancre le lendemain à 5h00 du matin, avec une marée favorable. La mer est calme.

Le 12 janvier, le bateau file à vive allure vers sa destination. Même le Canal de Kirke, étroit chenal réputé difficile à cause des violents courants marins ne pose pas de difficulté de navigation. La journée sur le bateau est longue. Chacun s'occupe comme il peut : lecture, sieste, lecture, sieste... Le capitaine a la bonne idée de passer à la télé de la salle commune le film de l'expédition de 2019. Laurent, Richard, Gilles et Natalia sont vite reconnus par les passagers et deviennent les vedettes du jour. Les discussions rompent alors la monotonie du



Le voyage. Le soir, après le repas, le capitaine annonce l'arrivée à Puerto Edén pour le lendemain vers 17h00.

Il avait vu juste car en fin d'après-midi du 13 janvier, le village est en vue. Tout le monde est alors sur le pont supérieur pour admirer la petite ligne de maisons colorées qui se détache de l'horizon. Le bateau accoste à 17h30 et le camion de Centre Terre est le premier à être débarqué. Il est garé au bout du quai et son déchargement commence sous la vigilance de Natalia et de Aliro Vargas, le responsable du port. Deux

habitants du village nous aident. Tout le matériel est trié et stocké sur une plate-forme du port où sont déjà entreposées les cinq tonnes de bois destinés à la construction de la nouvelle cabane de l'estero Egg. Ce bois de construction avait été acheté et envoyé à Edén des mois auparavant, où il a été déchargé par Juan Avila et Aliro Vargas, deux habitants d'Edén que nous connaissons depuis des années. Le matériel de plongée est déposé à l'écart, à l'abri sous un préau. Laurent commence à gonfler les bouteilles car la première plongée en mer est prévue dès le lendemain.



△ L'interview de Gabriela Paterito à Puerto Natales.

Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.

< < Nous prenons le ferry Crux Australis direction Puerto Edén, une navigation de 36 heures.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

△ Laurent découvre les ossements de baleine.

△ Le plongeur évolue à faible profondeur parmi les algues.

Photos © Caroline Boghossian, Centre Terre.

△ < Localisation des lieux cités dans le texte sur fond d'image Bing Image, modifiée.

© Didier Lamotte, Centre Terre.



Deux gîtes ont été loués pour nous héberger durant cette semaine. L'équipe cinéma (Gilles, Caroline, Christian, Jérôme et Bruno) habitera sur le port, à l'hôtel Yekchal et l'équipe Centre Terre (Natalia, Richard, Laurent et Didier) s'installe chez Juan à l'Est du village. Juan Ávila nous a laissé sa maison le temps d'aller chercher son bateau le Don Tito en réparation à Caleta Tortel.

Le **samedi 14 janvier** à 10 heures, on se retrouve tous chez Juan pour une réunion de planification des activités à réaliser durant la semaine. Le

temps est compté car dès vendredi prochain (20 janvier), débarqueront à Puerto Edén les membres de la pré-expédition ainsi que les spéléologues de l'équipe de janvier. Il faudra alors charger les bateaux de la flottille Centre Terre et gagner l'île de Madre de Dios. Le travail prévu à Puerto Edén est organisé en concertation avec Gilles qui souhaite réaliser plusieurs séquences clés pour le documentaire d'Arte. Ces séquences relateront divers aspects de la vie des habitants, tournée vers la mer, mais aussi l'éducation ou la culture. Des plongées quotidiennes en mer

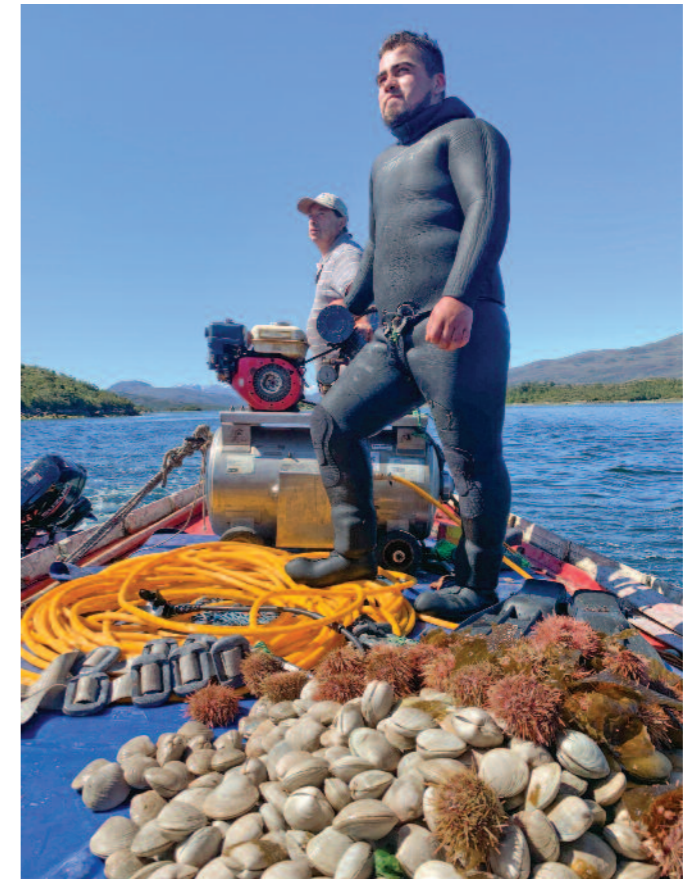
sont également programmées afin de montrer la diversité et la richesse des fonds marins. Enfin une initiation à la spéléologie pour les enfants sera organisée par Natalia, sur les falaises à la sortie du village.

En début d'après-midi, Laurent, Didier, Caroline et Bruno s'attaquent au montage du Bombard qui servira aux nombreux déplacements car il n'y a pas de routes à Puerto Edén! Beaucoup des trajets s'effectueront en bateau d'un point à l'autre du village. D'ailleurs, dès que le hors-bord est en service, Natalia et Richard, accompagnés de Laurent, Didier et Caroline se rendent à la capitainerie située en face du port afin d'obtenir les autorisations nécessaires à tous nos déplacements et aux prises de vues des cinéastes. Au retour, Caroline et Laurent effectuent leur première plongée près du rivage de l'Isla Edén pour filmer les fonds marins et les petites bêtes qui y vivent. Le soir, nous sommes tous invités à un apéritif convivial chez Isabel Negue qui tient un commerce d'artisanat traditionnel kawésqar. Elle fabrique divers objets en vannerie de jonc: petits paniers, coupelles, etc. Nous rencontrons son fils Esteban qui nous accompagnera dans la semaine pour une démonstration de pêche au narguilé. Esteban nous renseigne aussi sur la présence de deux carcasses de baleines qui reposent à faible profondeur sur la rive Est de la Isla Morton située juste en face de Puerto

Edén. Il se propose de nous montrer l'endroit exact dès le lendemain. Ce sera l'occasion pour nos deux plongeurs, Laurent et Caroline, de réaliser de magnifiques images pour le film documentaire. La soirée se termine chez Aliro autour d'un repas servi en famille. Au menu, grillades de bœuf, pommes de terre frites et salades variées, le tout assaisonné d'un condiment typique du Chili (fait maison): le pebre.

Le **15 janvier**, une première plongée sur les ossements de baleines est organisée. Didier, aux commandes du bombard conduit Caroline et Laurent sur le spot de plongée, guidé par Esteban. La navigation prend environ une demi-heure. Il faut contourner le Sud de la Isla Morton et passer entre des récifs à la pointe de l'île. Arrivés sur la zone, les deux plongeurs s'équipent en combinaison étanche avec une bouteille d'air comprimé de 15 litres. Ils pourront plonger un peu moins d'une heure. La baleine gît à proximité du rivage, entre cinq et vingt mètres de profondeur. Ses ossements sont quelque peu éparpillés sur les fonds marins dans la prairie de Kelp. On reconnaît facilement la tête, les vertèbres, les côtes. Malheureusement, l'espèce n'a pas été identifiée par les plongeurs.

De son côté, Richard organise une excursion en direction du Mont Panchote qui domine Puerto Edén. Christian, Jérôme et Bruno, de l'équipe cinéma, se joignent à lui. Le nom de Panchote provient d'un kawésqar de Puerto Edén qui était très grand et qui faisait peur à cause de sa grande taille (et de ses grandes mains rugueuses car il était charpentier de marine). Le but de la sortie est d'approcher le sommet de ce Mont Panchote, afin de mieux pouvoir examiner sa calotte glaciaire sommitale qui fond de jour en jour. Richard et ses acolytes se font déposer en canot Bombard sur la plage puis attaquent la montée en direction d'une ancienne station hydroélectrique alimentée par une conduite forcée. Ils atteignent ensuite une crête vers 600 m d'altitude qui permet d'observer le petit glacier sommital situé vers 1 200 m d'altitude, visible également depuis Puerto Edén. Avec le réchauffe-



< La fierté d'une bonne pêche.
Photo © Laurent Mestre, Centre Terre.

ment climatique, celui-ci risque de disparaître dans les prochaines années. Au-dessous, Richard observe un cirque avec des cascades qui ressemble à Gavarnie dans les Pyrénées. L'équipe cinéma en profite également pour faire une séquence pour le film documentaire.

Une deuxième plongée sur les ossements des baleines sera réalisée le **16 janvier**, au matin. À cette occasion, les plongeurs sont accompagnés par Natalia et Maria-Isabel, Christian et Bruno. Maria-Isabel nous indique qu'il y a en réalité deux baleines. Celles-ci se sont échouées face à Puerto Edén. Ce sont les pêcheurs qui les ont transportées loin du village, dans la crique.

L'après-midi, Natalia, Maria-Isabel, Richard et l'équipe cinéma au complet vont à l'école de Puerto Edén pour présenter aux élèves les dernières nouvelles de l'expédition et leur montrer un film préparé par Gilles avec quelques images d'archives des peuples indigènes de cette zone australe du Chili.

Le **17 janvier**, alors que Natalia part équiper la falaise pour l'exercice sur cordes prévu le lendemain avec les enfants,

Laurent, Caroline, Didier et l'équipe cinéma prennent la mer sur le Sur Oeste, le bateau de Esteban et de son père Javier pour une démonstration de pêche au narguilé. Le lieu de pêche se situe à l'extrémité nord de la Isla Morton dans des petits canaux abrités. Il faut presque une heure au petit bateau en bois pour arriver sur zone en slalomant entre les herbiers de kelp. Bruno profite de la lenteur du trajet pour capter plusieurs séquences aériennes avec son drone. Une fois le bateau ancré, Esteban revêt sa combinaison de plongée intégrale. Seuls son visage et ses mains restent visibles sous l'épaisse protection en néoprène (presque 3 cm d'épaisseur). Des plombs accrochés à la taille et autour des pieds vont le maintenir au fond. Le narguilé qui va lui permettre de respirer est relié à un compresseur d'air, placé sous la vigilance de son père. Ainsi équipé le plongeur peut rester environ 3 heures sous l'eau à une profondeur de 10 à 15 mètres. La plongée durera cette fois-ci une trentaine de minutes. Armé d'une bourriche, Esteban se jette à l'eau. Il est accompagné par Caroline et Laurent qui le filmeront en train de ramasser les palourdes (almejas). Dans cette zone la profondeur n'excède pas 5 à 6 mètres. Il y a tellement de coquillages que le



< À l'horizon, le mont Panchote, enneigé, domine Puerto Edén.

Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.

< Au fond, Esteban ramasse les coquillages à pleine main.

Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre

< Au paradis des pêcheurs!

Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.



sac est plein en un quart d'heure et Esteban remonte déjà 15 kilogrammes de palourdes. Son père les vide sur le pont du bateau et le fils replonge. Une heure plus tard, les pêcheurs décident de changer de lieu de pêche et rallient une petite crique non loin de là. Cette fois-ci, ils chasseront les oursins!

Le mercredi (**18 janvier**), c'est le jour des enfants. À cette époque, dans l'hémisphère sud, c'est l'été et les vacances scolaires. Bon nombre d'enfants sont partis voir leur famille et ont quitté Puerto Edén. Il reste cependant dans le village une petite dizaine d'enfants. Natalia et Maria-Isabel leur ont prévu des activités en rapport avec l'expédition spéléologique. Le matin, Laurent explique la plongée sous-marine à la station de gonflage des bouteilles d'air comprimé. Ensuite les enfants vont se promener près du

village avec Richard et Natalia pour observer la flore, la faune et la géologie. Ils sont accompagnés de Bruno et Christian, qui immortalisent ces moments. L'après-midi, le rendez-vous est donné au pied des falaises situées à la sortie de Puerto Edén, vers l'Est du village. Natalia a équipé un petit circuit sur cordes pour une séquence technique d'initiation à la spéléologie. Les enfants, habitués à ce genre d'exercice, devront le parcourir en imaginant être dans une immense grotte. Le parcours du jour est également encadré par Didier. Il commence par une descente en pente douce suivie d'une courte verticale que les enfants abordent au descendeur spéléo. Viennent ensuite une main courante, puis une verticale de cinq à six mètres, contre paroi, que tous les enfants descendent facilement.

Le **19 janvier**, Caroline et Laurent réalisent leur dernière plongée sous la surveillance de Didier resté sur le Bombard pour assurer leur sécurité. Gilles a demandé aux plongeurs de réaliser des prises de vues en macro des animaux marins (crabes, étoiles de mer...). Pendant ce temps, Natalia, Maria-Isabel, Richard et le reste de l'équipe cinéma se rendent au cimetière de Puerto Edén qui a la particularité d'occuper tout un petit îlot, en face du village. De nombreux Kawésqar reposent dans ce cimetière. En face du cimetière, sur la côte, pas très loin de la capitainerie, une hutte traditionnelle kawésqar a été reconstituée. Il s'agit d'un *tchelo* (mot kawésqar), une grande hutte particulière, faite de toile blanche avec deux ouvertures. Elle était construite quand une baleine s'échouait sur une plage. Quand le groupe apprenait qu'une baleine était échouée, les femmes et les enfants devaient rester cloîtrés dans leur hutte et ne pas en sortir, fermer les portes, éteindre le feu et attendre en silence. Le *tchelo* était réservé aux hommes qui s'y réunissaient pour manger ou parler entre eux. Ils pouvaient sortir et aller chasser ou pêcher. Les femmes n'avaient pas accès à cette hutte. L'enfermement durait 2 à 3 jours, le temps que, selon la coutume, l'esprit de la baleine passe de la mer à la terre.

Le soir, Esteban a organisé un match de football amical entre l'équipe Centre Terre et l'équipe locale composée des jeunes de Puerto Edén. Il y a des amis d'Esteban et quelques jeunes membres des carabineros, qui jouent à domicile. Dans ce face-à-face, Centre Terre a peu de chance de l'emporter et l'équipe de spéléologues/cinéastes est battue à plat de couture: 15-1 (au moins)!

La semaine à Puerto Edén se termine dans la convivialité. Demain, une autre phase de l'expédition commence avec l'arrivée de l'équipe de la pré-expédition rejointe par les spéléologues de janvier à Puerto Natales. Il faudra charger les bateaux et gagner l'île de Madre de Dios.

Vendredi 20 janvier, le ferry Crux Australis arrive plus tôt que prévu à 6h00 du matin après



29 heures de navigation, un record. Le camion qui contient les courses faites à Puerto Natales et le matériel qui restait dans le container reprend sa place en bout de quai et le déchargement commence. Il y a là aussi, amarrés au quai, les quatre bateaux qui formeront l'escadrille Centre Terre. Trois embarcations sont louées: le Don Tito, le No te Rindas, le Paz Austral. Quant au Yepayek, en appui et soutien logistique, il est

gracieusement mis à disposition pour cette mission par un des partenaires chiliens de l'expédition: la CONAF (Corporation Forestière Nationale). La zone de stockage mise à disposition par les autorités portuaires se trouve rapidement remplie. Mais le capharnaüm n'est qu'apparent: tout a été soigneusement trié et répertorié en fonction de sa destination sur tel ou tel bateau. On trouve là les bidons de matériel personnel ou

collectif, le bois de construction et les tôles de toit de la future cabane, plusieurs palettes de nourriture ou de bois de chauffage, les tentes, plusieurs bouteilles de gaz, tout le matériel des plongeurs, etc. Il y a aussi, stockés à l'écart au bout du quai, 600 litres d'essence pour les moteurs hors-bord et les générateurs électriques. D'ailleurs, Flo s'affaire déjà, les mains dans le cambouis, à la remise en état desdits moteurs. À proximité, un groupe entreprend tant bien que mal le montage des Bombards qui seront remorqués derrière les bateaux. Le reste de l'équipe s'attaque au chargement des bateaux sous l'œil vigilant des capitaines qui répartissent les charges au fond de la cale ou sur les ponts. Seul Serge, dispensé pour raisons médicales, ne participe pas à l'effort, mais encourage les troupes. Ses nombreuses photographies immortalisent cette nouvelle phase de chargement-déchargement caractérisant cette expédition.

À la nuit tombée, le quai est vide et l'équipe se retrouve pour un pique-nique près de la zone portuaire. Chacun regagne ensuite sa couchette, dans l'un des deux gîtes ou sur l'un des bateaux, prêt pour le départ.

Le lendemain matin (**21 janvier**), lever 5h30, briefing de Bernard sur le quai à 6h00, départ à 8h00 sur une mer d'huile.

Bernard rappelle les objectifs, les dernières consignes et recommandations de rigueur. Il détaille le programme du mois à venir avant la relève qui aura lieu le **14 février**:

Dans un premier temps, la flottille de bateaux prend la mer en direction de l'île de Madre de Dios. Sa destination est un fjord abrité, l'estero Egg, sur la côte nord où sera construite la nouvelle cabane, point de départ des explorations. Durant deux à trois jours, toute l'équipe sera mise à contribution pour décharger le matériel et les vivres nécessaires à la mise en place du camp de base et à la vie de ses occupants jusqu'à la fin de l'expédition.

Cette tâche accomplie, l'équipe sera séparée en trois groupes: le premier restant au camp Egg pour construire la cabane et

<| Laurent observe une grappe d'œufs accrochés sur une algue.
Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre.

<| *Labidiaster radiosus* dans son milieu (identification: Loïc Villier, Sorbonne Université | UPMC, France).
Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre.

<| De nombreux crabes peuplent les fonds marins des canaux patagons.
Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre.

<| Les plongeurs évoluent dans les prairies de kelp.
Photo © Caroline Boghossian, Centre Terre.

△ △ Constanza s'apprête à descendre la falaise avec l'aide de Natalia.

Photo Didier Lamotte, Centre Terre.

△ Natalia sécurise la progression des apprentis spéléologues.

Photo © Maria-Isabel Tonko, Centre Terre.

▷ Le bois de la future cabane est chargé dans la cale de l'un des trois bateaux.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



▷ Au départ de la tyrolienne.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



▷ La construction du platelage pour les dortoirs.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



commencer les explorations. Un deuxième partira établir un camp de base temporaire sur le glacier Campo de Hielo Sur. Le troisième groupe partira sur les traces des nomades de la mer, les Kawésqars.

L'équipe Centre Terre, en ordre de bataille, comprend maintenant 32 personnes (spéléologues, scientifiques, chefs opérateurs cinéma, ingénieur du son et réalisateur), ainsi que les deux Kawésqars, Maria-Isabel et Francisco.

Le trajet vers l'estero Egg dure 10 heures sur une mer assez calme. Nous voguons vers le sud en empruntant tout d'abord le canal Wide puis, au niveau de l'île Topar, nous bifurquons vers l'ouest pour traverser dans sa

diagonale le canal Trinidad. Madre de Dios se dévoile à bâbord avec l'océan Pacifique droit devant, la houle augmente. Encore trois heures de navigation et nous entrons dans l'estero Egg qui est un vaste fjord sur la côte nord de l'île. L'opération prend fin à la nuit noire pour les deux dernières embarcations qui ferment la marche.

Dans l'estero, les quatre bateaux passent la nuit, arrimés côte à côte et le déchargement commence dès le lendemain matin (**dimanche 22 janvier**).

L'objectif de la journée est simple: il faut décharger un maximum de matériel tout en assurant son stockage à l'abri. On n'est jamais à l'abri d'une

averse sur Madre de Dios... d'ailleurs, il pleut. L'équipe de constructeur doit aussi démarrer le plus rapidement possible la construction des installations du camp de base (cabane, platelage pour les tentes-dortoirs, toilettes...), et, pour cette tâche, la priorité est de monter le bois de construction sur le replat rocheux du camp situé à environ 30 mètres au-dessus du niveau marin.

Laurent, Franck et Carlos installent dans un premier temps la tyrolienne. Elle mesure environ 60 mètres de longueur depuis la plage rocheuse jusqu'à un promontoire à proximité de la future cabane. Quasiment tout ce qui doit monter au camp de base passe par la tyrolienne, aussi bien toutes les charges lourdes (bois de chauffage, bouteille de gaz, poêle...), mais aussi les affaires personnelles de l'équipe (sacs à dos, bidons...) et toute la nourriture pour le camp de base et les camps avancés. Dès que la tyrolienne est installée, les 3 compères rejoignent le reste de l'équipe qui s'affaire déjà dans une longue chaîne humaine à monter le bois de construction au niveau de la future cabane. Ainsi dans un premier temps, 500 madriers de section 5x10 cm et 105 poutres de section 6,3x18 cm, le tout en 3,20 mètres de long, passent de main en main depuis les cales du Don Tito et du No te Rindas jusqu'à la zone de stockage 30 mètres plus haut. Le reste des madriers sera monté ultérieurement au fur et à mesure des besoins. Les 36 plaques de contreplaqué et les 80 tôles de couverture "bac acier" du toit sont chargées sur la tyrolienne.

Pendant ce dur labeur, la construction du platelage pour les tentes-dortoirs a commencé. Cédric dirige son équipe de bâtisseurs - Sylvain, Sébastien, Clément et Lionel. La structure porteuse n'est pas encore terminée qu'une équipe féminine « ultra » motivée s'affaire à clouer le plancher. Leur efficacité pousse l'équipe de bâtisseurs à redoubler d'efforts pour ne pas les ralentir. Cette symbiose permet de construire la quasi-totalité de la plate-forme avant la tombée de la nuit, en une seule journée... bien chargée. La plate-forme se situe légèrement en contrebas de la cabane, à une quarantaine de mètres. Elle permettra

d'accueillir cinq tentes dôme. Elle doit être terminée le soir même afin qu'une partie de l'équipe puisse dormir confortablement au camp plutôt que sur les bateaux où le couchage est plus spartiate. Certains dormiront cependant sur les bateaux.

Enfin, le dernier madrier sort de la cale du No te Rindas! Il faut désormais s'attaquer au déchargement du reste du matériel. Chacun trouve vite sa place dans cet immense chantier: une équipe au déchargement, deux équipes à la tyrolienne, une équipe au gonflage et à la préparation des zodiacs, une équipe au montage de deux tentes dômes: l'une pour mettre tout le matériel sensible et l'autre pour stocker la nourriture à l'abri. Près de cette tente, Laurence et Christine inventorient, trient et étiquettent les cartons de nourriture et de boissons afin de gérer au mieux le stock pendant les deux mois et demi à venir. La première journée de déchargement se termine à 21 h 30.

Le **23 janvier**, la météo est maussade, les averses de pluie et de grêle s'enchaînent toute la journée. Pourtant, il faut terminer le déchargement des bateaux, le tri du matériel et surtout commencer la construction de la cabane. Mais ce matin, une mauvaise surprise de taille attend les premiers à descendre sur la plage du déchargement: le matériel stocké là la veille a disparu. Des planches, des poutres, des bidons d'équipement, un compresseur de

plongée dans sa malle étanche et deux zodiacs gonflés qui étaient entreposés sur une petite butte herbeuse ont été emportés par une marée un peu plus forte que celle de la veille et sont partis au gré des courants de l'estero Egg. Deux équipes sont immédiatement dépêchées pour une pêche au gros, l'une le long de la côte, l'autre en direction du canal Trinidad. Coup de chance, ou coup du sort, tout est retrouvé, y compris les deux embarcations parties à la dérive, à 2500 m de la plage utilisée pour le débarquement, près de l'embouchure de l'estero Egg dans le canal Trinidad. Heureusement, le vent nord-est soufflait cette nuit-là, ce qui semble avoir évité un éparpillement bien pire encore.

Pendant ce temps passé à réparer les erreurs de la veille, le déchargement continu et les charpentiers attaquent quant à eux, la construction de la base de vie. Cédric, qui avec Nicolas a dessiné les plans, coordonne la manœuvre. L'équipe de constructeurs est composée de Sylvain, Sébastien, Clément, Lionel et Cédric. Ça mesure, scie, cale, positionne, renforce, visse et cloue du madrier, parfois sous la pluie battante, parfois sous le soleil, parfois sous une belle averse de grêle, avec un résultat à la hauteur des efforts. À 20 heures, c'est la totalité de la structure de solivage de la construction qui est en place, prête à réceptionner le plancher. Le lendemain, une nouvelle phase de l'expédition débute avec la séparation temporaire de l'équipe en trois groupes:

Le **groupe « Kawésqar »** prendra la mer sur le Paz Austral pour un périple sur les traces des nomades kawésqar autour de l'île de Madre de Dios. On y trouve Bernard, deux prestigieux représentants de la communauté kawésqar: Francisco et Maria-Isabel, fille de Gabriela accompagnés de Richard, Charlotte, Laurent, Marie, Rafaël et Didier. Le gros de l'équipe cinéma est également de cette virée avec: Gilles, Caroline, Christian et Bruno. Pour cette équipe, la première étape sera la base minière de Guarello située au sud de Madre de Dios.

- Le **groupe « Glacier »** embarquera sur le No te Rindas et le Don Tito et prendra la direction du Campo de Hielo Sur, troisième calotte glaciaire au monde après les deux pôles, afin d'installer un camp en secteur glaciaire sur l'estero Calvo. Natalia est à la coordination de ce groupe, accompagnée de Denis, Katia, Carlos, Sylvain, Clément, Arnaud, Laurence, Tanguy, Lionel, Michel et Serge, sans oublier Jérôme de l'équipe cinéma.

- Le **groupe « Egg »** constitué de neuf personnes restera sur l'île pour finir la construction du camp, reconnaître le terrain pour les approches vers les plateaux calcaires et y commencer les premières explorations. Il y a un duo en chefs de camp, avec Franck et Alexandre A. Ils sont accompagnés de Christine, Joël, Olivier, Alexandre H., Jessica, Cédric et Florian C.



< Déchargement de tout le matériel pour le camp de base du Estero Egg.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

Promouvoir la spéléologie au Chili



Natalia MORATA-CALVO

▷ Bruno, Christian, Didier, Richard et Natalia ont passé une journée d'activités avec les enfants de Puerto Edén avant le départ officiel de l'expédition.

Photo © D. Lamotte, Centre Terre.

La spéléologie est quasiment inconnue au Chili, notamment parce qu'il existe peu de sites calcaires dans cette partie du monde. Les expéditions de Centre Terre ont fait découvrir aux Chiliens l'un de ces lieux rares: les îles Diego de Almagro et Madre de Dios. Les paysages fascinants et l'aventure humaine racontée dans les livres et les documentaires de Centre Terre sont devenus une source d'inspiration pour ceux qui font maintenant partie de l'Asociación Espeleológica de Patagonia.

En août 2017, avec l'aide de Centre Terre, l'Asociación Espeleológica de Patagonia a été créée au Chili. C'est une organisation à but non lucratif dont l'objectif principal est de développer la spéléologie au Chili, en promouvant l'exploration et l'étude du sous-sol. Parmi les membres fondateurs de l'association figurent Richard Maire, Stéphane Jaillet et Bernard Tourte, ce qui prouve le lien entre Centre Terre et l'association chilienne.

Depuis sa création, l'activité de l'Asociación Espeleológica de Patagonia s'est développée autour de trois axes principaux: la formation aux techniques spéléologiques, les activités

éducatives utilisant la spéléologie comme outil pédagogique et la diffusion du travail de Centre Terre en Patagonie. L'objectif final est d'explorer, de documenter et de promouvoir le patrimoine spéléologique du Chili qui, pour l'instant, reste pratiquement inconnu.

Fonctionnement

Comme Centre Terre, l'Asociación Espeleológica de Patagonia a un système d'assemblée. Outre le conseil d'administration, où deux sièges sont réservés aux membres de Centre Terre, plusieurs commissions sont chargées d'organiser les différentes activités et de jeter les bases de ce qui sera à l'avenir la Fédération Chilienne de Spéléologie. Cette structure embryonnaire s'inspire de la Fédération Française de Spéléologie et vise à couvrir à l'avenir tous les domaines de l'activité spéléologique au Chili: de la formation et l'éducation au sauvetage.

Comme Centre Terre, l'Asociación Espeleológica de Patagonia fonde son financement sur l'autogestion et ne compte pas sur le soutien permanent d'une organisation mécène.

La spéléologie depuis l'enfance

L'un des objectifs de l'Asociación

Espeleológica de Patagonia est de diffuser le travail que Centre Terre développe depuis des décennies dans les canaux de Patagonie et de convertir toute cette connaissance d'un territoire unique en un puissant outil pédagogique. C'est ainsi qu'est née en 2019 l'initiative éducative *Cuerdas y Más* avec l'école et le jardin d'enfants de Puerto Edén, qui - en plus de rapprocher les enfants de cette localité isolée de leur territoire à travers la spéléologie - a permis d'initier un bel échange culturel entre les enfants de Puerto Edén et les élèves de CM1 et CM2 de l'école primaire de Lorp-Sentaraille (France), qui suivent également les expéditions de Centre Terre à travers le projet éducatif avec le ministère français de l'Éducation nationale.

Centre interactif de spéléologie et d'environnement souterrain - CIEMS

En 2019, l'accord de collaboration entre le ministère chilien Ministerio de Bienes Nacionales et Centre Terre a été mis à jour pour inclure l'Asociación Espeleológica de Patagonia. Cet accord de coopération vise, précisément, à soutenir la candidature de l'archipel Madre de Dios au patrimoine mondial de l'humanité. À cette fin, l'un des outils prévus dans l'accord

est la création d'un centre spéléologique à Puerto Natales pour "amener l'île sur le continent" et mettre à la disposition du public un lieu extraordinaire pour sa valeur naturelle et patrimoniale.

Le projet de conception et de construction du Centre interactif de spéléologie et de l'environnement souterrain - CIEMS, qui a vu le jour en 2017 en collaboration avec le gouvernement de la région de Magallanes et l'Antarctique chilien, a pour objectif de contribuer au développement d'un centre scientifique, sportif et éducatif dans la province d'Última Esperanza. En plus de contribuer à la connaissance du karst patagonien, il vise à devenir le pendant sur le continent du Centre Ethnoscience Jetarkte de Puerto Edén. En effet, les liens étroits entre Centre Terre et l'Asociación Espeleológica de Patagonia avec la communauté de Puerto Edén permettront au CIEMS de devenir non seulement la porte d'entrée du karst patagonien, mais aussi explicitement la branche continentale de Puerto Edén.



▷ Caroline en progression dans un méandre qui vient d'être découvert, cueva Casablanca, Estero Egg.

▷ Natalia en exploration au Porche Edén, une grotte école aux confins de la Patagonie, Estero Egg.

Photos © Serge Caillaud, Centre Terre.

Pour plus d'informations : www.espeleopatagonia.cl

3 - Sur les traces des nomades de la mer





◁ Les cannelures du rivage sud de Madre de Dios.

Photo © Richard Maire, Centre Terre.

△ Bernard prépare l'équipement pour descendre dans les cannelures sous l'œil de l'équipe cinéma et sous la pluie.

Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre

Le 24 janvier, le Paz Austral lève l'ancre à 7h00 et se dirige vers de l'île de Guarello située au sud de l'archipel de Madre de Dios. Le trajet dure environ 10 heures par le canal Trinidad, puis par le canal Concepción le long du continent en direction du Sud. La houle ayant forcé dans la nuit, la navigation ne pouvait s'effectuer par l'océan Pacifique. Nous arrivons à Guarello vers 17h00 et accostons au port de la mine qui devient pour quelques jours notre port d'attache. Aussitôt arrivé, Bernard prend contact avec le directeur de la mine qui nous accueille, avec ses collègues. Après les salutations d'usage, le

Directeur nous invite à partager un pot de bienvenue dans les locaux de la mine. Le soir nous sommes invités à manger à la cantine du personnel, mais nous dormirons sur notre bateau.

Le 25 janvier, Gilles souhaite filmer une séquence importante du film documentaire à la grotte du Pacifique. Cette grotte située sur la pointe sud-ouest de l'île de Madre de Dios est un site archéologique majeur pour le peuple kawésqar puisque c'est un des rares sites d'habitat en grotte dont les parois sont ornées de peintures rupestres dans les archipels de Patagonie. Le matin, nous tentons donc une sortie avec le canot rigide

du Paz Austral en direction de la grotte du Pacifique. Malheureusement, Noël, le capitaine du Paz Austral, aux commandes du canot, n'arrivera pas à nous faire accoster près de la grotte à cause d'une trop forte houle. Une deuxième tentative est programmée pour le lendemain.

L'après-midi, une autre séquence de prise de vues pour le documentaire est orchestrée par Gilles. Il s'agit d'expliquer la formation des célèbres cannelures de la côte sud de Madre de Dios, à proximité de Guarello. Le tombant de cannelures se développe sur près d'un kilomètre de long sur une hauteur de plus de 300 mètres. Il offre un spectacle fascinant, témoin d'une intense dissolution karstique. Il tombe ici entre 8 et 9 mètres d'eau par an (à comparer avec les 700 mm de précipitations moyennes à Paris). Combinée à l'action du vent, c'est la pluie qui ruisselle sur les dédales calcaires de Madre de Dios qui creuse ces cannelures. Pour les besoins de l'équipe cinéma, Bernard a installé plusieurs cordes de rappel qu'utiliseront Charlotte et Richard pour réaliser la séquence au beau milieu des falaises de cannelures. Bruno et Christian enregistreront la scène. Mais aujourd'hui, la pluie intense rend toute prise de vue impossible, la séquence est donc reportée au lendemain. Pendant ce temps, en haut de la



falaise, Laurent, Didier et Caroline installent une mini station météorologique, constituée de 3 anémomètres et d'un pluviomètre qui enregistrera les variations climatiques pendant les deux mois de l'expédition.

Le retour vers les canots s'effectue sans difficulté sauf pour Christian qui a bien failli y laisser la vie. En effet, emporté par le poids de son matériel d'enregistrement du son, il a chuté, tête la première, du haut d'un rocher de 2,50 m. Heureusement, il est tombé sur un buisson (le seul buisson à plusieurs mètres à la ronde) qui a amorti sa chute. Il s'en sort avec quelques égratignures au visage et sur les bras.

Le 26 janvier, la météo sur le Pacifique n'est pas au beau fixe. Cependant, une deuxième tentative de débarquement à la grotte du Pacifique est programmée pour le début d'après-midi, en fonction de la marée. Le matin est donc consacré à l'étude des cannelures de Madre de Dios, qui plongent dans la mer à l'extrémité nord du seno Azul. La descente en rappel dans les cannelures ne pose aucun problème à Charlotte et Richard. Ils vont au plus près de leur objet d'étude, suspendus au bout d'une corde de 50 mètres de longueur. Bruno et Christian les suivent dans le vide, sous l'œil vigilant de Bernard. Ils enregistrent la scène qui fournira une belle séquence aérienne pour le film documentaire. De leur côté, 200 mètres plus bas, Caroline, Laurent et



Didier préparent une plongée sur ces mêmes cannelures. Ces cannelures sous-marines témoignent d'une époque où le niveau marin était plus bas. Les images des cannelures captées sous l'eau par Caroline vont compléter les observations de Charlotte et Richard.

En début d'après-midi, toute l'équipe embarque sur le canot rigide du Paz Austral pour tenter, une deuxième fois, de débarquer à la grotte du Pacifique. Cependant, Noël, le capitaine-pilote, ne se fait pas trop d'illusion, car la houle est encore forte, malgré le temps qui s'est amélioré. Et il a bien raison d'être pessimiste, car au bout de dix minutes de navigation en direction du Pacifique, nous faisons demi-tour, secoués par

une houle de 1,50 m d'amplitude. Cette fois-ci, nous n'avons même pas aperçu le porche de la grotte. Nous regagnons le Paz Austral mouillés jusqu'aux os.

Sur le retour vers le port de Guarello, Laurent réalise une dernière plongée. Il doit en effet récupérer une bouteille d'oxygène comprimé tombée à l'eau lors d'une mauvaise manipulation pendant la préparation de la plongée le matin. Cette bouteille d'oxygène est indispensable à la sécurité des plongeurs, car elle permet une oxygénothérapie en cas d'accident de décompression. Au moment de la chute de la bouteille dans l'eau, Laurent a eu le réflexe de localiser l'endroit en prenant des amers sur la côte (points de repères visuels

△ Charlotte et Richard vont étudier les cannelures, suspendus à une corde.

Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.



◁ La grotte du Pacifique

Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.

▷ Maria-Isabel présente le drapeau de la communauté Kawésqar de Puerto Edén.
Photo © Charlotte Honiat, Centre Terre.



identifiables sans ambiguïté) et en jetant dans l'eau une bouée lestée d'un corps mort pour marquer l'endroit. Pour des raisons de sécurité, Laurent s'impose une plongée ne dépassant pas 30 minutes et 30 m de profondeur. À 15 m de profondeur, il traverse un nuage de crevettes et de méduses. Le courant est fort et la visibilité est très réduite. Il distingue cependant le câble du corps mort complètement incliné. Vers 25 m, la visibilité devient meilleure, l'eau s'éclaircit et le plongeur peut distinguer le fond situé à 30 m et le corps mort. Celui-ci a été entraîné par les courants marins et a laissé un long sillon dans le sable. Laurent suit le sillon et sa lampe frontale éclaire bientôt une forme jaune plantée dans le sable. Le plongeur accroche la bouteille à la corde de la bouée puis remonte vers la surface en faisant ses paliers de décompression. À peine la tête hors de l'eau que la question fuse :

« - Alors ? Tu l'as trouvée ?
- Ben non y a trop de courant elle a dû dériver. Remontez la corde !
- C'est lourd ! y a quoi au bout ??? »

Le **27 janvier**, il fait beau ! Le Paz Austral quitte le port de Guarello, direction la pointe

côte rocheuse, il faut profiter de la houle pour sauter littéralement du canot, un par un, puis attendre une deuxième vague pour qu'une autre personne s'extirpe du canot. À ce jeu, Didier rate son coup et s'étale dans une vasque. Il se fera une petite entorse au pouce gauche en tombant. L'équipe en sûreté sur la côte, Noël regagne le Paz Austral.

La grotte du Pacifique s'ouvre en pied de falaise. Il s'agit d'un immense porche situé à trois mètres au-dessus du niveau marin et orienté au Sud. La grotte, découverte lors de l'expédition de 2006, a été étudiée lors d'une mission scientifique Centre Terre en 2008. Sa description a été publiée en 2009 et 2010*. La silhouette caractéristique du porche en forme de « masque » a quelque chose d'inquiétant. Les dimensions de la grotte sont modestes : 25 m dans sa plus grande longueur, 10 m de largeur à peine et une hauteur moyenne de 4 m. À l'intérieur, le sol est plat et un immense amas coquillier et d'ossements d'animaux marins recouvre la terrasse de galets. Deux foyers sont également visibles. Mais la singularité de cette grotte est la présence de peintures rupestres, attribuables directement à la culture des nomades de la mer. Il s'agit aussi de la première grotte ornée découverte pour cette partie maritime de l'archipel de Patagonie. Les peintures murales se situent au fond de la cavité, dans la pénombre. Ce sont des motifs géométriques ou des représentations symbolisées humaines ou animales.

À l'intérieur de la grotte, l'équipe est relativement à l'abri des



* : S Jailliet et al., « Découverte d'une grotte ornée dans l'archipel de Patagonie chilienne : la grotte du Pacifique. », in Colloque archéologie souterraine et spéléologie., vol. 34, Spelunca Mémoires (Périgueux, 2006, 2009), 173-83; S Jailliet et al., « La grotte du Pacifique (Chili). Première grotte ornée de l'archipel de Patagonie. », Lettre internationale d'informations sur l'art rupestre (INORA), 58 (2010).

▷ Le retour s'effectue sur une corniche battue par les vagues.
Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.



◁ Raphaël prélève des échantillons d'eau afin d'extraire l'ADN environnemental.
Photo © Charlotte Honiat, Centre Terre.

éléments, à l'extérieur le vent s'est levé et est déjà tempétueux. Le panneau principal des peintures composé d'un cercle de point, d'un soleil et d'une figure anthropomorphe est immédiatement retrouvé par Maria-Isabel, qui, émue, nous présente le drapeau kawésqar où figurent deux de ces motifs : le soleil et la figure anthropomorphe. Les trois couleurs du drapeau symbolisent le ciel et la mer nourricière (le bleu), toutes les collines et les montagnes toujours enneigées (le blanc) et la toute forêt (le vert). Sur la plage, Maria Isabel nous dispense un cours de botanique kawésqar. Elle nous fait goûter plusieurs baies comestibles qu'elle récolte sur des buissons. Elle nous montre également quelques plantes utilisées dans la pharmacopée kawésqar.

Après le tournage des diverses séquences pour le film dans la grotte, le retour sur le bateau s'effectue en longeant la falaise jusqu'à la « grotte du Baron ». L'embarquement dans le canot rigide du Paz Austral est tout aussi sportif que le débarquement. Une heure plus tard, toute l'équipe arrive au port de la mine de Guarello.

En soirée, pour honorer une demande du Directeur de la mine, le film de Gilles Santantonio « *Ultima Patagonia* » relatant l'expédition de 2019 est projeté à la salle de cinéma de la mine, en présence


d'une quarantaine d'employés de la carrière, ainsi que d'une équipe de scientifiques chiliens (géologues et biologistes) alors présents sur l'île. Bernard, Richard, Didier, Laurent et bien sûr Maria Isabel assistent à la projection. S'ensuit une série de questions adressée principalement à Maria-Isabel, à Richard et à Bernard. À la fin de la soirée, nos deux compères n'échappent pas à une séance de selfies avec pratiquement tous les employés venus voir le film !

Le **28 janvier**, Raphaël, le biologiste marin de l'équipe, souhaite réaliser une série de prélèvements d'eau de mer afin de réaliser des suivis de biodiversité animale à l'aide de l'ADN environnemental. Cette méthode consiste à récupérer les infimes traces d'ADN laissés par les êtres vivants dans l'eau (écailles, plumes, urine...) en filtrant environ 30 litres d'eau par prélèvement. Les particules d'ADN piégées seront ensuite analysées en laboratoire pour identifier la plupart des espèces marines présentes sur un site. Didier conduit le scientifique en Bombard dans une petite crique éloignée du port où il pourra faire ses premiers prélèvements. Au total, durant son mois d'expédition, Raphaël réalisera 25 prélèvements (à Guarello, au camp Glacier et autour du camp Egg). Ses prélèvements seront analysés à l'Université de Montpellier, spécialisée dans ce type de traçage et disposant d'une

base de données d'ADN environnemental parmi les plus importantes au monde.

Le **29 janvier**, le Paz Austral quitte Guarello en direction de l'estero Calvo où depuis une semaine déjà une partie de l'équipe Centre Terre a installé un camp d'exploration des langues glaciaires HPS 31 et HPS35 qui se jettent dans la mer et qui sont issues de la calotte glaciaire Hielo Patagonico Sur. Vers 15h00, après 8h00 de navigation, le Paz Austral est ancré contre le No te Rindas et le Don Tito dans une petite crique abritée, à quelques minutes en zodiac du camp Glacier. Nous retrouverons nos amis le lendemain.

PIZZA DEL JEFE !




Ingrédients :

- 500 g de farine
- 30 g de levure boulangère
- 0,5 L d'eau
- 1 cuillère à café rase de sel fin
- 200 g de sauce tomate
- 200 g de gruyère râpé
- jambon, olives, maïs, origan

Préparation :

1. Mettre la farine et la levure dans un saladier. Faire fondre le sel dans l'eau et verser dans le saladier.
2. Pétrir la pâte et laisser reposer en boule 30 mn.
3. Et hop ! Comme le chef, faire voler la pâte et l'étaler sur une plaque de four.
4. Ajouter les ingrédients de votre choix (sauce tomate, gruyère, jambon, olives, maïs...)
5. Cuire au four 25 mn.



Exploration en territoire Kawésqar



Natalia MORATA-CALVO

Au-delà de ses paysages somptueux et accidentés, la plus grande richesse du Chili est son patrimoine culturel, à la fois immense et fragile. Onze ethnies reconnues par l'état chilien peuplent encore aujourd'hui la géographie diversifiée du pays: Aymara, Atacameño, Colla, Quechua, Rapa Nui, Mapuche, Yagán, Kawésqar, Diaguaita, Chango et Selk'nam.

La répartition des peuples d'origine est restée plus ou moins intacte bien avant l'arrivée des Européens. Dans le cas des Kawésqars, par exemple, on estime que leur occupation de la zone du canal sud remonte à plus de 6000 ans. Le territoire que les différents groupes familiaux de ce peuple nomade ont habité s'étend de ce que

nous connaissons aujourd'hui comme le golfe de Penas jusqu'au détroit de Magellan et comprend plusieurs aires protégées qui, bien qu'ayant des catégories et des formes d'administration différentes, ont un dénominateur commun: il s'agit du territoire kawésqar.

Puerto Edén, seul point habité des canaux occidentaux de la Patagonie, pourrait être considéré comme la capitale de ce vaste paysage d'eau, de forêts, de glace et de roche, puisque c'est ici que l'état du Chili a entamé, à partir des années 1940 environ, un processus de sédentarisation du peuple kawésqar.

Les expéditions de Centre Terre en Patagonie chilienne se sont donc déroulées en territoire

kawésqar. En témoignent les innombrables traces d'occupation que nous avons découvertes, au cours de décennies d'exploration spéléologique, tant sur l'île de Diego de Almagro que dans l'archipel de Madre de Dios. Partager ces découvertes avec les membres de la communauté kawésqar vivant à Puerto Edén, et plus particulièrement avec leurs aînés et leurs enfants, est l'une de nos plus grandes satisfactions.

À la géographie indigène se superpose une autre distribution beaucoup plus complexe de cette partie du monde, celle des zones sauvages protégées de l'état, résultat de la gestion administrative d'un territoire peu connu, peu compris et parfois ignoré. Ainsi, nos expéditions en territoire kawésqar se sont déroulées dans ce qui est actuellement l'aire protégée nationale de l'archipel Madre de Dios (administrée par le ministère des biens nationaux), le parc national Kawésqar et le parc national Bernardo O'Higgins (administré par la CONAF, la corporation forestière nationale).

L'accès à des fins scientifiques à ces zones protégées par l'état est soumis à une demande d'autorisation et à la remise des résultats du travail de terrain. Le travail de terrain du Centre Terre



< Puerto Edén, territoire des kawésqars. Photo © Serge Caillaud, Centre Terre.

a contribué non seulement à enrichir considérablement les connaissances du ministère des biens nationaux et de la CONAF sur le patrimoine naturel et culturel qu'ils administrent, mais aussi à promouvoir des actions de protection concrètes telles que la création de l'aire protégée nationale de l'archipel Madre de Dios en 2007. Au fil des années et des expéditions successives, les relations du Centre Terre avec le ministère des biens nationaux, la CONAF - Magallanes, la communauté kawésqar de Puerto Edén et les habitants du village se sont considérablement resserrés et, bien qu'il s'agisse d'une organisation étrangère, Centre Terre

est considéré comme un acteur clé du territoire pour sa contribution à la connaissance objective de sa géographie et de sa biodiversité, ainsi que de sa culture millénaire. C'est précisément cette implication désintéressée qui a permis à Centre Terre de gagner la confiance de ceux qui habitent, administrent et gèrent cet incroyable territoire. Dans une certaine mesure, Centre Terre fait partie de ce territoire kawésqar, ce dont nous sommes très fiers.

Cette année, le Service de la biodiversité et des aires protégées a été créé au Chili sous l'égide du ministère de

l'environnement. Ce service, qui regroupera et réorganisera toutes les zones sauvages protégées du pays dans le but de préserver efficacement la biodiversité, risque de devenir une énième superposition à la géographie indigène si l'état ignore une fois de plus la portée profonde de l'héritage culturel de ceux qui habitent le territoire.

Pour Centre Terre, la nouvelle institution impliquera peut-être un changement d'interlocuteur au niveau administratif, mais pas en profondeur. Pour nous, revenir sous ces latitudes signifiera toujours revenir sur le territoire kawésqar.



< Le Yepayek ("cypres" en langue kawésqar) est le navire de la CONAF chargé de surveiller les quelque 64 000 km² d'aires sauvages protégées qui composent le parc national Bernardo O'Higgins et le parc national kawésqar. Photo © Natalia Morata-Calvo, Centre Terre.

Liens d'intérêt :

- <https://comunidad-kawesqar-puertoeden.blogspot.com/>
- <https://www.conadi.gob.cl/mision-institucional>
- <https://patrimonio.bienes.cl/patrimonio/archipiologo-madre-de-dios/>
- <https://www.conaf.cl/conaf-en-regiones/magallanes/>
- <https://mma.gob.cl/biodiversidad/servicio-de-biodiversidad-y-areas-protectadas/>

L'équipe cinéma

Bruno PEYRONNET

- Il pleut 30 fois par jour. Pendant les traversées en mer, ça secoue sévère. Quant au vent, c'est rafales à plus de 100 km/h garanties. Ne prends que des vêtements en synthétique, ça sèche moyen là-bas le coton...
- et pour le matos de tournage, c'est quoi le plan ?
- Ben... on ne va pas se mentir, il va recevoir ! »



◀ L'équipe d'artistes à Puerto Edén : Caroline Boghossian, Jérôme Krumenacker, Bruno Peyronnet, Christian Chauvin et Gilles Santantonio.

Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

Voici résumé le topo de Gilles Santantonio, le réalisateur du film de l'expédition, lorsque je l'ai appelé pour préparer le tournage d'Ultima Patagonia II. De retour de cette expérience pas banale, je peux confirmer que le tableau était tout à fait conforme à la réalité.

(Très) mouillé, (très très) venteux, confort franchement limité, et matériel de tournage en danger de mort permanent, on croirait une annonce à la Shackelton! Mais surtout la promesse d'un chouette challenge... Car l'aventure Ultima Patagonia, dans les pas des fous furieux de Centre Terre, c'est d'abord une expérience bien dense, où l'adaptation s'impose comme le maître-mot. Dans l'équipe audiovisuelle, on trouve une joyeuse bande qui va, pour la plupart, travailler ensemble pour la première fois. Certains connaissent déjà le terrain pour avoir participé à certaines des expéditions précédentes dans l'archipel de

Madre de Dios. Pour d'autres, ce terrain unique au monde sera une totale découverte. « L'équipe cinéma » donc (c'est le sympathique sobriquet qui nous a été affublé par Centre Terre, ça fait tout de suite très sérieux) est composée de :
- Trois chefs-opérateurs (trice), on dit « chef-op » dans le métier, parce que ça en jette, mais « cadreur.se » ou « camera (wo) man », ça marche aussi très bien. Caroline est la spécialiste des images sous-marines. Plongeuse hors pair, elle maîtrise avec un brio et un flegme impressionnants son caisson étanche, qui lui demande presque une heure de minutieuse préparation avant chaque plongée. Tout aussi à l'aise d'ailleurs sur la terre ferme, sous la pluie battante. Jérôme, quant à lui, mérite définitivement la palme de l'adaptation, puisqu'il s'est retrouvé sur l'aventure au pied levé, remplaçant le chef-op engagé au départ, qui s'est blessé tout juste quelques jours avant le

décollage. Se retrouver catapulté en terre patagonne sans aucune préparation, c'est une sacrée gageure, que ce grand pro de l'image va relever haut la main... Je complète la troupe des faiseurs d'images, fort, je l'espère, d'une certaine habitude des tournages en territoires sauvages.

Pour le son (car oui, dans « audiovisuel », il y a bien « audio », ô combien fondamental et complexe!), on peut compter sur l'expérience sans faille du plus expérimenté de tous, Christian. Ses Rendez-vous en Terre inconnue, ou ses crapahuts avec Nicolas Hulot, il ne les compte plus, entre de nombreuses autres vadrouilles autour du monde. Un « ingé son » véritablement tout-terrain.

Et bien sûr, pour diriger tout ce beau monde, il faut un chef. Gilles Santantonio réalise le film, en vieux briscard du film d'aventures (il me pardonnera je l'espère ce qualificatif, qui veut mettre en valeur l'expérience bien sûr, et non l'âge...). Le cerveau du gang, c'est lui. Il a écrit le film, pensé toutes les séquences qui vont composer l'œuvre, anticipé les images qui lui seront nécessaires, leur style, leur contenu. La réalisation exige une concentration permanente sur le déroulement des opérations. Et, sur une expédition comme celle-ci, le brainstorm met le « réal » à rude épreuve. Car bien sûr, la météo et les aléas de l'exploration ne cessent de rebattre les cartes du planning. Chaque jour, ce qui est prévu est remis en question. Il faut donc avoir l'œil sur ces changements de programme, repenser les journées, espérer que les séquences interdites aujourd'hui le seront peut-être demain... Le stress est constant, et cette gestion de l'imprévu

oblige Gilles à rester constamment sur le pont, en mer ou pas.

Le pari de l'aventure pour l'équipe ciné, c'est donc de ramener dans ses « flight cases » toutes les images capables de raconter l'expédition, avec ce qu'il faut de belles explications scientifiques, et, autant que possible, au plus près des explorations des Centre Terriens. Pour ce faire, le plus complexe, c'est de trouver un juste équilibre. Et je ne parle pas (seulement) du pied marin lorsque l'on est en mer, ou du pied montagnard lorsque l'on gambade sur les fantastiques lapiaz de Madre de Dios. Avant tout, il nous faut trouver notre juste place au sein de l'expédition. Nous ne sommes pas des membres de l'équipe des explorateurs, mais nous vivons le voyage en pleine connexion avec tous. Nous devons être prêts à capturer tout ce qui fera le sel du récit filmique, mais aussi nous intégrer au groupe, et mettre autant que possible la main à la patte pour les tâches, ardues, qu'impose l'exploration. Autant dire donc que le portage de quelques caisses et quelques planches fut au programme. Mais la greffe de notre petit groupe, clef de la réussite dans ces conditions extrêmes, a rapidement pris, et sans difficulté: l'équipe des explorateurs Centre Terre est sacrément accueillante.

Des incidents de tournage, en deux mois soumis aux rugissements de la météo patagonne, nous en eûmes forcément notre lot, mention spéciale, à ce titre, aux caprices électroniques de quelques drones, manifestation fâchés avec les climats humides. Mais bon an mal an, le matériel a tenu. Et la force incroyable de cette région hors norme, sa fascinante puissance sauvage a fait le reste. Finalement, les disques durs rentrent en France remplis à bloc, avec plusieurs dizaines d'heures de rushes. Pour Gilles et son monteur, une autre aventure commence, en mode plongée dans un océan d'images. Un vrai tour de force, mais ils en sont coutumiers. Résultat en cours de gestation à l'heure où j'écris ces lignes... Sortie du film attendue avec fébrilité pour l'hiver!



◀ Bruno Peyronnet
Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.



◀ Jérôme Krumenacker
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



◀ Christian Chauvin et Jérôme Krumenacker
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



▷ Caroline est la spécialiste des images sous-marines. Cela nécessite une préparation minutieuse du matériel avant et après chaque plongée.

Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.

4 - Exploration sur le glacier Campo de *Hielo Patagonico Sur*



À partir du **24 janvier**, une équipe part explorer les grottes de glace situées sur le glacier Campo de Hielo Patagonico Sur, située sur le continent. Sous la direction de Natalia, l'équipe comprend Denis, Katia, Carlos, Clément, Sylvain, Laurence, Arnaud, Tanguy, Michel, Serge et Jérôme.

Le **24 janvier**, le Don Tito et le No te Rindas lèvent l'ancre à 7h00 en direction de l'estero Calvo, au pied des langues glaciaires. La masse de glace recouvre les sommets chiliens (et argentins) au sud du continent sud-américain. Le glacier est la troisième plus grande calotte glaciaire au monde, après l'Antarctique et la calotte arctique.

Le trajet dure 14 heures depuis

sable qui le protège de toute approche. Lors de leur voyage de reconnaissance en 2020, Bernard, Denis, Florian C. et Natalia ont choisi **les glaciers HPS 35 et HPS 31** (Hielo Patagonico Sur) comme lieu des futures explorations d'UP2023. Ces dénominations sont issues d'une codification réalisée par Luis Lliboutry et qui figure dans l'inventaire des glaciers. C'est la dénomination officielle utilisée par la Direction Générale des Eaux du Ministère des Travaux Publics du Chili (Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile).

Le futur camp se situera à environ un mille nautique de la petite crique où l'équipe glacier passe sa première nuit et où les bateaux sont bien à l'abri de la houle.

niveau marin. Il faut se frayer un chemin dans les arbustes et aménager un passage abrupt entre des rochers. Une contrainte supplémentaire s'ajoute aux contraintes naturelles: la zone est située dans le parc naturel national Bernardo O'Higgins et aucun arbre ou arbuste ne devra être coupé. D'autre part, toutes les installations devront être démontées à l'issue des explorations. Ainsi, la plateforme pour les tentes et les toilettes sera démontée, et le bois chargé dans les bateaux. Rien ne restera sur place.

Pendant qu'un groupe est occupé à décharger le premier bateau, une autre équipe commence à installer la plateforme en bois où seront installées les deux tentes russes et toutes les installations communes (eau chaude, cuisinière à bois, éclairage, etc.). L'équipe met également en fonctionnement un prototype de turbine pour sa production d'électricité. Il a été conçu et développé par la société française Shem Engie, pour laquelle Clément travaille. Cette turbine installée dans le cours d'eau permet d'obtenir 800 watts d'énergie hydroélectrique, soit une économie quotidienne considérable de carburant. Pour le couchage, les spéléologues disposeront de tentes individuelles disséminées çà et là autour du camp.

Au soir du **26 janvier**, le camp de base Glacio est enfin opérationnel, l'équipe d'installation a terminé son labeur. Et ce soir, le camp est inauguré par un « pisco sour » préparé par Serge. Les équipes d'exploration du lendemain sont maintenant définies et certains profitent du plaisir de leur première douche depuis leur départ de Puerto Edén...

Le **27 janvier**, Denis et Sylvain restent au camp pour réparer deux des moteurs des zodiacs qui ont été peu fiables jusqu'à maintenant. Natalia et Sébastien restent également afin de mettre en place la communication nécessaire à la sécurité des équipes qui partent sur les glaciers. En effet, à cause de la distance entre le glacier et le camp de base, les radios ne fonctionnent pas. Il faut donc maintenir la communication

la cabane du camp Egg à Madre de Dios. Le lieu choisi pour installer le camp Glacio avait été repéré par l'équipe de reconnaissance en 2020. Il s'agit d'un petit bras de mer de l'estero Peel, avant de rejoindre l'estero Calvo. Cet endroit est à l'abri des icebergs qui se détachent du vêlement continu des langues glaciaires nombreuses dans la périphérie. Le nom de cet estuaire provient de l'énorme glacier situé à l'extrémité orientale de ce fjord. Un glacier aussi magnifique que géant, qui n'est toutefois pas la cible de nos explorations en raison de sa banquise infranchis-

Le **25 janvier**, le déchargement des bateaux débute à l'aube. En effet, aujourd'hui, le débarquement n'est possible qu'au petit matin, avant que la marée ne commence à baisser et que la houle ne forçisse, au point de faire cogner la coque des bateaux en bois contre les rochers côtiers. La marée est en ce lieu, un nouvel élément déterminant pour la gestion des activités de chaque journée. Le déchargement d'environ 25 m³ (plusieurs tonnes de matériel) prendra deux jours, d'autant plus qu'il faut monter tout le matériel sur une zone plate à environ 30 mètres au-dessus du



<1 Prospection sur le glacier HPS35.
Photo © Arnaud Malard, Centre Terre.



<1 Prospection sur le glacier HPS35.
Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.

sécuritaire avec les téléphones satellites et l'une des trois antennes Starlink déployées sur UP-2023. La journée au camp sera donc employée à tester et mettre en place ces appareils. Il faut aussi réparer le chauffe-eau qui perd de l'eau.

Deux équipes de reconnaissance partent vers le glacier. Elles opèrent un mouvement en tenaille pour attaquer HPS35 et prendre pied sur la glace. Une troisième équipe, avec Serge, Jérôme, Michel et Carlos, passe la nuit à bord du No te Rindas, au pied du glacier, pour garder le contact avec les équipes sur le terrain, mais aussi s'assurer du comportement des nombreux

icebergs flottant dans le chenal. L'équipe constituée de Lionel, Clément et Katia monteront côté nord (rive droite), tandis qu'Arnaud, Laurence et Tanguy tenteront un accès par le Sud, pour atteindre la cote de 450/500 m d'altitude, où ont été repérées quelques bédrières à suivre vers des moulins à explorer.

L'équipe d'Arnaud a réussi à forcer l'accès vers la cote 450 m. Le cheminement traverse une forêt épaisse, assez raide, où la progression est lente et physique, mais c'est très clairement la zone la moins exposée pour atteindre le plateau glaciaire. Ils ont atteint le

sommet du glacier vers 16h00 et ont pu faire une reconnaissance préliminaire et localiser plusieurs pertes.

L'équipe de Lionel s'est engagée sur un terrain plus raide et plus engagé où des équipements de progression auraient été les bienvenus. Après une heure d'escalade, ils prennent pied sur une margelle au contact du glacier, mais ils ne sont pas au bout de leur peine. Il leur faut maintenant franchir une zone de crevasse sur une centaine de mètres. Cela prendra une heure. Lionel, en tête, peut enfin lire de francs sourires sur le visage de ses compagnons de cordée. L'endroit est grandiose. L'étape

▽ L'intérieur de la base vie du camp Glacio.
Photo ©Katia Medvedieva, Centre Terre.





▷ Exploration d'un moulin de glace.
Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.

suivante consiste à rejoindre la rive gauche du glacier pour y installer le camp pour la nuit. La tente est idéalement placée sur une petite butte avec vue imprenable sur le géant de glace. En visitant un peu le quartier, nos explorateurs ne tardent pas à tomber sur la tente de l'autre équipe qui était

montée en rive gauche, par un passage beaucoup plus facile. C'est cet accès qui sera choisi pour les futures explorations.

Le **28 janvier**, les deux équipes se rejoignent pour redescendre au bateau. La prospection sur le glacier a montré la présence de nombreux moulins dont



▷ Exploration d'un moulin de glace.
Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.

quelques-uns ont pu être explorés, mais aussi de petites pertes de contact sous-glaciaires le long des rochers ainsi que des bédrières qui ont été remontées sur plusieurs centaines de mètres. Il existe aussi une énorme cascade qui s'engouffre sous le glacier à son contact avec la roche. C'est un futur objectif à explorer. Après deux heures de descente, les spéléologues retrouvent le No te Rindas qui les attend, au milieu des icebergs.

Le **29 janvier**, Sylvain, Sébastien, Denis, Clément, Lionel, Michel et Natalia partent au camp avancé de la rive gauche. Ils sont équipés de combinaisons étanches afin de pouvoir explorer les moulins dans lesquels se déversent d'importantes quantités d'eau. Ces moulins descendent de plusieurs dizaines de mètres et, dans certains cas, il convient de traverser plusieurs cascades glaciaires pour pouvoir continuer l'exploration. Les paysages sous-glaciaires sont spectaculaires. Les incursions doivent être rapides en raison du débit, et également de l'état de la glace en surface qui ne garantit pas une tenue sûre et durable des broches à glace servant d'amarrage pour les cordes de progression. Le groupe restera sur le glacier jusqu'à la relève le **1^{er} février**, à enchaîner les prospections et explorations.

Le **29 janvier**, l'équipe kawésqar a quitté le port de la mine de Guarello à 7h00 le matin, pour rejoindre le camp Glacio. La mer est très agitée en quittant le port, ainsi que durant toute la traversée du canal Oeste et jusqu'à la rive orientale du Canal Concepción. Au début de l'après-midi, une baleine et son petit ont la bonne idée de couper la route du bateau. Tout l'équipage se précipite alors à la proue du bateau pour admirer le spectacle. À partir de 15h00, les premières langues glaciaires apparaissent en haut de la montagne, ainsi que les premiers icebergs à la surface de l'eau. Noël, le capitaine du Paz Austral a l'habitude de la navigation dans ces conditions, car, le reste de l'année, il emmène les touristes visiter les glaciers plus au nord, près de Tortel. Après 12h00 de navigation, le Paz Austral arrive enfin au mouillage



◁ Le camp avancé avec vue sur le glacier HPS35.
Photo © Michel Phillips, Centre Terre.

dans la crique près du camp Glacio. Il est 19h00.

Le **30 janvier**, Laurence, Katia, Arnaud emmènent Bruno pour une sortie de reconnaissance d'un nouvel accès au glacier HPS35. Il s'agira de passer par une zone a priori peu boisée, reconnue en photo aérienne, pour rejoindre un lac qu'il sera alors possible de traverser en bateau gonflable. Bruno est un sportif confirmé, mais il ne s'attendait pas à la rudesse de cette randonnée en compagnie des trois Centre-Terriens habitués à ce genre d'épreuve, dans une végétation finalement très dense à l'image de la forêt magellanique. L'accès au lac n'est pas possible et le groupe rebrousse chemin après plusieurs heures d'efforts, vaincu par la nature.

Un autre groupe réalise une reconnaissance sur le glacier HPS31. Bernard, Charlotte et Carlos grimpent sur le glacier par le front glaciaire et prospectent durant 4 heures à la recherche de moulins et de pertes de contact. Pendant ce temps, Marie, Richard, Didier, Raphaël et Serge découvrent plusieurs grottes sous-glaciaires à partir du front du glacier. La plus belle grotte est la **Cueva Lapis Lazuli** qui sera topographiée par Tanguy le lendemain. En rive droite, une énorme résurgence crache plusieurs m³ d'eau par seconde et charrie parfois d'énormes blocs de glace qui se détachent du front du glacier dans un vacarme assourdissant.

Le soir, les équipes se retrouvent sur un des bateaux pour déguster les coquilles Saint-



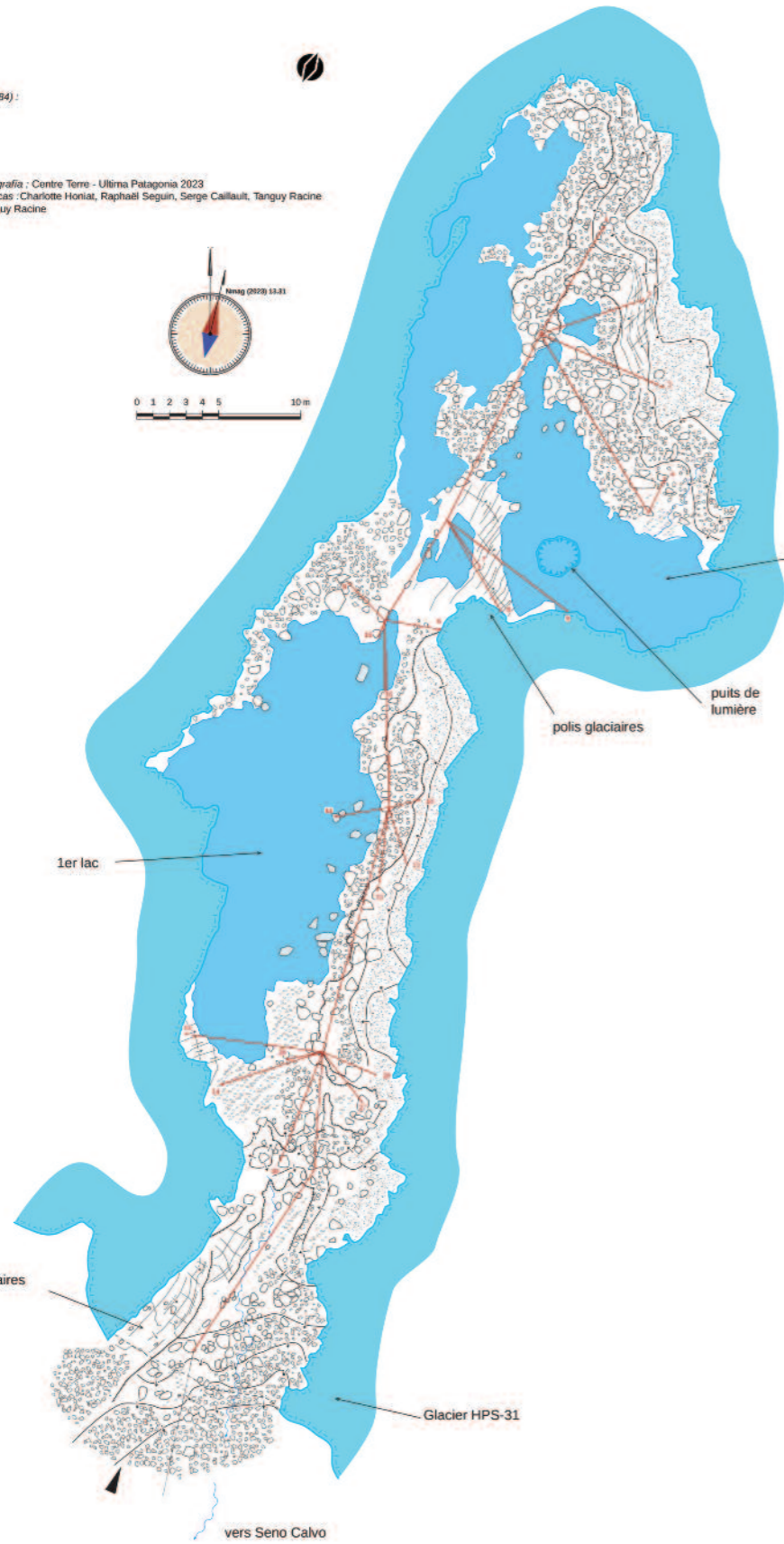
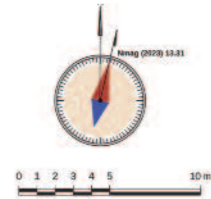
◁ Descente dans un moulin glaciaire.
Photo © Arnaud Malard, Centre Terre.
▷ La grotte Lapis lazuli
Photo © Serge Caillault, Centre Terre



Lapis Lazuli / 403008
Estero Calvo, Glacier HPS-31

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
X : 602192
Y : 4390803
Z : 27 m

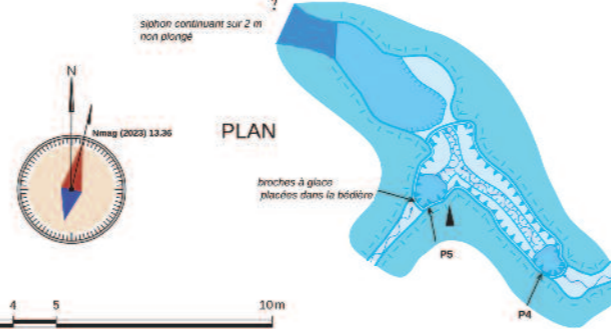
Développement / Desarrollo : 80 m
Dénivellation / Desnivel : 5 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Charlotte Honiat, Raphaël Seguin, Serge Caillaud, Tanguy Racine
Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine



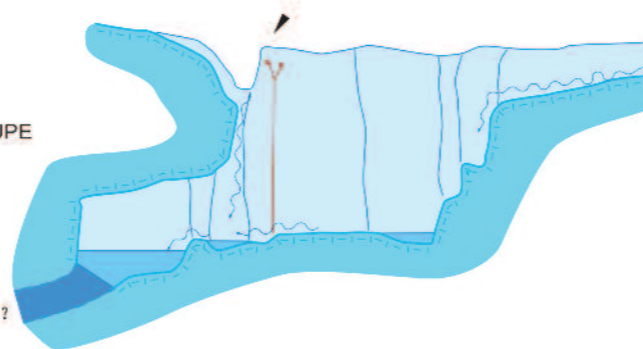
Moulin de la Science / 402007
Glacier HPS-35, Estero Calvo,
Parque Nacional Bernardo O'Higgins

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
X : 599747
Y : 4384126
Z : 494 m

Développement / Desarrollo : 14 m
Dénivellation / Desnivel : 5 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Tanguy Racine
Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine



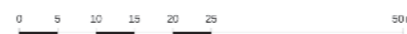
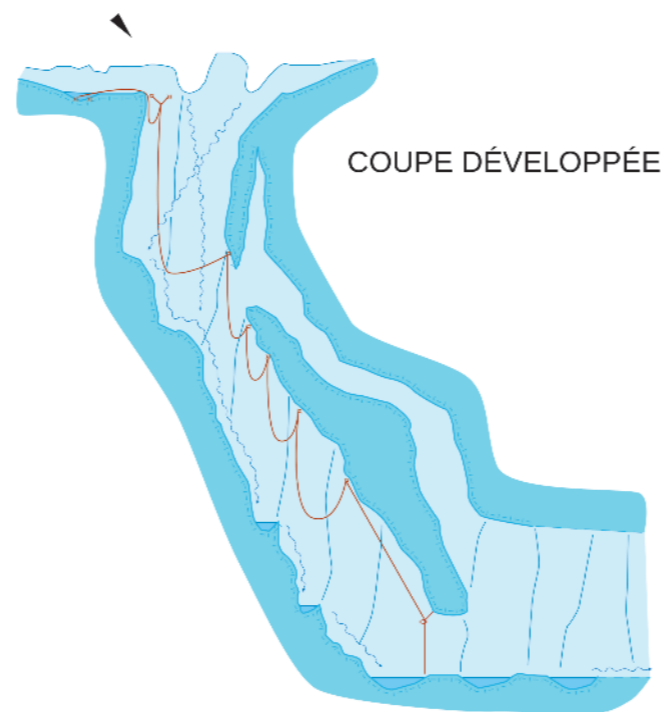
COUPE



Perte 7 du glacier HPS35 / 402005
Glacier HPS-35, Estero Calvo,
Parque Nacional Bernardo O'Higgins

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
X : 600144
Y : 4384403
Z : 460 m

Développement / Desarrollo : 115 m
Dénivellation / Desnivel : 75 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Bernard Tourte
Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine



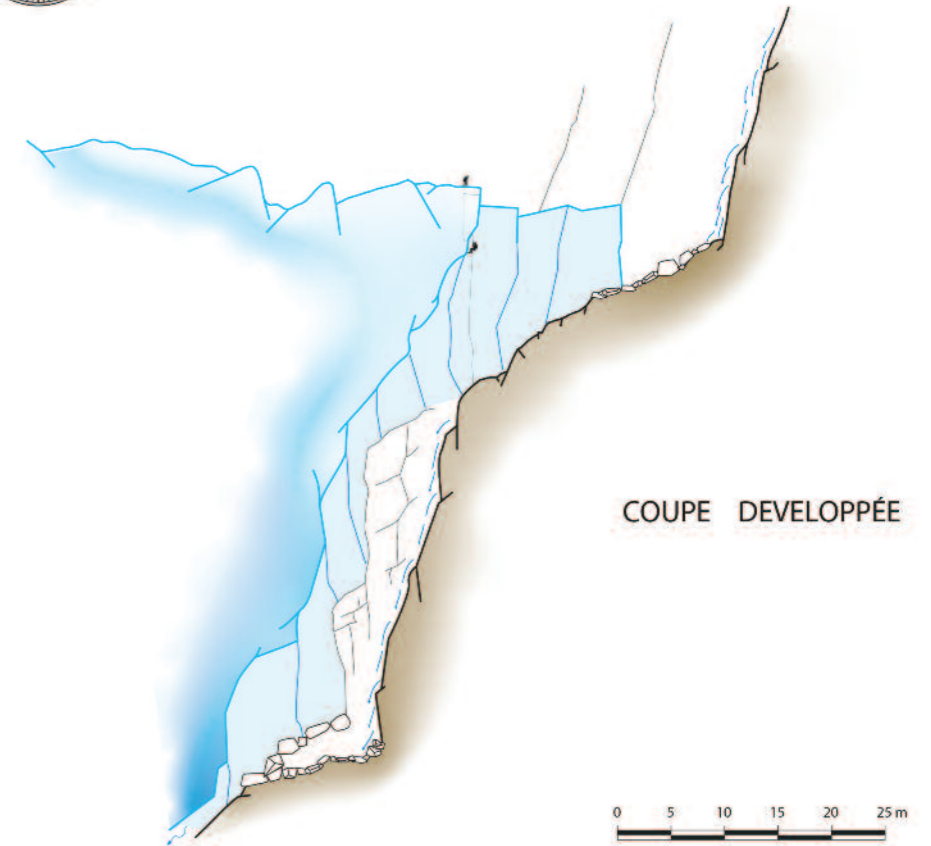
Perte de Rascar-capak / 402010
Glacier HPS-35, Estero Calvo,
Parque Nacional Bernardo O'Higgins

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
X : 600721
Y : 4383564
Z : 492 m

Développement / Desarrollo : 63 m
Dénivellation / Desnivel : 55 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Tanguy Racine, Charlotte Honiat
Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine, Arnaud Malard



PLAN



Légendes communes aux topographies en secteur glaciaire.
© Tanguy Racine, Centre Terre.
► Photo © Serge Caillaud, Centre terre





▷ La résurgence du front du glacier HPS35.
Photo © Didier Lamotte, Centre Terre.

Jacques pêchées par les marins dans la journée.

Le **31 janvier**, l'équipe retourne sur le glacier HPS31. Un premier groupe d'explorateurs (Bernard, Laurence, Katia, Carlos et Arnaud) continue les explorations commencées la veille. Ils vont pouvoir explorer 4 moulins jusqu'à une profondeur de -30 m environ, ainsi que plusieurs porches et pertes pénétrantes sous le glacier, au contact de la roche. Sur le front glaciaire, la deuxième équipe (Serge, Tanguy, Didier, Charlotte, Marie, Richard, Raphaël et l'équipe cinéma) a pu explorer et topographier la **Cueva Lapiz Lazuli**. Il s'agit d'une grotte sous-glaciaire présentant une centaine de mètres de développement. Elle tire son nom du plafond bleuté rappelant la couleur de la pierre précieuse qui contraste avec le noir de la roche sur laquelle le glacier s'écoule. L'immense résurgence, qui draine le sous-bassement du glacier HPS 31 dans un vacarme assourdissant, a un débit que Richard estime à plus de 30 m³ à la seconde. Malheureusement pour les explorateurs, l'eau jaillit sous pression entre glace et roche, et cette émergence majeure n'est pas pénétrable. En fin de journée, Charlotte et Tanguy emmènent Raphaël sur le glacier pour une balade initiatique.

Le soir, l'équipe du Paz Austral déguste un risotto de coquilles Saint-Jacques, cuisiné par Juan Ávila, le capitaine du Don Tito, accompagné d'un vin blanc local.



▷ Laurence à l'équipement d'un moulin de glace.
Photo © Charlotte Honiat, Centre Terre.

Le **1^{er} février**, le Paz Austral part chercher l'équipe de Natalia qui vient de redescendre du glacier HPS35. Une autre équipe prend leur relève. La nouvelle équipe est composée d'Arnaud, Laurence, Carlos, Tanguy, Katia, Charlotte, Laurent, Bernard et Bruno. Ce groupe a un double privilège, celui de bénéficier d'une journée ensoleillée pour accéder au glacier, et également celui de pouvoir se rendre directement sur des objectifs déjà repérés et identifiés par l'équipe précédente. C'est ainsi que deux objectifs majeurs sont explorés: le **Moulin 7**, ainsi que la perte de contact dénommée **Rascar-Capak**. Ces deux cavités

permettent d'atteindre la cote -75 m sur deux phénomènes différents en matière de formations. L'une est une perte de contact située entre roche et glace, l'autre est un véritable moulin glaciaire de surface de 7 à 8 m de diamètre, alimenté deux cascades. À son terminus, vers la cote -75 m, ce moulin présente un débit dantesque estimé à plus de 2 m³ seconde.

Le soir, sur le Paz Austral, les marins ont cuisiné 3 saumons, qui accompagnent avantageusement les coquilles Saint-Jacques récoltées dans la journée.

Le **2 février**, au petit matin, Didier et Marie conduisent Raphaël en direction du camp Glacio afin de réaliser deux prélèvements d'ADN environnemental. Lors des prélèvements, la faible vitesse du zodiac permet de slalomer facilement entre les glaçons qui flottent. Marie en profite pour observer le comportement des nombreux albatros qui vivent aux abords du glacier. Au retour au mouillage des bateaux, nous croisons Francisco qui part dans la petite barque en bois du No te Rindas avec Caroline. Ils se dirigent sur la plage où Francisco a repéré des joncs avec lesquels il souhaite montrer la technique de la vannerie traditionnelle kawésqar. Cependant, ce n'est pas tout à fait la bonne période pour récolter les joncs qui sont encore trop raides pour le tressage. Francisco allume donc un feu et fait chauffer les végétaux pour les assouplir. Il peut ensuite montrer à Caroline tout l'art de la fabrication des petits paniers traditionnels. Caroline a posé sa caméra et profite ainsi pleinement de ce moment de convivialité avec Tío Pancho.

En fin d'après-midi, toute l'équipe présente au camp Glacio commence son démon-



◁ Préparation du repas du soir.
Photo © Denis Morales, Centre Terre.

tage. Il faut tout descendre sur les deux bateaux qui sont ancrés contre les rochers en bas du camp. Et au repas du soir, sur le Paz Austral, les coquilles Saint-Jacques seront servies avec l'apéritif.

Le **3 février**, le démontage du camp continue. Les deux tentes russes ont été vidées et démontées puis pliées. Elles sont maintenant dans les cales archi pleines des bateaux. Le platelage de bois où elles étaient installées a également été démonté et toutes les planches se trouvent maintenant sur les rochers du rivage. Elles seront chargées sur les ponts des bateaux. Il ne reste plus qu'à démonter les tentes

individuelles qui servaient au couchage. En milieu d'après-midi, tout est chargé. Le Paz Austral peut aller chercher l'équipe de Bernard qui était sur le glacier. Bernard vient d'annoncer avec le téléphone satellite qu'ils commençaient la descente vers le point de rendez-vous, au fond du fjord. Le départ de l'estero Calvo aura lieu le lendemain matin avec un jour d'avance. En effet, en raison des conditions météorologiques défavorables qui s'installent sur la zone, il a été décidé que les trois bateaux prendront la mer pour Madre de Dios le **4 février** au matin. La tempête annoncée pour les prochains jours pourrait être importante, et durable. Côté timing, l'équipe n'a pas de grande marge de manœuvre. Le

▷ Motivation absolue pour Tanguy dans la grotte Lapis lazuli !
Photo © Serge Gaillault, Centre Terre





◀ À proximité des glaciers, la navigation requiert beaucoup de prudence.

▷ Belle galerie d'entrée de la grotte Lapis lazuli !

▷ Reconnaissance vers le front du glacier
Photos © Serge Caillaud, Centre Terre.

Paz Austral doit être de retour à Puerto Edén le **6 février** au plus tard. L'équipe Centre Terre doit honorer son rendez-vous avec les écoles françaises lors de la visioconférence également prévue le 6 février. C'est une nouvelle fois, une navigation complexe qui s'annonce, sans grande marge pour des contre-temps... mais avec bien des surprises...

Le soir, l'équipe Centre Terre a organisé un apéritif dînatoire. Tous se retrouvent sur le pont du No te Rindas pour ce moment de partage et pour remercier chaleureusement Maria-Isabel et Francisco pour leur grand dévouement durant ces 15 jours passés avec nous. Dès notre arrivée à Madre de Dios, ils rentreront à Puerto Edén.

Au menu de ce soir: toasts au pâté végétal et salami, tapas de légumes-mayonnaise, l' incontournable pisco sour del profesor Richard, noix de coquilles Saint-Jacques...

Le **4 février**, comme les prévisions l'annonçaient, la situation météorologique se dégrade rapidement sur la zone dès 6 heures. L'heure du départ a sonné pour le Paz Austral et le No te Rindas, qui sont les deux premiers bateaux à lever l'ancre en direction de Madre de Dios. Durant les premières heures de navigation, les capitaines zigzaguent entre les glaçons flottants

provenant du glacier. La navigation est encore paisible... C'est dans l'après-midi que tout se complique! La houle forçit et les vagues submergent presque la proue des bateaux. Les creux atteignent 2 à 3 mètres. Les « marins d'eau douce » que nous sommes prennent soit des médicaments pour résister au mal de mer qui les ronge, soit s'allongent en fond de cale en essayant de dormir. D'autres prennent l'option de fixer l'horizon solidement calés dans le bateau. Le vent et la pluie font rage. Le matériel sur les ponts est solidement arrimé, une sage précaution prise par les capitaines. Cela n'empêche toutefois pas des contrôles réguliers. Tout à coup un hurlement retentit à l'arrière du Paz Austral: STOP! STOP! Le zodiac attaché à la traîne s'est retourné d'un seul coup, levé par le vent comme une feuille de papier malgré ses 300 kg. Le moteur s'est décroché du zodiac et baigne maintenant dans l'eau suspendu à l'amarre qui le maintient accroché au bateau. Les pagaies sont sans aucun doute définitivement perdues. Le sauvetage de ce moteur s'avère être, dans ces conditions de navigation, une opération particulièrement complexe. En effet, la force du vent et de la houle ne permettent pas au capitaine de ralentir son bateau sans l'exposer au risque de chavirer. Aussitôt, une stratégie de retournement est mise en œuvre. Dans un premier temps,

le zodiac en perdition est mené, à l'aide d'une traîne, sur le côté du Paz Austral le plus exposé au vent. Puis dans un second temps, le zodiac est soulevé par le côté afin que le vent surpuissant provoque son retournement. Une opération à peine croyable qui finit par fonctionner après une demi-heure d'efforts de quatre personnes... Le moteur est ensuite remonté à bord. Le zodiac et son moteur sont sauvés!

Sur le No te Rindas, c'est la barque en bois tenue à la traîne qui s'est détachée. Le capitaine réactif a heureusement pu faire demi-tour en pleine tempête pour la récupérer, à demi noyée, et la raccrocher au bateau. Mais dans la manœuvre exposée, la barque est passée sous le bateau de pêche, ce qui aurait pu le faire chavirer ou abîmer son hélice et broyer la barque. Pendant ce temps, sur le Don Tito (l'embarcation la plus lente du trio) les visages sont blêmes. Sous les coups de boutoir de la houle, toute une partie du revêtement plastique de protection de la proue du bateau s'est détachée et s'est envolée sous les yeux effarés des passagers...

Le **6 février** au matin, le Paz Austral et le No te Rindas rejoignent l'estero Egg. De son côté, le Don Tito n'arrivera que le soir du **7 février**... soit près de 4 jours après son départ de l'estero Calvo!



Un cadastre spéléologique pour les archipels calcaire de Patagonie Chilienne

Tanguy RACINE

▷▷ Figure 1 : La base de données SIG du projet Ultima Patagonia à plusieurs échelles. A) et B) Localisation de la province Ultima Esperanza et des différents secteurs d'exploration. C) Résultats d'explorations dans le secteur 106 Estero Egg.

© Tanguy Racine, Centre Terre.

▷▷ Figure 2 : Découpage cadastral sur Madre de Dios et synthèse des topographies de tous les projets Centre Terre sur l'île.

© Tanguy Racine, Centre Terre.

Découpage

Depuis les premières explorations menées par Centre Terre sur les archipels calcaires de Madre de Dios et Diego de Almagro de la province Última Esperanza, Région de Magallanes, plus de 400 entrées de cavités ont été localisées, d'abord sur l'île de Diego de Almagro, puis sur celle de Madre de Dios, et enfin depuis 2019, sur plusieurs glaciers de la calotte patagonienne sud (Campo de Hielo Patagonico Sur).

Pour faire un bilan des explorations, mettre à profit les données collectées et rationaliser leur organisation pour de futures explorations, les différentes zones d'explorations des archipels de Madre de Dios et de Diego de Almagro ont été découpées en unités de surface précisément définies dans le but de bâtir un cadastre parcellaire du rayon d'action Centre Terre. En tout, dix zones ont été définies pour la partie nord-ouest de l'île de Madre de Dios (du secteur 101 au secteur 110) et treize pour la partie sud (secteurs 201 à 213). S'ajoutent six zones pour l'île Diego de Almagro (301 à 306), et trois zones d'explorations sur les glaciers de la calotte patagonienne sud: une par site reconnu (401 pour le glacier Témpanos exploré en 2019, 402 pour le glacier HPS-31, et 403 pour le gla-

cier HPS-35). L'arborescence complète est listée dans le **tableau 1**.

Les différents secteurs ont été définis à la fois selon les grandes lignes topographiques de la zone en question et selon la logique d'exploration rayonnant autour de camps et bases de vie implantées par Centre Terre. Ainsi, on retrouve des zones centrées autour d'un camp de base comme ceux du seno Egg (106), ou du Barros Luco (107), ou d'autres délimitées par l'étendue d'un massif calcaire bien distinct, comme celui de la Grande Barrière (201).

Organisation des données topographiques

Chaque cavité s'est vu attribuer un numéro cadastral unique à six chiffres. Celui-ci reflète le découpage en secteurs d'explorations sus-nommés. Par exemple, la grotte Cueva Pirates, première cavité pointée (001) sur le secteur du Seno Egg (106), au nord de Madre de Dios, a pour numéro cadastral 106001, tandis que l'Aven des Arches Perdues, découvert courant janvier 2023 est enregistré au numéro 106022 (**figure 1**).

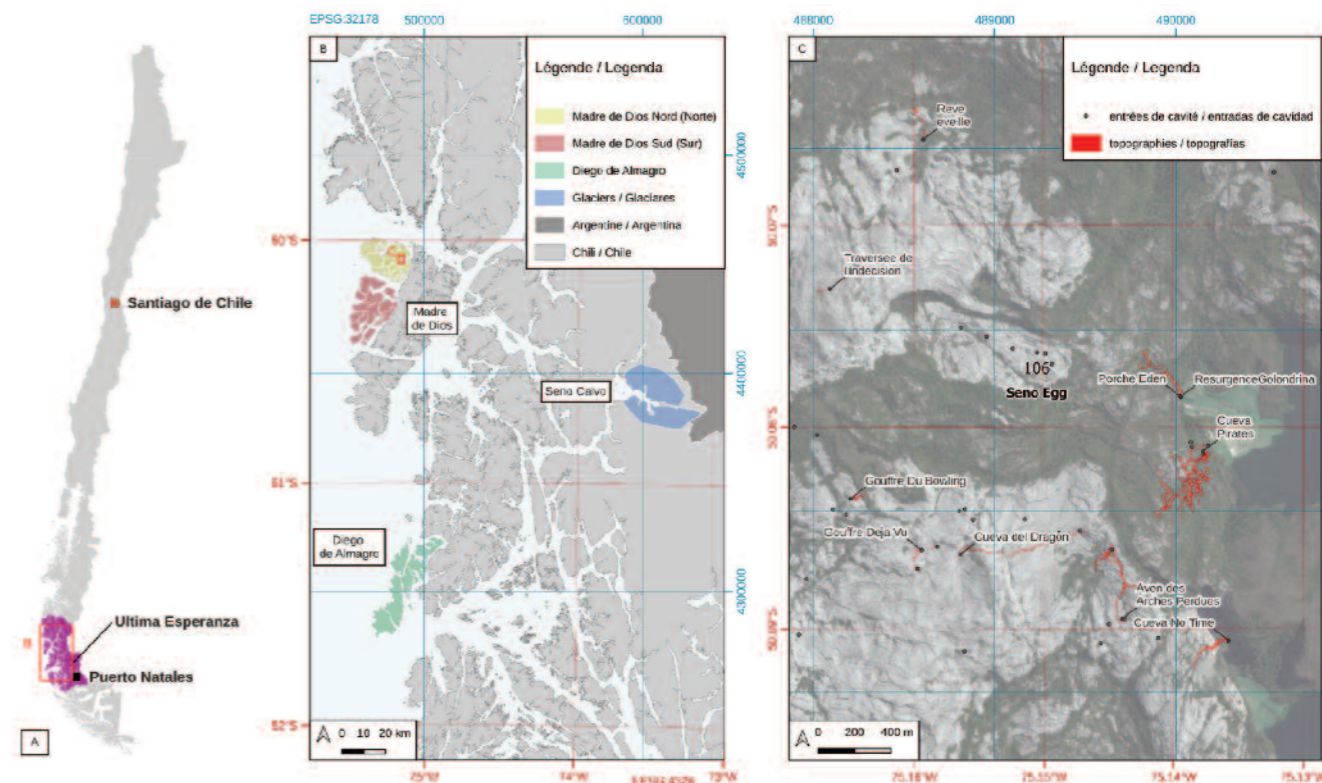
Outre le numéro cadastral, pour chaque pointage, les informations suivantes sont enregistrées: une description sommaire de l'entrée de la cavité, le nom de l'expédition durant laquelle

les premières explorations y ont été effectuées, les coordonnées géographiques, la dénivellation, le développement, les explorateurs initiaux et le nom du secteur.

A chaque entrée dans la base de données ont également été associées des données de topographie compilées en langage Therion. Le tout est organisé de manière hiérarchique reflétant le nouveau découpage cadastral. Dans chaque secteur d'exploration, on trouvera les informations attendant à chaque cavité individuelle, puis dans chaque dossier cavité, une arborescence qui correspond à chaque session de relevés topographiques.

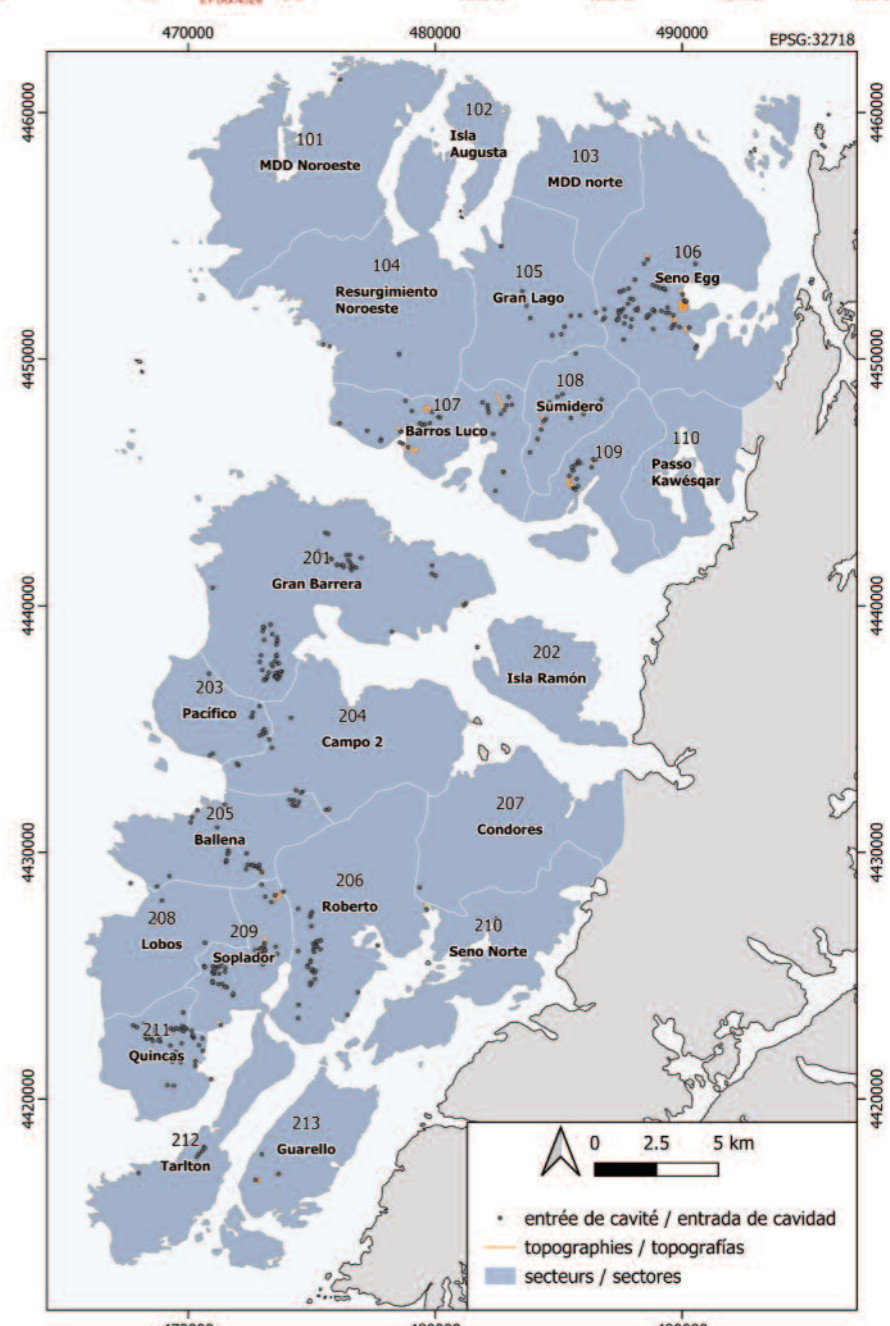
À chaque dossier, un fichier maître au format Therion permet de synthétiser les données topographiques du niveau correspondant. On peut tirer une modélisation 3D d'une simple session topographique, d'une grotte ou bien de tout un secteur. Dès le niveau "cavité", on bénéficie de fichiers géoréférencés, ce qui permet par exemple de décalquer les projections en plan des cheminements sur images satellites ou modèles numériques de terrain (figure 1), ou encore de générer un tableau de synthèse au terme des expéditions.

En outre, au plus haut niveau,



c'est-à-dire celui de tous les archipels calcaires de Patagonie, on peut produire et ensuite interroger une base de données au format SQL, renfermant à la fois les positions des points topographiques, des visées, ainsi que de toutes les métadonnées associées: date, explorateurs ou exploratrices, type de visée, erreur de bouclage distribuée, etc.

Sur la **figure 2**, on interroge cette base de données en sélectionnant tous les points topographiques qui ont été géoréférencés et marqués en tant qu'entrée de cavité sur Madre de Dios. On met également les bordures de chaque secteur d'exploration, et on ajoute une projection en plan des visées topographiques enregistrées dans la base de données. Une table mise à jour automatiquement renvoie le bilan des explorations à ce jour: tr1813.github.io/ultima-patagonia-topo/therion/data/table.html



1 - Madre de Dios (nord) 101 MDD Nord-Ouest / MDD Noroeste 102 Isla Augusta 103 MDD Nord / MDD Norte 104 Résurgence Nord Ouest / Resurgimiento Noroeste 105 Grand Lac / Gran Lago 106 Seno Egg 106001 Cueva Pirates ... 106022 Aven des Arches Perdues ... 107 Barros Luco 108 Sumidero 109 Trois Entrées / Tres Entradas 110 Passe Kawésqar / Passo Kawésqar	2 - Madre de Dios (sud) 201 Grande Barrière / Gran Barrera 202 Isla Ramón 203 Pacifique / Pacífico 204 Camp 2 205 Baleine / Ballena 206 Roberto 207 Condors / Condores 208 Lobos 209 Soplador 210 Seno Norte 211 Quincas 212 Tarlton 213 Guarello	3 - Ile Diego de Almagro 301 Isla Augustín 302 Cabo Tapías 303 Pelantaro 304 Avenir / Porvenir 305 DDA Centre / DDA Centro 306 DDA Sud-Ouest / DDA Suroeste
	4 - Glaciers 401 Glacier Témpanos 402 Seno Calvo Nord / Seno Calvo Norte 403 Seno Calvo Sud / Seno Calvo Sur	

▷ Tableau 1. Arborescence du cadastre

▷ Grotte Lapis Lazuli
Photo © Serge Caillaud



5 - Les lapiaz de l'estero Egg





Le mercredi 25 janvier, le réveil se fait sous la pluie pour les neuf Robinsons de l'estero Egg (Franck, Cédric, Christine, Jessica, les deux Alex, Florian C., Joël et Olivier). Elle ne les quittera pas de la journée et s'intensifiera dans l'après-midi. Une motivation supplémentaire pour avancer au plus vite la construction de la cabane et gagner ainsi en confort. Pour l'instant, les neuf utilisent seulement deux tentes dômes pour survivre. L'une pour dormir et l'autre sert de salle à manger! Cédric prend les commandes des travaux et très vite, chacun s'active. La structure de la cabane commence à s'élever. Ils finissent la journée rincés dans tous les sens du terme.



Le jeudi 26 janvier, la journée ressemble à la précédente. Il pleut sans discontinuer et le froid s'installe malgré la frénésie qui agite le groupe. Chacun guette toutes les avancées de la construction: un mur se dresse, puis un pignon... Ils en profitent aussi pour améliorer leur confort en branchant la cuisinière dans l'une des deux tentes dôme. Le chantier se termine tard. Le toit est couvert de tôles et une partie du bardage extérieur est achevée.

Le vendredi 27 janvier, il pleut

toujours au réveil, mais de manière moins intense. En fin de matinée, la cabane est quasiment hors d'eau, il reste juste quelques tôles à fixer. L'aménagement de l'intérieur peut commencer: fabrication de rayonnage, pose des fils à linge, aménagement du coin cuisine avec un évier métal: le robinet fait couler l'eau, l'évacuation évacue l'eau... Puis c'est l'installation du poêle à bois. Enfin, le soir, la cabane est officiellement inaugurée. Toute l'équipe est

fière du travail accompli. La « mission cabane » est achevée.

Le samedi 28 janvier, tandis qu'une partie du groupe reste au camp pour poursuivre les aménagements et ranger tout le matériel dernièrement utilisé, une équipe part en exploration. Il s'agit de Jessica, Alex H., Cédric et Olivier. Ils vont chercher un itinéraire pour avoir un accès direct au plateau karstique sans avoir la nécessité de naviguer. En suivant les granites et après

avoir traversé plusieurs bosquets de végétation dense, ils peuvent enfin parcourir les marbres lumineux caractéristiques de Madre de Dios. Les formes d'érosion sont magnifiques et les gouffres nombreux. L'un d'eux retient tout particulièrement leur attention. Il fera l'objet des premières explorations souterraines. Il s'agit du Gouffre des Arches perdues. Dans l'après-midi, Alex A., Christine et Joël les rejoignent tout en améliorant le tracé. Pendant ce temps, Florian C. et Franck peaufinent l'aménagement du camp, ce qui permet, entre autres, à chacun de prendre une douche chaude au retour des excursions. Un luxe bien apprécié!



Le dimanche 29 janvier, Cédric, Florian C. et Franck restent au camp pour mettre en service la flotte des Bombards. Deux bateaux sont opérationnels rapidement et testés lors d'une prospection le long des côtes. Ils visitent notamment les abords de la résurgence au sud du camp, qui se compose en fait de deux sorties d'eau. Si la plus importante jaillit d'un chaos de bloc et semble impénétrable, la plus petite est surmontée d'une entrée modeste qui pourra être explorée. De leur côté, Alex A., Christine et Joël prospectent sur le karst. Ils repèrent plusieurs cavités d'intérêt, dont une qu'ils commencent à parcourir avant de trouver un point topographique. La grotte a déjà été visitée par l'expédition menée par les spéléologues italiens au début des années 2000.



Durant cette journée de prospection, ils réaliseront un parcours de près de 13 kilomètres et de 1200 m de dénivelé. Ils rentrent à la cabane bien fatigués! Enfin, une équipe composée d'Olivier, Jessica et Alex H. inaugure les explorations souterraines au **Gouffre des Arches Perdues**. C'est Jessica qui prend le flambeau et commence l'équipement: main courante à l'entrée puis premier fractionnement au niveau d'un joli bac à fleurs (avec des fleurs, si, si...). Après une déviation, environ 20 mètres en dessous, de belles arches de roche apparaissent. Elles masquent plusieurs puits parallèles. La roche -le marbre- est blanc, coloré de vert à cause de la végétation et de la lumière



extérieure. Au niveau d'un bombé de la paroi, Jessica pose le deuxième fractionnement de corde qui permet de descendre une portion en plein vide d'environ 35 mètres. Une magni-

fique salle descendante succède au puits. La lumière du jour illumine encore l'endroit. Vers le bas de la salle, des écoulements actifs se perdent bruyamment dans les cailloux au sol. Une

- ▷▷▷ La construction va bon train.
 - ▷▷ Les premières tentes sont installées.
 - ▷ Le coin cuisine.
- Photos © Olivier Guérard, Centre Terre.

◁ Vue sur les lapiaz d'Estero Egg à découvrir.
Photo © Serge Gaillault, Centre Terre
▷ En attendant une vraie base vie, les repas sont pris dans une tente.
Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.



galerie fossile permet d'accéder à un second puits. Olivier prend le perforateur et poursuit l'équipement pendant qu'Alex H. et Jessica continuent la topographie. Mais pour cette fois, l'exploration s'arrêtera au milieu du puits, sur un ponton rocheux, Olivier n'a plus de corde pour aller plus loin. Il faudra revenir. C'est une belle réussite pour une première visite!

Le **lundi 30 janvier**, de bonne heure, Franck et Cédric s'élancent à l'assaut des marbres en planifiant une grande boucle. Il faut prendre toute la mesure de la zone à explorer et déterminer les points stratégiques pour installer des camps avancés. Ils partent légers en direction de l'ouest, avec comme objectif le Grand Lac que nous n'avons jamais atteint lors des précé-

dentes expéditions depuis le Barros Luco. Après 3 h 30 de marche, ils arrivent en vue de celui-ci, mais l'accès final est compliqué. Le terrain est très fracturé et parsemé de lames de marbre acérées et de bosquets impénétrables. Ils laissent donc cet objectif pour plus tard et se concentrent sur la recherche d'emplacements pour installer les camps avancés. En suivant



↙ Prospections dans le secteur des Arches Perdues.
Photo © Alexandre Andrieu, Centre Terre
△ L'entrée du gouffre des Arches Perdues.
Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.



un contact grès/calcaire, ils tombent sur une vaste zone de champignons de roche magnifiques. Leur périple s'achève après un crapahut de plus de 12 heures et 20 kilomètres parcourus. Pendant ce temps, le reste de l'équipe est au camp de base pour reprendre des forces. La tente où est stockée la nourriture prend l'eau et demande impérativement des aménagements. La cabane gagne encore en fonctionnalité avec la mise en place de coins dédiés aux ordinateurs, à la radio, etc.

Le **mardi 31 janvier**, sur le terrain, il y a deux équipes. Alex A., Joël et Christine sont partis explorer quelques cavités repérées précédemment. Olivier, Alex H. et Jessica retournent au Gouffre des Arches Perdues. Les premiers explorent d'abord le **Gouffre du Rhinocéros**. Il débute par un beau puits de 18 m prolongé d'une trémie, d'un ressaut de 9 m et d'un dernier puits de 3 m. Malheureusement une trémie bloque irrémédiablement la suite. Les cavités sont froides. La pluie et le vent en surface ne sont pas là pour améliorer les choses. Ils explorent malgré tout encore deux autres gouffres, qui eux aussi s'achèvent à des profondeurs de -30 m environ. De leur côté, Olivier, Alex H. et

Jessica améliorent le début de l'équipement du Gouffre des Arches Perdues. Alex continue l'équipement dans le second puits, à partir du pont rocheux où l'équipe s'était arrêtée il y a deux jours. Finalement, seule une déviation est nécessaire pour atteindre la base du puits. La configuration des lieux est similaire à ce qu'il y avait plus haut: une salle descendante se terminant par un méandre. Derrière le méandre, il y a un petit filon de roche orange. Un nouveau puits d'une dizaine de mètres précède un autre méandre entrecoupé d'un ressaut de 7 mètres. Le méandre continue sur une centaine de mètres. Les parois sont propres et montrent de petits bouquets d'aragonite. L'exploration s'arrête après un puits de 7 m suivi d'un autre, magnifique, mesurant 10 mètres. Vers 180 m de profondeur, l'eau qui ruisselait dans les méandres est devenue une véritable petite rivière jalonnée de vasques. Entre l'équipement et le lever de la topographie, les heures se sont écoulées. Le froid s'est installé depuis bien longtemps. Il leur reste encore une marche de 3 heures sous une pluie battante, de nuit, pour redescendre à la cabane.

Le **mercredi 1^{er} février**, en prévision de l'arrivée de l'équipe

qui est au camp Glacier, de nouvelles tentes dômes sont installées. Des toilettes fonctionnelles sont également construites. De son côté, Florian C. poursuit la mise en état des moteurs hors-bord. En effet, si l'accès aux karsts en partant directement à pied sec du camp de base a ses avantages, la prospection maritime nous offrira la possibilité d'ouvrir d'autres secteurs, en particulier de l'autre côté de la baie.

Il est temps également de mettre en place un camp avancé sur le plateau. Cédric, Joël, Alex H. et Franck organisent donc un portage de matériel. Les quatre sacs bien remplis sont laissés au niveau du col Ayayema qui se situe à la zone de contact entre les grès et les calcaires. Demain, une première équipe de spéléologues pourra s'installer sur les glaciers de marbre pour plusieurs jours!

Le **jeudi 2 février**, Joël et Olivier partent de la cabane à 10 h 30 afin de continuer l'exploration du Gouffre des Arches Perdues. Ils rentrent sous terre vers 13 h 15 et se dirigent rapidement vers le fond. Olivier reprend l'équipement du P10, là où il s'était arrêté l'avant-veille. Le haut du puits est équipé hors crue avec des mains courantes. Pendant ce temps, Joël continue

△ Découverte des champignons de roche sous la pluie.
Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.



▷ Le premier camp avancé « le camp des Champipis ».
Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.

les relevés topographiques. Cependant, après quelques points, il s'aperçoit que le disto affiche des mesures totalement incohérentes. Il décide donc d'arrêter son travail et d'accompagner Olivier dans l'exploration (plus tard Joël s'apercevra que son disto était configuré en pieds et non en mètres...). Après la descente du P10, les 2 spéléologues enchaînent un autre puits de 6 m et débouchent dans un beau canyon tout blanc. Au bout de quelques dizaines de mètres, un affluent plus actif arrive en rive droite. Quelques dizaines de mètres plus loin, le canyon débouche sur une rivière plus importante, avec un débit plus fort. L'ensemble du méandre est très ventilé, avec un fort courant d'air. Un passage plus étroit marque la fin de l'exploration, pour cette journée sportive. De retour à l'air libre à 21 h 45, Olivier et Joël auront passé 8 h 30 sous terre. Il est temps de rentrer à la cabane. Le retour s'effectue à la lumière des lampes frontales.

Une autre équipe composée de Jessica, Cédric, Franck et Alex H. est partie du camp de base en fin de matinée avec l'objectif d'établir le camp avancé sur les lapiaz. Ils font un détour vers une zone qui n'avait pas encore été prospectée. Ils localisent ainsi plusieurs pertes le long de leur trajet. Vers 16 h 00, ils trouvent enfin une petite plateforme, légèrement en surplomb, à l'abri des écoulements des

eaux de pluie, permettant l'installation de 2 ou 3 tentes. Le camp se situe à une quinzaine de minutes de marche du champ de champignons de roche. Il est baptisé « Camp des Champipis ».

Ce **vendredi 3 février**, au camp avancé, les spéléologues se réveillent sous une pluie battante. Ils ne sont pas très motivés pour mettre leur nez dehors ! Cependant, ils décident de former deux binômes avec les objectifs suivants : Jessica et Franck tenteront de rejoindre le Grand Lac par un nouvel itinéraire. Cédric et Alex H. prospecteront aux abords du camp.

Jessica et Franck sont les premiers à partir. Sous la pluie, ils distinguent à peine leur chemin, mais atteignent finalement le lac après plus de 2 heures de marche. Ils décident d'attaquer le tour du lac par le sud. En effet, ils ont repéré au loin le bouillon d'une résurgence qui leur paraît importante. Arrivés à proximité, ils constatent qu'elle pourrait être plongée, mais le débit est trop important pour l'instant. Ils poursuivent donc leur chemin. Ils constatent que tout le rivage sud et ouest est drainé par de nombreuses résurgences telles d'innombrables sources qui jaillissent des fissures du calcaire. En remontant vers le nord, la progression sur le lapiaz devient plus difficile. Le sol est

glissant car il pleut toujours. Jessica et Franck repèrent une autre résurgence sous le niveau du lac. Elle forme un gros champignon bouillonnant. Lorsqu'ils arrivent à l'extrémité nord du lac, ils sont intrigués par un fort courant qui agite la surface du lac. L'eau semble se diriger vers un point unique : la perte, enfin ! Toute l'eau part dans un siphon. Le mystère du grand lac est levé. Le retour au camp s'effectue en longeant la rive nord-est où quelques pertes sont encore localisées. Il aura fallu presque 9 heures à Jessica et Franck pour réaliser les 15 km du tour du lac, avec un dénivelé positif de 950 mètres.

Pendant ce temps, Cédric et Alex H. ont exploré plusieurs petites pertes non loin du camp avancé. Ils ont également découvert un gouffre qui paraît assez profond. Il s'agit d'un gros puits dont le diamètre à l'entrée avoisine les 10 mètres. En soirée, comme la météo s'est améliorée, ils retournent planter les deux premiers amarrages dans ce **Gouffre ++** en vue d'en réaliser la visite le lendemain.

Samedi 4 février, la journée d'exploration au camp des Champipis débute par la visite d'une petite cavité à proximité du campement. Les spéléologues enchaînent deux puits et quelques ressauts, mais sont rapidement arrêtés par un passage impénétrable. Ils réalisent un croquis d'explora-



tion en remontant à la surface. Dès leur sortie, Cédric, Alex H., Jessica, Franck filent vers le Gouffre ++ et commencent sa descente. Les trois premiers puits sont franchis sans difficulté : P30, P8 et P12. Le suivant est estimé à 10 m de profondeur, mais par manque de corde, ils ne peuvent pas continuer l'exploration. Comble de malchance, le matériel de topographie est resté dans la tente : il faudra revenir. La remontée des puits est bien arrosée car dehors il pleut et la cavité réagit instantanément à la crue. En fin de journée, après le rangement du camp, l'équipe redescend à la cabane sous une forte pluie accompagnée de violentes bourrasques.

Le **lundi 6 février**, une partie de l'équipe Glacier arrive avec le *Notte Rindas*, suivie de près par l'équipe *Kawésqar* sur le *Paz Austral*. Le troisième bateau, le *Don Tito*, n'est pas annoncé avant le lendemain car il a subi des avaries. Ce bateau n'est pas adapté pour affronter la houle qui vient du Pacifique. Il est obligé de faire du cabotage de crique en crique en profitant des rares moments d'accalmie pour progresser vers sa destination.

Après une rapide visite du camp, les nouveaux prennent leurs quartiers et installent leur couchage dans les tentes dômes où des places sont disponibles. Il faut se serrer un peu, car le camp n'est pas prévu pour tant de personnes.

Dans la matinée, toute l'équipe présente à la cabane est mobilisée pour un très grand moment de partage. Il faut tout mettre en place pour assurer une visioconférence en direct

leurs explorations. Jessica, Raphaël, Didier, Alex H., Charlotte, Marie, Cédric, Bruno, Lionel vont partir pour trois jours vers le camp des Champipis. L'autre équipe constituée de Franck, Joël, Katia et Tanguy partira en fin de matinée, à la journée, pour aller explorer une grotte qui se trouve sur l'autre rive de la baie : la Grotte des Pirates. Ils seront accompagnés de Caroline et Christian.

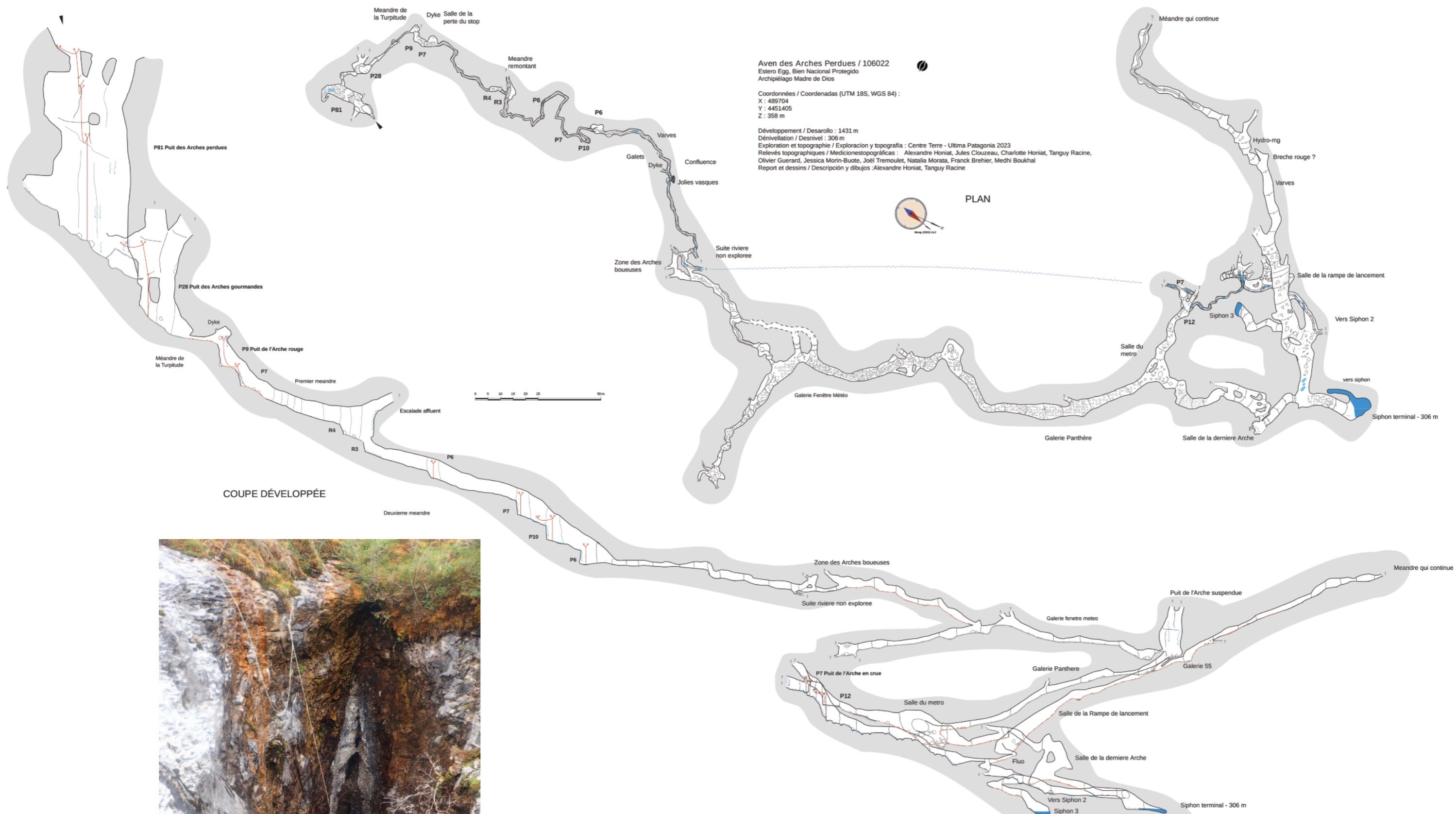
L'équipe du camp des Champipis part en milieu de matinée bien chargée. Il faut en effet monter deux tentes supplémentaires pour agrandir la capacité de couchage au camp, ainsi que 200 m de corde supplémentaires pour continuer les explorations, sans compter la nourriture pour neuf personnes. Avant de basculer de l'autre côté de la crête qui domine le camp, nous apercevons au loin la silhouette d'un bateau : le *Don Tito* arrive, quatre jours après le départ du camp Glacier. Ils sont sains et saufs !

Nous mettrons 3 h 30 pour accéder au camp, en prenant le temps d'admirer les paysages et tourner plusieurs séquences aériennes de progression avec le drone de Bruno. Alex H. et Lionel en profitent même pour sonder une petite cavité le long du trajet : 60 m de méandres suivis d'un puits d'environ 10 m, la suite restant à découvrir. Peu après midi, les affaires sont déposées au camp. Pour la fin de la journée, trois groupes sont constitués : Cédric, Charlotte et



◁ La visioconférence en direct avec Toulouse.
Photo © Florian Chenu, Centre Terre.

▽ C'est pas par là, Lionel !
Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.



▷ Équipement de la Perte Champignon.
 Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

Lionel feront de la spéléologie (ils seront ultérieurement rejoints par Jessica et Alex H.). Bruno, Jessica, Didier et Alex H. doivent faire des relevés et documenter le secteur des champignons et des comètes de roches, puis ils sont chargés de trouver un emplacement pour monter les deux tentes. Enfin, Marie et Raphaël partent de leur côté, espérant observer les oiseaux qui, selon Marie, vivent

dans les bosquets sur le plateau karstique. Ils reviendront bredouilles. L'équipe cinéma réalise plusieurs séquences avec comme sujet les comètes et champignons de roche. La zone s'y prête bien. Il y a un grand nombre de ces structures disséminées sur plusieurs centaines de m². On a en particulier trois gros champignons, dont un tient sur son pied on ne sait comment. Didier,

aidé par Jessica à la prise de note, réalise les relevés photogrammétriques de ces trois champignons, tandis qu'Alex explique à la caméra leur mode de formation. Ces nouveaux relevés enrichissent les connaissances acquises au fil des expéditions sur ces structures singulières. Ils pourront être intégrés aux études réalisées, entre autres, par Stéphane Jaillet durant l'expédition de 2019.

De leur côté les spéléologues enchaînent les explorations. Cédric, Charlotte et Lionel descendent dans une petite perte: **la Perte Champignon** (P20 et arrêté sur siphon). Plus tard, Lionel et Alex (qui les a rejoints) explorent la Faille près des Champignons. N'ayant qu'une corde de 45 m, ils ne vont pas bien loin dans le puits d'entrée, mais se promettent de revenir le lendemain. Charlotte,

Perte 25 Metres Nage Libre / 106055

Estero Egg, Bien Nacional Protegido
Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :

X : 488575

Y : 4451682

Z : 262 m

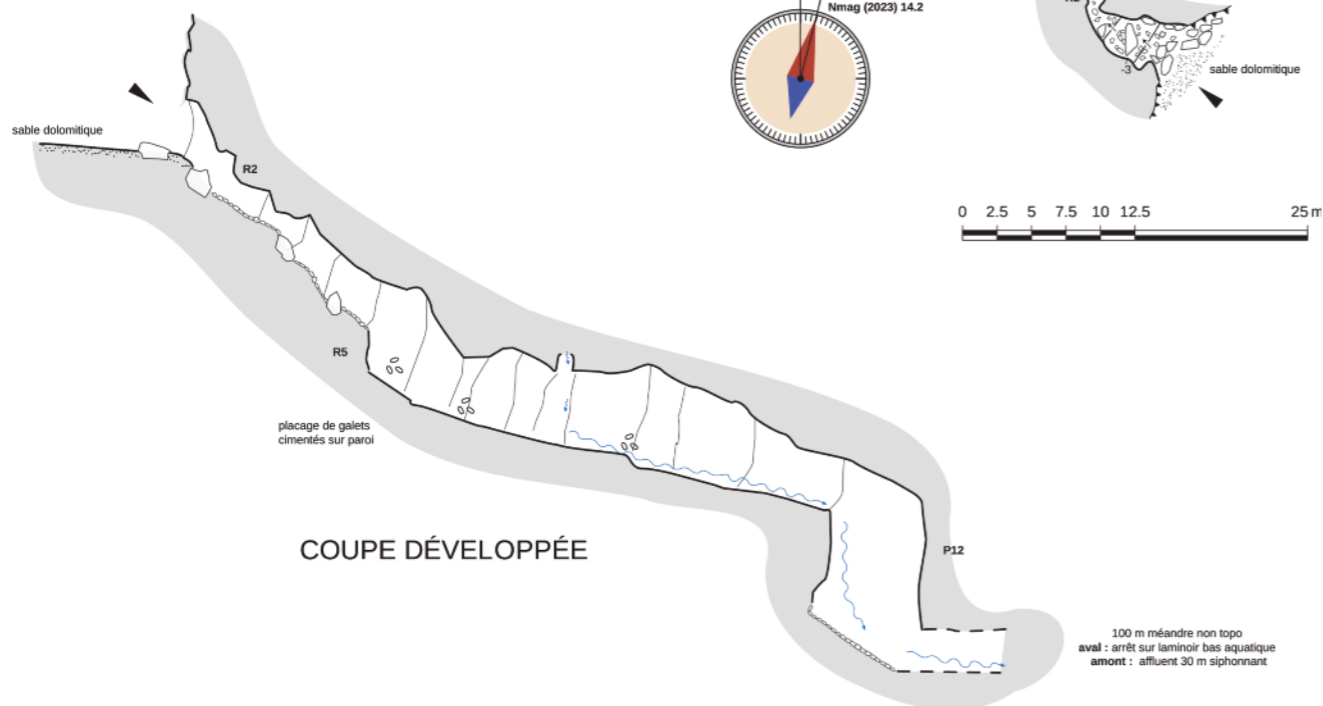
Développement / Desarrollo : 77 m

Dénivellation / Desnivel : 38 m

Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023

Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Charlotte Honiat, Alexandre Honiat, Cédric Roques

Report et dessins / Descripción y dibujos : Alexandre Honiat, Tanguy Racine



COUPE DÉVELOPPÉE

Cédric et Jessica finissent la journée dans le **Gouffre ++**. Ils ajoutent 70 m à la topographie que Charlotte vient de réaliser.

Le soir l'équipe se retrouve pour le dîner dans les deux tentes du camp initial, sous une pluie battante qui durera toute la nuit. Cinq personnes dormiront ici et les quatre autres iront dormir dans les deux nouvelles tentes savamment installées dans l'après-midi dans... une dépression. Alex aura toute la nuit pour trouver le nom de la cavité qu'il repéra avec Lionel le matin en montant au camp : la **Perte du 25 m Nage Libre**.

De leur côté, dans la **Grotte des Pirates**, Franck, Joël, Katia et Tanguy s'engouffrent dans le ramping d'entrée avec l'objectif d'aller au-delà du terminus d'exploration français de 2008. Le nom de cette grotte a une drôle d'histoire. Elle a été localisée et partiellement explorée lors de l'expédition de 2008, pendant l'incursion dans

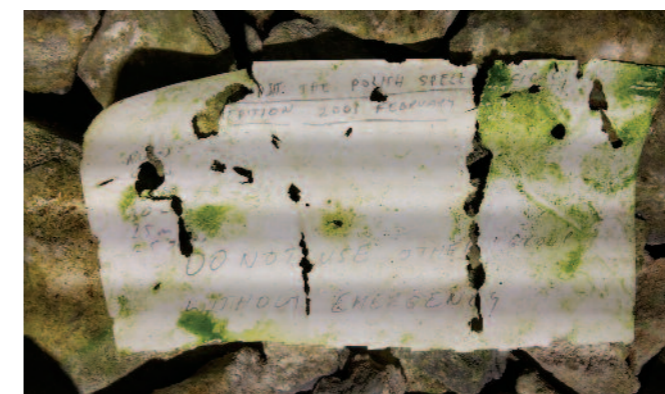
l'estero Egg. Elle s'appelait alors « la Grotte des Pirates », en référence à l'expédition italienne qui n'a jamais voulu partager les détails de son exploration avec Centre Terre (voir « *L'Île aux Glaciers de Marble* », p. 149). L'exploration a été reprise peu après par les Anglais et ce qui est étrange, c'est qu'ils l'ont appelée « *Haciendo Salinas* », ce qui ne veut rien dire en espagnol. Un nom bien étrange donc. S'attribuaient-ils l'honneur de nommer une cavité dont ils n'avaient pas commencé l'exploration ? Jusqu'à cette expédition, personne ne connaissait vraiment la raison de ce changement de nom. Lors d'une des premières incursions, Franck a identifié une marque topographique, probablement laissée par Marta Candel en 2008, sur laquelle on pouvait lire « *Salimos haciendo la topo* » (Nous sommes sortis en faisant la topo). Cette note manuscrite, écrite en espagnol, a été trouvée par les Anglais qui savaient que

l'expédition était française et qui, peut-être, ont interprété la note comme étant écrite en anglais : « *Salina's Hacienda topo* ». Pour notre part, nous avons interprété qu'il pouvait s'agir d'une erreur typographique de la part des Anglais (« *hacienda* » au lieu de « *haciendo* ») et que ce nouveau nom ferait allusion à une quelconque histoire des premiers explorateurs avec un séjour de Magellan... Un imbroglio linguistique et interprétatif digne de la Tour de Babel. Le mystère sur le changement de nom de la grotte, qui pourrait bien maintenant s'appeler « **Cueva de Babel** », a duré 15 ans, le temps qu'il nous a fallu pour revenir en ce lieu.

Après la partie étroite, la suite est immédiatement sur la droite, avec une courte escalade dans une cheminée étroite qui débouche dans une galerie de plus grandes dimensions. Le trajet vers le terminus de 2008 est facile. La suite est sur la

droite avec un ressaut descendant, puis en passant sous des blocs arrosés, la conduite forcée repart vers le sud. À la jonction qui se présente immédiatement, une descente de plusieurs dizaines de mètres mène directement à un siphon. Le groupe se sépare. Katia et Franck partent explorer l'amont de la cavité (secteur « *Water World* ») tandis que Tanguy et Joël topographient le secteur près du siphon (« *Sump of Doom* »).

Le lendemain (**mercredi 8 février**), au camp avancé, le réveil est dur car un vent tempétueux a soufflé toute la nuit, secouant les tentes et faisant claquer les bâches de protection. On décide de rentrer au camp Egg. Un groupe (Marie, Didier, Bruno et Raphaël) se charge de ranger le camp, plier une des deux nouvelles tentes et installer l'autre correctement, dans une zone non inondable. Ils réalisent également l'inventaire du matériel et de la nourriture restante, afin qu'une nouvelle équipe puisse en profiter. Ils prennent ensuite le chemin du retour, en faisant quelques détours. Jessica, Charlotte, Lionel, Alex et Cédric retournent à la Faille près des Champignons. Ils constatent que l'équipement posé la veille dans le puits d'entrée se retrouve sous une cascade. Il faudra donc envisager de continuer l'exploration les jours de beau temps, en réalisant un équipement hors crue, voire d'abandonner cette cavité car potentiellement trop dangereuse. Alex propose d'aller jeter un coup d'œil à une cavité qui avait été découverte plus tôt sur un sommet, donc potentiellement moins arrosée : le **Gouffre du Bowling**. Alex remarque tout de suite que l'équipement sera délicat, car toute la zone d'entrée est creusée dans la dolomite, une roche particuliè-



◀ Quelques fistuleuses « assez sympathiques » dans la grotte des Pirates.

Photo © Jules Clouzeau, Centre Terre.

rement friable, où les amarrages des cordes ne tiennent pas. Cependant, un premier puits de 45 m est descendu. Il se prolonge un peu plus bas par un P25. La topographie est levée. Ce gouffre paraît intéressant à explorer. L'équipement est laissé en place pour une prochaine équipe. En redescendant vers le camp de base, l'équipe en profite pour explorer et topographier la **Perte du 25 m Nage Libre**.

Durant cette journée du **8 février**, une autre excursion a eu lieu directement depuis la cabane du Egg. Une équipe avec Arnauld, Sébastien, Sylvain et Olivier est partie en début d'après-midi pour ouvrir un chemin et monter du matériel de bivouac, d'exploration et des vivres en vue d'installer un camp sur la zone prospectée par les spéléologues polonais en 2003.

Sur le chemin, des traces de passage (arbres coupés et cairns) indiquent que d'autres personnes sont déjà passées par là. Après deux heures de marche, l'équipe met le pied sur la zone de lapiaz à explorer. Très rapidement, une cache de matériel appartenant aux spéléologues polonais est découverte dans un porche. Il y a stocké à 200 à 300 m de corde et un kit-bag. Un mot est découvert. Il indique, en anglais, « *matériel à n'utiliser qu'en cas d'urgence* ». Le matériel d'exploration est laissé à l'entrée du porche qui semble convenir pour installer un bivouac. Une première reconnaissance est faite sur le lapiaz. Elle permet de localiser deux cavités présentant d'anciens amarrages de spéléologie à l'entrée et donc a priori déjà explorées. L'équipe redescend au camp de base qu'elle rejoint vers 20 h 00, tout en balisant le trajet du retour. Le chemin d'accès n'est pas évident, car il y a de nombreux obstacles entre les dalles de grès (trous de végétation, lapiaz acérés sous couvert végétal, etc.). Plusieurs cheminements sont donc possibles.

De leur côté, les personnes restées au camp de base organisent deux sorties. Les plongeurs partent en direction des deux résurgences au nord du camp,

◀ Le mot laissé par les spéléologues polonais 20 ans plus tôt.

Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.



◁ Plage de sable fin près du camp des Champipis.
Photo © Michel Philips, Centre Terre.

mais sans trop d'espoir, car il a beaucoup plu ces dernières heures. Une autre équipe part continuer l'exploration de la Grotte des Pirates.

Le groupe de plongeurs est constitué de Franck, Carlos et Clément, accompagnés de Caroline et Laurent qui filmeront les scènes. Arrivés à la résurgence principale, il n'y a pas de doute, ça va être compliqué de passer: l'eau sous pression sort de la résurgence et forme un énorme champignon bouillonnant à la surface de la mer. Sans y croire vraiment, mais pour le plaisir et les prises de vues, les plongeurs tentent une incursion. En se tractant sur les blocs, ils arrivent à atteindre 7 m de profondeur, mais au-delà, le courant est trop fort et le débit semble augmenter. Il pourrait dépasser, selon les estimations de chacun, les 6 m³ par seconde.

Laurent se cale entre les rochers et fait quelques images, le siphon est vraiment impressionnant. Une tentative de plonger la seconde résurgence est entreprise. Bien que le débit semble moins important, le courant est tout aussi fort. Il est impossible de rentrer dans le siphon. Les plongeurs reviendront quand les conditions seront plus favorables.

Sous une pluie fine, Florian C fait la navette entre la cabane et la Grotte des Pirates pour déposer l'équipe de spéléologues: Joël, Tanguy, Christine et Alex A. L'objectif de la journée est la continuation des explorations dans le secteur de « *Muddy Hollows* », en essayant de rester au plus près des siphons (un plongeur pourrait apparaître!). Ils commencent par lever la topographie de la galerie « *Sump of Doom* » qui

comprend deux siphons. Puis, ils partent en direction du Sud. Après avoir dépassé un ancien cairn matérialisant un point topographique de 2008, ils attaquent l'exploration en première. La galerie est rectiligne en direction du Sud-Ouest. Elle emprunte le trajet d'une faille. Le passage se réduit, mais un courant d'air pleine face incite à poursuivre le parcours. Quelques fistules et draperies ornent les parois. Après 140 mètres de progression, Tanguy est le seul à continuer la reconnaissance sur environ 30 mètres. Il s'arrête dans un tube de 1,5 m de diamètre, avec, au loin, le bruit sourd d'une rivière. Ça continue! Sur le retour, plusieurs départs de galeries latérales sont repérés. Ils feront l'objet des futures sorties dans cette grotte.

Le matin du **jeudi 9 février**, il y a de l'agitation à la cabane. Trois équipes préparent leurs explorations. Un premier groupe partira au camp de Champipis, un autre en direction du nord-ouest dans le secteur exploré par les Polonais en 2003 pour installer le camp avancé et commencer la prospection. Enfin, des sorties quotidiennes dans les prochains jours vers la Grotte des Pirates sont programmées.

Le **9 février**, c'est l'équipe des pirates qui part la première du camp de base. On trouve Serge et Richard, les deux Alex, Charlotte, Christine, Cédric, Joël et Tanguy. Plusieurs groupes se dispersent dans la grotte afin de



▷ Christine dans les galeries en conduite forcée de la grotte des Pirates.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

réaliser les divers objectifs prévus pour cette journée. Cédric et Alex A. partent explorer une galerie supérieure depuis la Salle du Cairn. Malheureusement, après une escalade d'une quarantaine de mètres, ils butent sur une trémie dans un passage étroit. Pendant ce temps, Charlotte, Joël et Tanguy se dirigent vers la Salle aux Stalagmites qui contient quelques jolies concrétions. Charlotte doit retrouver un enregistreur de températures (logger) laissé par les spéléologues anglais et le ramener. Mais sa localisation n'étant pas très précise, elle ne le retrouvera pas cette fois-ci. Le dernier groupe (Richard, Serge, Christine et Alex A.) inventorie les formes géomorphologiques présentes dans la grotte et en fait les relevés: coups de gouge, calcins, dépôts divers qui jonchent les galeries, etc. Serge immortalise ces moments et prend de nombreuses photos de section des conduites forcées. Après le repas, l'après-midi dans la Grotte des Pirates est consacrée à la topographie de plusieurs secteurs explorés les jours précédents.

En début d'après-midi, c'est l'équipe du camp Champipis qui quitte la cabane. Elle se compose de Natalia, Michel,

Laurence et Arnaud. Le trajet prend plus de temps que prévu car les spéléologues se perdent en arrivant sur le lapiaz. Le camp sera atteint vers 18 heures. Mais la journée n'est pas terminée, et profitant d'une accalmie de la pluie et du vent, Natalia, Michel, Laurence et Arnaud vont visiter la zone des comètes et des champignons. Ils repèrent une doline qui ne présente pas de traces d'exploration bien visibles et qui n'a pas été mentionnée par les groupes précédents comme ayant été explorée. Ils la localisent pour y retourner le lendemain.

Sur le chemin du retour au camp, ils passent devant une zone qui attire leur attention, car elle ressemble à un lac de marbre avec des bordures de végétation et quelques arbres. Cet endroit semble beaucoup plus adapté pour un campement car il faut dire que le camp des Champipis est peu confortable, en pente, et peu abrité des bourrasques. La prochaine équipe sera chargée de déplacer le camp dans ce nouvel emplacement. Avant la nuit, il est encore temps de changer la tente « matériel » de place et de lester davantage les tendeurs et bâches des deux autres tentes existantes. Rien d'autre ne sera fait cette journée.

Sébastien et Olivier sont également partis en début d'après-midi de la cabane en direction de la zone Nord-Ouest. Leur but est d'installer un camp dans la journée car ils devraient être rejoints le lendemain par Lionel, Sylvain, Alex A. et Christine. La montée est facile et bien balisée. Il faut 1 h 30 pour rejoindre le stock de matériel laissé la veille par les copains. Le camp est installé au pied d'une falaise de marbre, à l'abri du vent, sur du sable. L'endroit semble idéal, mais rapidement un problème apparaît: il n'y a pas d'eau ici pour faire la cuisine (on mange essentiellement des plats lyophilisés sur les camps avancés...). En effet, sur le lapiaz, il n'y a de l'eau que quand il pleut. L'eau s'infiltre très vite dans les fissures du marbre et tout devient sec en 5 minutes. Sébastien et Olivier partent donc à la recherche de ce bien si précieux, qui habituellement nous tombe dessus à longueur de journée, un comble! Ils finissent par trouver une petite cannelure qui contient quelques flaques et repartent avec une réserve de 12 litres dans leurs bidons.

Le lendemain (**vendredi 10 février**), Séba et Olivier passent la matinée dans la tente en attendant une accalmie; dehors il



▷ Katia dans les galeries de la grotte des Pirates.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

▷ Le Lac Turquoise sur le trajet du camp avancé.
Photo © Michel Philips, Centre Terre.



pleut fort. Finalement en début d'après-midi, une éclaircie se présente, il est temps de sortir prospecter. Ils partent alors en direction de l'Ouest et découvrent rapidement tout un secteur avec de nombreuses pertes. La plupart sont bouchées par de gros blocs, mais une petite perte peut être explorée. Elle débute par un puits de 10 mètres qui débouche dans une petite salle. Ensuite, un autre puits de 3 m permet d'accéder à un méandre qui devient rapidement impénétrable. Toute la zone explorée cet après-midi abrite de nombreuses pertes. Celles qui paraissent les plus profondes

sont géolocalisées et feront l'objet d'explorations futures. En retournant au camp Nord-Ouest, Sébastien et Olivier sont rejoints par Lionel, Sylvain, Alex A. et Christine.

Du côté des Champipis, le 10 février, Michel et Natalia partent en premier continuer l'exploration du **Gouffre ++**. Laurence et Arnaud suivent avec 30 minutes de décalage pour relever la topographie depuis l'entrée de la cavité. Le fond de la cavité est atteint vers -88 m dans une grande galerie en conduite forcée qui s'obstrue à moins de 10 m vers l'amont et 40 m vers l'aval. Au final il s'avère que la

topographie avait déjà été levée par Charlotte jusqu'à -60 m lors de la session précédente. L'après-midi, Natalia, Laurence et Arnaud partent explorer la Perte Rouge qui s'avérera être la Perte des Champis, explorée et topographiée lors de la session précédente. N'ayant pas l'information, Laurence et Arnaud refont la topographie de la cavité qui totalise environ 40 m de développement pour 30 m de profondeur environ. Les conditions hydrologiques étant très pluvieuses, l'équipement est réalisé hors crue en comparaison de l'équipe précédente qui bénéficiait de conditions plus clémentes. La cavité bute sur un siphon a priori non plongeable.

Le 10 février, une nouvelle sortie à la **Grotte des Pirates** est réalisée sur demande de l'équipe cinéma. En effet, le scénario du film documentaire prévoit plusieurs séquences scientifiques, c'est donc l'occasion pour Charlotte, Tanguy et Franck d'aller réaliser leurs prélèvements (sédimentologie et biospéléologie). Caroline, Christian et Bruno accompagnent donc les trois scientifiques et Didier dans la grotte. Ils commencent par filmer la séquence « biologie » avec Franck. Le prélèvement a lieu dans une petite flaque, mais le courant d'eau rend l'opération un peu compliquée et les crustacés se font timides devant l'œil de la caméra. Franck reviendra seul, plus tard, pour ré-échantillonner la flaque. D'après lui, « la collecte des crustacés est meilleure sans l'équipe cinéma, c'est comme ça ». On procède ensuite à la séquence « sédiments », pour laquelle Didier continue son travail d'éclaira-



◁ Une arche de roche... exceptionnelle.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

giste en chef. Charlotte et Tanguy ont repéré des varves glaciaires conservées dans des anfractuosités d'une galerie. Ils effectuent les relevés puis prélèvent, sous lumière rouge, un échantillon dans un tube en inox afin de dater le dépôt par la méthode « OSL » (méthode qui permet de dater l'enfouissement de certains minéraux). Ce prélèvement permettra de dater le début de la période de glaciation dans ce secteur de l'île de Madre de Dios. La fin de la séquence est perturbée par des voix, au loin. Il s'agit d'un groupe venu faire un peu de tourisme dans la grotte. Il s'agit de Flo C, Alex H, Joël, qui accompagnent Marie et Raphaël pour leur baptême (ou presque) de spéléologie. On se retrouve ainsi tous ensemble pour une réunion photo amicale. Une partie du groupe prend le chemin du retour tandis que Charlotte, Raphaël et Tanguy partent vers

le fond de la cavité (secteur Water World) pour continuer son exploration.

Le **samedi 11 février**, pour Natalia et son équipe, près des champignons, l'objectif de la journée est d'explorer la Perte des deux 2 Lacs qui s'ouvre vers le lac Turquoise. Au passage, ils relèvent la position d'un gouffre exploré par les Italiens à l'Est du lac Turquoise. Il est noté « **ITA06** » et il y a encore deux goujons rouillés en tête du puits d'entrée qui doit mesurer entre 25 et 30 m. Plus loin, l'équipe s'arrête à environ 200 m de la **Perte 25 m Nage Libre** pour explorer un gouffre qui semble profond. Le **Gouffre Déjà Vu** débute par un puits de 30-35 m qui débouche sur un grand talus d'éboulis. Natalia et Laurence sont à l'équipement, Arnaud et Michel à la topographie. Au pied du talus, un passage bas rejoint le réseau actif, mais devient

rapidement impénétrable. Un second passage bas permet de rejoindre une autre branche de l'actif qui se développe vers l'aval sur environ 30 m. Un shunt en hauteur permet de passer à une seconde branche active qui se développe vers l'amont sur presque 100 m avant de buter à la base d'un puits fossile. Des traces de passage sont visibles dans la galerie, mais il est difficile de savoir si elles ont été faites par l'équipe précédente lors de l'exploration du 25 m Nage Libre ou par les Italiens en passant par un autre gouffre inconnu pour l'instant... Il n'y a pas de points topographiques visibles et les informations transmises par Charlotte sur le 25 m Nage Libre ne coïncident pas vraiment avec celles faites par l'équipe de topographie. La probabilité que ces traces soient celles laissées par les Italiens ne doit pas être écartée... Le report topographique sur une carte

▷ Légendes communes à toutes les topographies en secteur calcaire.
© Tanguy Racine, Centre Terre.

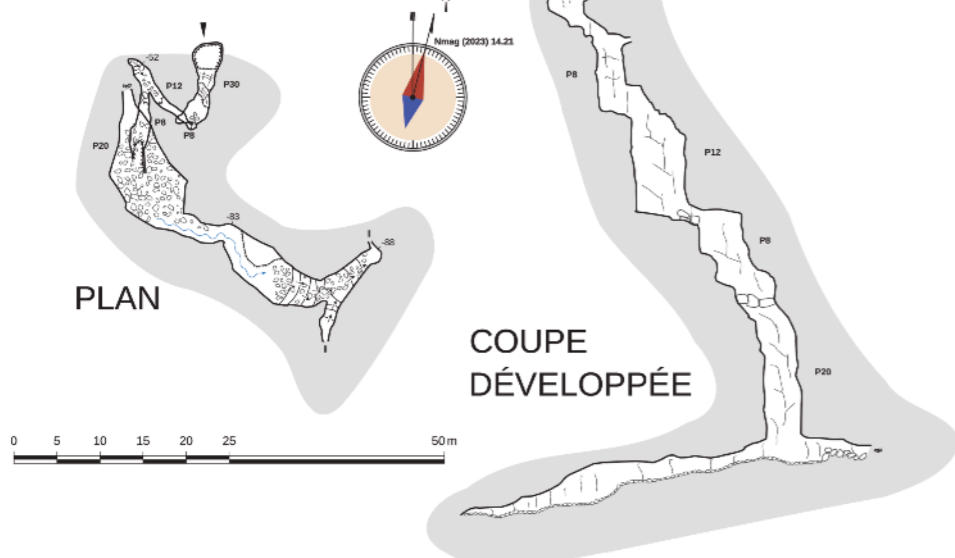
Gouffre ++ / 106023

Estero Egg, Bien Nacional Protegido Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
X : 487708
Y : 4451733
Z : 238 m

Développement / Desarrollo : 43 m
Dénivellation / Desnivel : 88 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2023

Relevés topographiques / Mediciones topográficas :
Charlotte Honiat, Jessica Morin-Buote, Cédric Roques, Arnaud Malard, Natalia Morata-Calvo, Laurence Boudoux d'Hautefeuille, Michel Philips
Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine



Légende / Legenda

	visée topo / poligonal		corde / cuerda		écoulement permanent / curso de agua permanente
	entrée / entrada		déviation / desviación		eau / agua
	paroi rocheuse / pared de roca		ancrage / anclaje		siphon / sifón
	paroi présumée / pared supuesta		stalactite / estalactita		sable / arena
	puits (entrée) / pozo (entrada)		stalagmite / estalagmita		argile / arcilla
	puits / pozo		colonne / columna		galets / cantos rodados
	escarpement / resalte		draperie / bandera		roche-mère / roca madre
	texture de paroi / textura de pared		fistuleuse / fistulosa		blocs / bloques
	pente / pendiente		excentrique / excéntrica		bordure d'un bloc / bloque contorno
	courbe de niveau / curva de nivel		lapiaz		courant d'air / corriente de aire
	altitude / altitud		vagues d'érosion / huellas de corriente		suite possible / posible continuación
	reprise d'exploration / fecha de exploración		végétation / vegetación		arrêt sur étroiture / final estrecho

Gouffre Déjà Vu / 106057
 Estero Egg, Bien Nacional Protegido
 Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
 X : 488596
 Y : 4453785
 Z : 280 m

Développement / Desarrollo : 151 m
 Dénivellation / Desnivel : 32 m
 Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre
 - Última Patagonia 2023
 Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Arnauld Malard,
 Natalia Morata-Calvo, Laurence Boudoux d'Hautefeuille,
 Michel Philips
 Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine



montre toutefois que la cavité se développe en direction du 25 m Nage Libre et quelques dizaines de mètres seulement séparent les deux cavités.

Laurence et Natalia profitent du temps imparti pour la topographie pour explorer un gouffre-perte en bordure ouest du lac Turquoise (**la Perte sous le Lac**). Le gouffre est exploré jusqu'à la profondeur de 15 m et ne semble pas présenter de continuité. La topographie n'est pas relevée, mais Laurence dessine un croquis.

Vu la météo et l'heure avancée, la décision de retourner au

camp avancé est prise pour faire les sacs et éventuellement déplacer les tentes vers un nouvel emplacement plus sûr – en tout cas plus abrité du vent. Mais la météo exécrable ne permet pas de plier le camp.

Vers 18 heures, l'équipe de relève composée de Franck, Bernard, Denis, Katia, Cédric et Clément arrive au camp sous une pluie battante. Arnauld montre le nouvel emplacement à Franck (au cas où les nouveaux locataires souhaiteraient déplacer le camp) et redescend ensuite avec Michel, Laurence et Natalia au camp de base.

Le 11 février. Camp Nord-Ouest. Il pleut toute la matinée, impossible de sortir. Vers 14h00, enfin ça s'arrête. Les explorateurs décident d'aller en direction d'une grande perte vue la veille. À l'entrée de la perte, il y a un cairn. Nous ne sommes pas les premiers. Ils tentent la descente. Au début, c'est possible de dé-escalader, mais rapidement la corde s'impose. C'est Lionel qui est au perfo, mais la première batterie n'est pas chargée. Heureusement, il en a une autre. Un goujon, et hop, on descend. Curieusement, au fond, il y a de l'eau alors qu'il n'y a rien en surface. Ils descendent toujours en suivant l'eau. Mais rapidement l'eau passe sous une trémie. Derrière on l'entend, la galerie continue. Ça pourrait passer, mais c'est trop instable pour s'engager, trop dangereux. L'équipe abandonne.

Une autre perte sera explorée. Elle ressemble beaucoup à la précédente. Deux puits sont enchaînés par les spéléologues, puis un méandre parcouru par une petite rivière. Au fond, la rivière se perd dans un chaos de blocs effondrés impénétrables. La profondeur atteinte est à nouveau d'environ 20 mètres.

En fin de journée, Sébastien, Olivier, Lionel, Sylvain, Alex A. et Christine rentrent à leur campement complètement trempés. Heureusement, les tentes sont bien à l'abri sous la falaise, ils



peuvent se sécher et préparer un repas d'expédition dont eux seuls ont le secret: nouilles chinoises, chorizo et fromage façon camp Nord-Ouest. Bon appétit! Ils quitteront le camp avancé le lendemain, sous la grêle, après être passés récupérer les cordes des spéléologues polonais pour les rapporter à la poubelle.

Le 11 février, en début d'après-midi, Raphaël, Marie, Serge, Jérôme et Didier partent en zodiac en direction de la résurgence dans la baie à l'Est du camp de base. Raphaël fait deux prélèvements d'ADN environnemental le long de la côte. On va jusqu'au fond de la baie, derrière le delta de la résurgence. Marie observe plusieurs colibris, mais elle a tellement froid qu'elle sautille dans le bateau pour réchauffer le bout de ses orteils. Pas facile pour Jérôme de filmer avec sa gopro, d'autant que lui aussi est transi par le froid. Serge fait quelques photos avec son téléphone. Après le retour à la cabane, Raphaël et Didier repartent faire un prélèvement d'ADN dans la baie en face de la cabane.

Le dimanche 12 février, Jessica, Charlotte, Alex H et Tanguy partent du camp Egg pour un aller-retour au **gouffre des Arches Perdues**. Ils continuent

l'exploration du méandre qui avait été reconnu, mais non topographié il y a une semaine. Au retour, ils récupèrent des affaires laissées par Jessica au col Ayayema.

Le 12 février, c'est aussi l'occasion pour l'équipe cinéma (Jérôme, Christian et Bruno) d'aller interviewer Richard pour réaliser une séquence « glaciers de marbre » pour le film documentaire. Serge est aussi de la partie. La météo est très variable et, selon Richard, c'est « les 4 saisons en un quart d'heure ». Le paysage est grandiose, car le décor du tournage est une des nombreuses arches du secteur Arches Perdues. L'arche s'est formée grâce à un processus de desquamation due de l'altération des marbres saccharoïdes. Richard fera plusieurs prélèvements de roches, mais aussi plusieurs allers-retours sur l'arche, sous l'arche, à côté ou derrière l'arche pour les besoins de la vidéo. Le retour à la cabane a lieu à 19h30. Jérôme rentre repartent faire un prélèvement d'ADN dans la baie en face de la cabane.

Le 12 février, Laurence, Joël et Arnauld partent pour une dernière sortie spéléo de leur expédition. Direction la **Grotte des Pirates** pour finaliser le relevé topographique des gale-

ries découvertes par les Anglais et continuer les explorations des galeries qui se développent vers le Sud (galerie « Girafe »). La séance de topographie démarre dans la galerie principale. L'équipe déroule plus de 100 m de topographie dans une galerie étroite avant de reprendre pied dans un petit méandre actif et de le suivre vers l'aval. Entre 60 et 80 m de topographie sont levés dans ce méandre qui présente déjà des traces de passage. Finalement, ce sont 180 m de topographie qui sont levés, dont environ 80 m de première. Le reste étant la « re-topographie » des galeries découvertes par les Anglais.

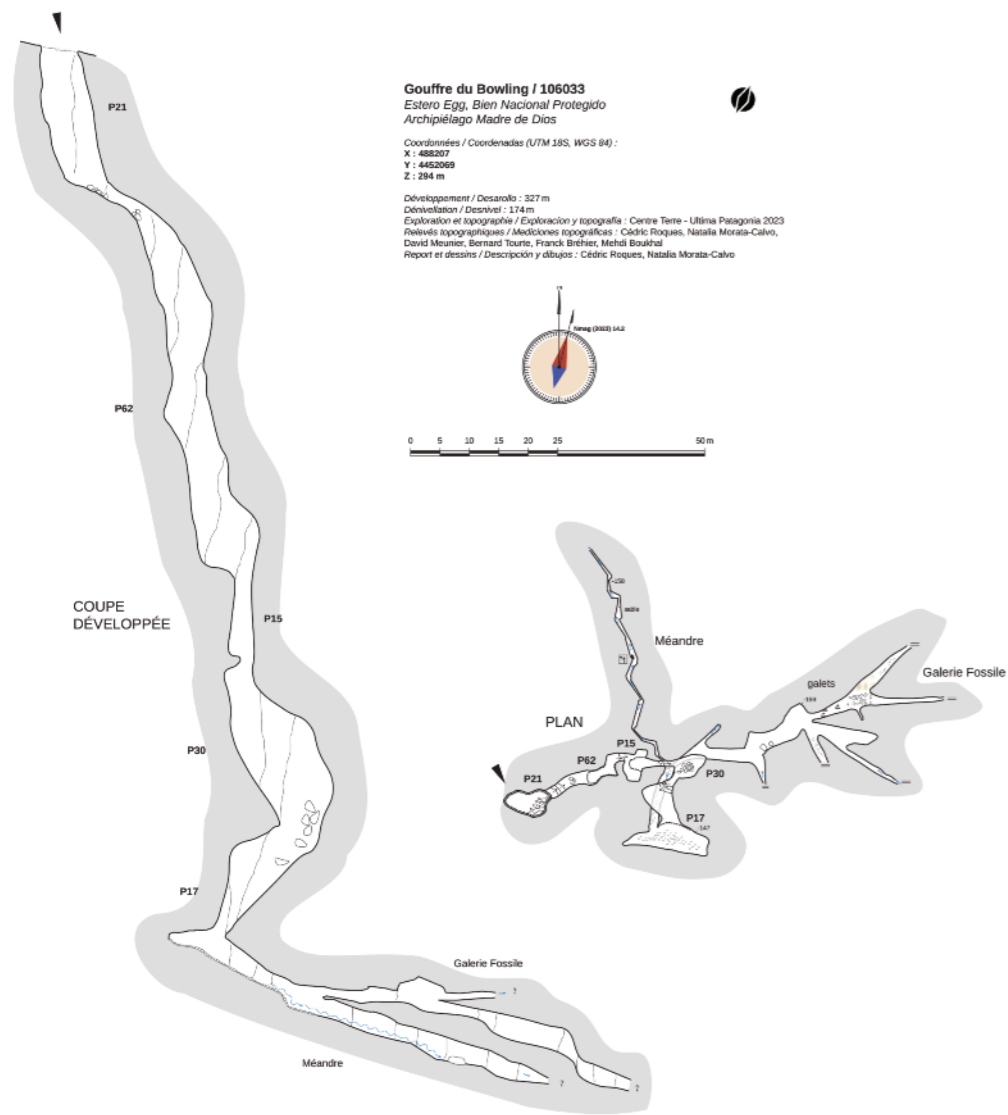
Enfin **le 12 février**, l'équipe Bernard, Denis, Katia, Clément, Cédric et Franck est à pied d'œuvre au camp des Champipis pour faire de la spéléologie. Ils étaient partis la veille en milieu d'après-midi. Ils avaient consacré leur fin de journée à la visite du champ de comètes et champignons de roche. La météo est maussade avec une alternance d'averse de pluie et de grêle. Deux groupes sont constitués: Katia, Clément et Denis partent prospecter. Bernard, Franck et Cédric vont au Bowling. L'exploration de ce gouffre avait débuté il y a 4 jours jusqu'à -45 m. Franck équipe Cédric et Bernard font les relevés topographiques. Ils sont partis avec 2 cordes de 30 et 50 m, mais rapidement ils arrivent en bout de corde, à la profondeur de -100 m. La suite est là, arrosée, mais tentante. Après un rapide pique-nique, les spéléos remontent sous les crues intermittentes. Ils rentrent au camp en même temps que l'équipe de prospecteurs qui a découvert quelques pertes. Elles seront au programme des futures explorations. Après une petite pause, Franck et Cédric décident de retourner au **Gouffre du Bowling**. Ils prennent les deux dernières cordes (2 x 40 m) disponibles au camp. Ils repartent motivés. Franck reprend l'équipement et Cédric, la topographie. Les puits sont toujours très arrosés et Franck fait de son mieux pour équiper les bons passages. Vers -150 m de profondeur, ils touchent le fond dans un beau volume. Deux galeries partent en amont et une en aval. Les deux spéléologues réalisent encore 50 m de première puis

< Vers le fond du Gouffre Bowling.
 Photo © Franck Bréhier, Centre Terre.



▷ Direction vers la résurgence dans la baie à l'Est du camp de base afin que Raphaël fasse deux prélèvements d'ADN environnemental le long de la côte.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



décident de remonter. La suite est laissée pour une autre équipe.

Le **lundi 13 février**, après une bonne nuit, toute l'équipe part en direction du camp Nord-Ouest. La balade est magnifique, d'autant plus que le soleil est de la partie. La traversée des lapiaz entre les deux camps avancés dure 2 h 30. Puis c'est la descente à la cabane du Egg en 1 h 40, malgré quelques détours involontaires dans la végétation...

Le **13 février**, c'est l'effervescence au camp de base pour les personnes venues pour le premier mois d'expédition. Le départ est annoncé pour le lendemain. Ils doivent regrouper leurs affaires, sécher leur matériel du mieux possible, plier et ranger tout ce qui repart par avion, conditionner dans leur bidon étanche tout ce qui réintégrera le container pour un retour en France fin juin. Côté relève... c'est la même effervescence sur le continent chilien

avec la nouvelle équipe en préparation pour son embarquement imminent vers Madre de Dios. Depuis quelques jours Jaime, Mathias et Amandine réalisent des courses à Puerto Natales pour le matériel et le ravitaillement alimentaire nécessaires à la poursuite de l'expédition. Rejoints par le reste de l'équipe depuis la France (et le Canada!) maintenant au complet, le départ de Puerto Natales vers la base de vie de l'Esterro Egg est prévu ce jour à 16 heures avec la marine du Chili. En soirée sur l'Esterro Egg, la nostalgie du départ s'est installée sur la base de vie. Natalia est, elle, partie à bord du No te Rindas, au point de rendez-vous fixé, avec la frégate militaire LSG1617- Puerto Natales, sur l'île Hernando.

Le **mardi 14 février**, c'est la relève. À 6 h 30 précise la frégate militaire mouille à côté du No te Rindas. L'embarquement des nouveaux commence. Le No te Rindas fait son apparition vers 8 heures avec l'équipe à la plage

de la cabane du Egg. Nos douze nouveaux sont tous là, livrés à bon port, tout beaux, tout propres, parfois un peu candides. L'un n'a pas pris de bottes, un autre n'a pas jugé opportun d'apporter une veste de pluie...

L'équipe est réunie au grand complet pour quelques heures seulement. Il y a 46 Centre Terriens dans la base de vie! C'est la joie et l'euphorie des retrouvailles pour une journée d'échange et de partage. À 18 heures, la fin des festivités a sonné. La première équipe quitte le camp à bord du No Te Rindas pour rejoindre le bateau militaire. L'estero Egg retrouve sa tranquillité. Ils arriveront à Paris le **18 février** en début de matinée.

Les nouveaux arrivés sont une douzaine. Il y a Mehdi, Christophe, Gwladys, Nicolas, Jules, Amandine, Jérémie, Florian R, David et trois scientifiques chiliens: Jaime, Gonzalo et Matias.

Aussitôt arrivés, Franck emmène Gonzalo et Jaime poser des enregistreurs à ultrasons à l'entrée de la Grotte des Pirates dans l'espoir de découvrir des chauves-souris dans leur habitat. En effet, deux espèces de chauves-souris ont déjà été identifiées aux abords de l'estero Egg: *Myotis chiloensis* et *Histiotus magellanicus*. Elles pourraient être présentes dans la grotte. Les enregistreurs seront retirés à la fin de l'expédition. En rentrant à la cabane, ils observent deux visons d'Amérique sur les berges de la baie.

Dès le retour du No Te Rindas, c'est une nouvelle aventure qui commence sans délai. La fenêtre météorologique attendue pour rejoindre le seno Barros Luco en passant par le Pacifique est annoncée. Bernard ne peut pas se permettre de la rater! Il doit partir avec quelques-uns réinvestir le camp de l'expédition UP-2019 dans le seno Barros Luco. Tout le monde s'active donc pour charger le bateau (trois zodiacs ainsi que des vivres pour trois semaines). L'équipage lève l'ancre à 22 heures. Si tout va bien cette première équipe composée de Bernard, Clément, Katia, Denis, Carlos et Laurent sera demain à l'ancienne base de vie construite



◁ Excursion géologique sur les lapiaz de Patagonie.
Photo © Richard Maire, Centre Terre.

en 2017 et réutilisée en 2019. Personne ne sait dans quel état sont la cabane et les installations annexes. Ça sera donc la surprise en arrivant. Ils seront rejoints par Christophe, Amandine, Nicolas, Charlotte, Gonzalo, Jaime, Matias et Gwladys qui feront le trajet à pied en traversant une partie de l'île de Madre de Dios par un passage qui avait été repéré lors de l'expédition de reconnaissance en mars 2020.

Le **mercredi 15 février**, à la première heure c'est le départ pour Christophe, Amandine, Nicolas, Charlotte, Gonzalo, Jaime, Matias et Gwladys. Franck et Jérémie vont les déposer au fond d'une baie à l'Est de la cabane. De là, ils rejoindront à pied une crique du Barros Lucos (le « brazo Lastarria ») où Bernard et le No Te Rindas les attendront.

De retour à la cabane, Franck et Jérémie préparent leur matériel de plongée: métrage du fil d'Ariane, gonflage des bouteilles d'air comprimé, etc. Ils partent ensuite à la résurgence en face de la cabane où Franck réalisera la plongée. Une fois engagé dans le siphon, il constate que le courant est assez fort, mais que la plongée reste faisable. La galerie descend en pente régulière d'environ 30 degrés. Franck traverse des couches d'eaux plus ou moins limpides caractéristiques de variations de la salinité. À -39 m, il atteint un point bas. La galerie remonte ensuite franchement et l'eau devient très froide. Après 90 m de

progression subaquatique et à la profondeur de 29 m, Franck fait demi-tour, transi de froid. À l'extérieur, Jérémie qui l'attendait sur le zodiac a observé pendant plusieurs minutes une hirondelle pas farouche. Le nom de la résurgence est trouvé: ce sera la **Résurgence Golondrina**.

Le **15 février**, c'est une nouvelle séquence « lapiaz » que s'apprête à tourner l'équipe cinéma. Caroline et Christian emmènent donc Richard, Serge, Alex H. et Flo R en direction du camp des Champipis pour tourner une séquence géokarstologique pour le film. Dixit Richard, la montée est « à l'aise Blaise ». Il faut dire que Serge et Richard disposent de deux porteurs attirés et « non

payés »: Flo et Alex H. La montée est donc facilitée sans leur lourd sac sur le dos. Avant d'arriver sur les marbres, ils grignotent dans la petite tourbière entre la crête d'accès et le lapiaz, près du col Ayayema. Puis ils filent ensuite sur les dalles magiques. À mi-chemin du camp avancé, ils tournent une première séquence « glacier de marbre ». Richard explique, devant la caméra et le micro, les diverses formes d'altération des marbres, mais aussi les formes résultantes comme les grandes dépressions sableuses, voire lacustres, ainsi que les grandes cannelures méandriques conduisant aux mégapertes du plateau karstique. Une seconde interview est faite plus loin devant d'autres paysages grandioses, en attendant les deux « lascars »

▽ Franck et Jérémie plongent la résurgence Golondrina, estero Egg.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.





◀ Les deux grimpeurs dans la falaise des cannelures, 300 m de haut environ.
Photo © Serge Caillaud, Centre Terre.

(Flo et Alex) qui sont allés jusqu'au camp avancé en courant. Le retour au Egg est « cool » et Richard en profite pour récolter du céleri sauvage dans des creux lapiazés de la crête.

Arrivés à la cabane, ils retrouvent le reste de l'équipe et Jules qui se prépare à opérer Gonzalo. Celui-ci avait une grosse écharde dans l'avant-bras droit. Après un repérage échographique, une incision a permis de retirer l'épine. Gonzalo s'en tire avec un point de suture.

Le **jeudi 16 février**, le No Te Rindas est au mouillage devant la cabane, signe que l'équipe du Barros Luco est maintenant au complet. Franck et Jérémie retournent plonger à la **Résurgence Golondrina**. Ils sont accompagnés par Christian et Caroline pour immortaliser les préparatifs de la plongée. Ils

plongeurs emportent également une caméra et des éclairages pour filmer leur progression. Cette fois-ci, Jérémie accompagne Franck. La force du courant a diminué. Jérémie passe devant et Franck le filme jusqu'à son terminus de la veille. Puis les rôles sont inversés. Franck déroule son fil d'Ariane dans une belle galerie montante. Soudain, à -6 m, un nuage de particules leur tombe dessus et plus aucun courant n'est perceptible. Dans l'eau turbide, les plongeurs sont aveuglés par les phares de la caméra, la visibilité est nulle. Ils sont persuadés d'avoir quitté la galerie principale où coule la rivière active et ont dû emprunter une galerie secondaire, sans courant. Franck coupe le fil d'Ariane et le duo rebrousse chemin. Durant le retour vers l'air libre, les plongeurs ne remarquent aucun départ de galerie, si ce n'est un petit trou

au plafond, qu'il faudra revenir explorer. Il est possible que ce nuage de particules provienne d'une dune de sable à la sortie du siphon. Cette hypothèse devra être vérifiée lors d'une prochaine plongée.

Comme il reste un peu d'air dans les bouteilles de Franck, celui-ci décide d'aller faire une plongée de repérage dans le petit siphon situé au pied de la Grotte des Pirates. Franck descend jusqu'à la profondeur de -25 m, sur une distance d'environ 45 m. Le conduit est plus intime, puis il se rétrécit. Franck fait demi-tour. Le siphon ressemble beaucoup aux galeries exondées de la **Grotte des Pirates**, avec de nombreuses petites galeries qui partent de la galerie principale, mais trop étroites pour être explorées.

Les 16 et 17 février, Alex H. et Flo R. réalisent la première escalade en falaise sur l'île de Madre de Dios. En effet, lors des marches d'approche pour accéder au plateau calcaire et au camp des Champipis, une vue plongeante sur les fjords à proximité de la cabane met en valeur plusieurs lignes d'escalade potentielles dans les cannelures du rivage. Ce qui a fait germer dans la tête d'Alex, l'idée d'ouvrir une voie dans ce magnifique décor. Le premier jour, Alex, Florian, Serge et Richard tentent une approche du site, par le bas, en zodiac. La tâche n'est pas facile car l'accès est compliqué. La falaise plonge dans l'eau, il n'y a pas de plage pour accoster, si ce n'est quelques gros blocs qui émergent. C'est Richard qui se lance. De l'eau jusqu'au nombril, il réussit à prendre pied sur le bord, puis à monter sur une vire inclinée en pied de falaise. Au-dessus, 200 mètres de cannelures quasi verticales attendent nos deux grimpeurs. La vire est plutôt confortable, car le temps et le rocher sont secs. Elle est tout de même très impressionnante et vertigineuse. Après quelques échanges avec Serge resté en contrebas, Alex et Flo décident du choix de leur itinéraire vertical. La falaise tant convoitée est à portée... Ils commencent l'équipement de la voie sur quelques dizaines de mètres avant de rebrousse chemin car le temps se couvre et il commence à pleuvoir. Ils

continueront l'escalade le lendemain.

Le 17, c'est le grand jour. La pluie tombée dans la nuit a mouillé le rocher, mais les chaussures de canyon en guise de chaussons d'escalade adhèrent bien à la paroi. Alex et Flo s'équipent, d'un côté Flo à l'assurage et Alex pour l'escalade. L'ascension paraît tout de même complexe. Après quelques échauffements, filmé par Gilles, Caroline et Christian, Alex se lance dans la voie avec un pas de bloc coté 6c, déversant, qui marque le début d'Ultima Acanaladura! La sortie verticale est difficile car le rocher est devenu glissant, le placement est assez fin. Cette partie de cannelure est cotée 6b. La suite se caractérise par un élargissement de la cannelure, l'opposition est de mise, merci l'expérience spéléo! Vient ensuite un très beau plan incliné, beaucoup plus facile (5a). Il permet aux deux grimpeurs de faire une pause, pour profiter de l'endroit magique dans lequel ils se trouvent: d'un côté, l'ouverture de l'estuaire vers la mer et de l'autre le petit delta de la résurgence entouré de falaises et encombré de mousses. Quelques dizaines de mètres supplémentaires dans les cannelures permettent d'achever la montée longue de 80 mètres aux confins de la Patagonie. Alex et Flo savourent leur exploit. Ils viennent d'ouvrir la première voie d'escalade de l'île. La descente s'effectue en tirant deux rappels, le deuxième étant accroché sur un arbre en bord de falaise, magnifique! Plus tard dans l'après-midi, Alex et Flo se rendent au camp de Champipis.

Le 17 février, tandis que Jérémie et Franck retournent plonger à la **Résurgence Golondrina**, Natalia, David, Mehdi et Jules partent au camp avancé des Champipis en fin d'après-midi.

Dans un premier temps, ils décident d'aller explorer la Perte des deux Lacs. D'après les reports topographiques, cette cavité pourrait être en relation avec la **Grotte des Pirates** en raison de son emplacement et de l'orientation de la ligne de contact entre les grès et les calcaires qui traverse les deux

grottes. David et Mehdi équipent la cavité. Jules et Natalia suivent pour faire la topographie. Aucun des quatre n'est vraiment très habitué, ni dans l'équipement ni dans la topographie, aussi ils avancent assez lentement. La descente commence par une main courante pour atteindre la paroi verticale où débute le premier rappel de 25 m. L'installation des cordes est faite hors crue, du côté opposé à la cascade. Mais sur la première corniche, l'eau s'est accumulée et se trouve juste à la verticale du rappel, ça goutte sur les spéléologues! À la base du deuxième rappel, de 25 m également, ils atteignent une salle intermédiaire qui mène à un autre puits. Ce dernier paraît profond, mais pour y accéder, il faudrait passer par le côté opposé. La voie directe est dangereuse à cause des blocs cassés instables et des parois très friables, ce qui ne garantit pas la sécurité des spéléologues. Ils n'ont malheureusement plus le temps d'aller plus loin. Pour revenir au camp, les 4 spéléologues empruntent un autre chemin sur le grès pour éviter les passages en forêt. En cette fin de journée, ils peuvent enfin profiter du magnifique paysage sous le soleil couchant. C'est aussi à ce moment qu'arrivent Alex et Flo, suite à leur journée d'escalade dans les cannelures.

Le **samedi 18 février**, Natalia, David, Mehdi se rendent au **Gouffre du Bowling** pour continuer l'exploration au-delà de 100 m (profondeur atteinte le 12 février par une autre équipe). David part en éclaireurs vers l'aval dans un méandre actif assez large et progresse facilement pendant que Natalia et Mehdi font la topographie d'une galerie fossile, côté amont. Natalia réalisera dans cette galerie plusieurs prélèvements de sédiments pour les confier à Matias qui doit réaliser des études de microbiologie.

Jules, Alex et Flo se sont donnés pour objectif la poursuite de l'exploration de la **Perte des Deux Lacs**. Le cheminement depuis le camp jusqu'à la cavité traverse alternativement des zones de lapiaz dénudées et des zones de forêt peu dense. C'est en sortant de cette dernière en sortant de cette dernière barrière végétale que Flo se prend une branche épineuse de

Calafate dans l'œil gauche. La douleur est immédiate et la plaie semble sérieuse. Vaillant, Flo compte malgré tout accompagner ses amis. Il commence même à équiper le puits, mais il doit bien vite laisser Alex aux manœuvres. Celui-ci, décide de poursuivre l'équipement « hors crue » afin d'éviter les nombreuses cascades. Ils atteignent le fond après une descente d'une quarantaine de mètres. Toute l'équipe s'élance alors dans un joli méandre bien arrosé, qui bute malheureusement après une petite centaine de mètres sur un amoncellement de blocs instables. Le cours d'eau se perd à travers celui-ci. La suite est impénétrable, c'est la fin de la **Perte des Deux Lacs**. De retour au camp avancé, le doute s'installe: ils devaient être rejoints le lendemain par Franck et Jérémie pour la poursuite des explorations, mais la blessure à l'œil de Flo semble trop sérieuse pour rester sur ce programme. En accord avec Jules, ils décident finalement de passer la nuit au camp après avoir averti par radio le camp de base de la blessure de Florian. Le lendemain, l'œil de Florian présente un fort gonflement, et, dans ces conditions, il n'est pas envisageable de rester plus longtemps au camp avancé. Ils entament donc leur descente vers la cabane, où Jules pourra sereinement ausculter la blessure. Arrivé à la cabane, le diagnostic est posé: l'œil présente une belle lésion de la cornée, cependant sans gravité.

Également **le 18 février**, Franck et Jérémie continuent la plongée à la **Résurgence Golondrina**. Il faut dire qu'ils sont particulièrement motivés, car la veille, ils ont triomphé du siphon long de 180 m. Derrière, dans la partie exondée, ils ont parcouru à pied sec 200 m dans une galerie côté gauche jusqu'à un autre siphon. Vers la droite, le conduit se prolonge aussi, mais à travers une trémie. Ce samedi, les deux plongeurs sont accompagnés par Richard et Serge. Dans un premier temps, ils déposent Caroline près de la plage où ont été vus la dernière fois les visons d'Amérique. Caroline souhaiterait les filmer. Ensuite, ils peuvent se rendre à la résurgence. Le siphon est franchi par les deux plongeurs en 9 minutes. Puis ils attaquent

▷ La résurgence Golondrina en crue, débit estimé : 30 m³/s.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



la topographie par la galerie de gauche qui est rapidement relevée. Comme la pluie est annoncée dans la journée, les plongeurs guettent les arrivées d'eau et le moindre changement de débit. Une crue rendrait leur sortie problématique. Pour l'instant, tout va bien. Ils passent la trémie, côté droit. Une belle galerie se profile sur au moins 150 mètres de long. Franck en profite pour récolter quelques bestioles cavernicoles : 1 collembole et plusieurs Hadziidae (crustacé). Le bilan de la journée est positif. Franck et Jérémie ont passé plus de 3 heures derrière le siphon et ont réalisé 420 m de topographie. Caroline a pu filmer la famille de visons. De retour à la cabane vers 21 h 30, ils retrouvent Natalia, David, Mehdi et Jules qui rentrent du camp des Champipis.

Le **dimanche 19 février**, Franck part en plongée dans le siphon de la **Grotte des Pirates**, avec l'aide de Jules et d'Alex H. pour l'équipement. Franck plonge rapidement jusqu'à la profondeur de 23 mètres dans une galerie très large. Il déroule tout son fil d'Ariane (environ 95 m) puis est dans l'obligation de faire demi-tour. La galerie continue dans les mêmes dimensions. Au retour, Franck relève la topographie du siphon.

Le **20 février**, la tempête fait rage et il n'est pas question de sortir aujourd'hui. Chacun s'occupe à la cabane. Il y a toujours quelque chose à faire, entre un petit bricolage pour améliorer l'ordinaire ou mettre à jour le carnet de bord, personne n'est désœuvré. Natalia profite de cette journée pour organiser avec la CONAF la venue au Egg des enfants de Puerto Edén les 7 et 8 mars prochains.

Le **mardi 21 février**, la pluie du matin ne motive pas les troupes à mettre le nez dehors ! L'après-midi, un petit groupe (Jules, Jérémie, Alex H., Franck, Richard et Serge) part en direction de la **Résurgence Golondrina**. Avec la pluie de la veille, c'est un véritable flux d'eau qui émerge de la cavité. Le débit est estimé à 40 m³/s. Le groupe se dirige ensuite au-dessus de la résurgence où s'ouvre une petite grotte qui pourrait convenir pour emmener les enfants de Puerto Edén. En effet, l'accès est facile et la grotte ne présente pas de grandes difficultés. Un équipement simple peut être installé pour faire découvrir la progression souterraine aux enfants. La grotte est baptisée **Porche Edén**. La suite de la journée se poursuit dans la **Grotte des Pirates**. Une rapide visite au siphon permet de voir que l'eau

est montée de 4 mètres dans la galerie depuis la dernière plongée. L'équipe part ensuite topographier les galeries basses explorées il y a 10 jours. Environ 250 m de galeries sont ajoutés sur le plan, mais c'est en rampant quasi continuellement. Ce sera la « galerie des lombrics ». Pour rajouter quelques mètres sur le plan, il faut creuser dans la boue, mais un courant d'air aspirant donne du cœur à l'ouvrage : derrière, ça a l'air de s'agrandir. Ça va passer !

Le **mercredi 22 février**, Natalia, Jules, Alex H. et Franck décident d'aller au **Gouffre des Arches Perdues** pour la journée. Toute la matinée, la pluie n'est pas de leur avis et les empêche de quitter la cabane. Finalement, ils profitent d'une éclaircie à 11 h 00 pour partir vers la grotte qu'ils atteignent 2 heures plus tard. Alex, qui connaît bien la grotte (c'est la 5e fois qu'il s'y rend), guide ses 3 camarades. D'abord un puits de 80 m, puis un second de 30 m, ensuite vient un méandre bien étroit. Au bout du méandre, Alex se rend compte qu'il a perdu son descendeur. Il repart en arrière et les autres continuent un moment, puis l'attendent en marquant une pause. Alex tarde puis réapparaît et raconte sa mésaventure. Voulant aller vite, il a déplacé un gros bloc instable

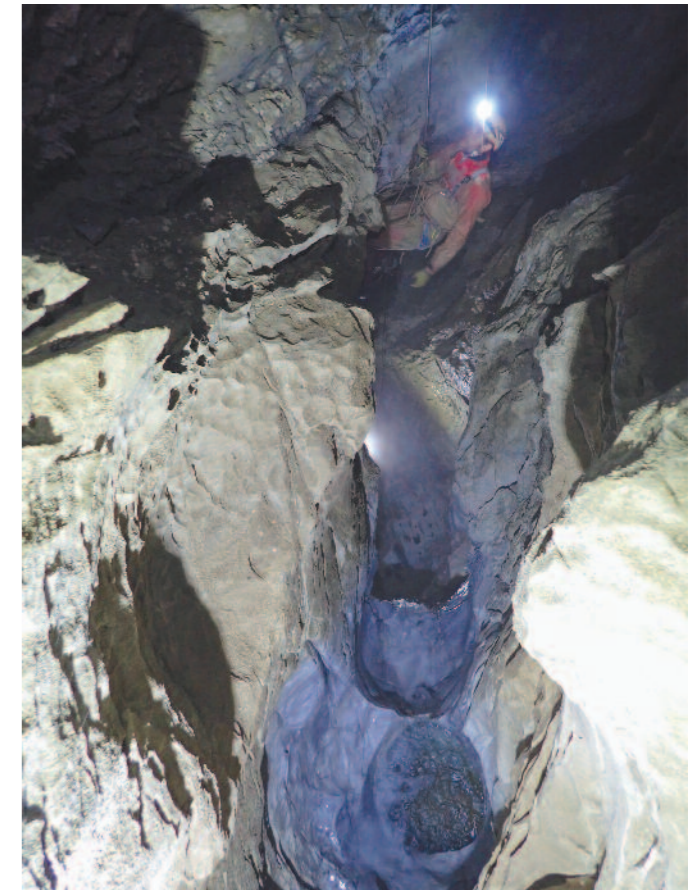
qui lui est tombé sur le pied. Heureusement, il n'a rien ! L'équipe repart et gagne assez rapidement le terminus topographique du groupe précédent. Jules et Alex continuent de topographier la suite des galeries tandis que Natalia et Franck vont explorer un petit puits découvert au-dessus de la rivière. Il aboutit dans une magnifique rivière, parsemée de marmites, qui coule dans le marbre. De nombreux embranchements laissent présager des explorations à venir. À l'aval, la rivière bute sur trois siphons. La profondeur atteinte aujourd'hui est environ 300 m et les topographes ont ajouté 400 m de galeries sur le plan de la grotte. C'est une bonne journée. La remontée vers la surface est aussi tranquille que la descente vers la cabane où Richard et Florian attendent les quatre spéléologues. Ils leur ont préparé un bon festin. Il est 23 h 30.

Durant l'après-midi, profitant d'une éclaircie, Serge, Richard, Jérémie, Caroline, Christian et Florian R étaient montés au camp Nord-Ouest pour refaire le balisage du chemin qui n'était pas parfait. En effet, le chemin qui a été ouvert n'est pas simple et nécessite l'usage d'un GPS. Avec le nouveau balisage, il

suffit désormais de suivre les cairns et les fanions pour arriver sans se perdre au camp avancé. Les premiers à tester ce nouveau balisage sont David et Mehdi qui partent en exploration en fin de journée. Ils passent leur première soirée au camp en tête-à-tête... mais chacun installé confortablement dans une tente.

Le **jeudi 23 février**, Mehdi et David partent faire de la prospection dans la zone au nord du camp. La pluie se met à tomber en continu et chaque rigole ou canalure devient vite un torrent puissant. Il suffit de suivre l'eau pour trouver les pertes, malheureusement inaccessibles par temps de pluie. À la fin de la journée, les deux spéléologues ont parcouru 12 kilomètres et localisé une quinzaine de pertes. La plus éloignée du camp semble se développer profondément et devra être explorée par une autre équipe. La nuit qui suit au camp avancé est agitée : il pleut sans discontinuer et un vent fort souffle en bourrasques. La descente vers la cabane est seulement possible en fin de matinée du 24 février, quand les éléments se calment.

Le **vendredi 24 février**, le temps est tellement pourri que personne ne peut sortir de la



cabane.

Le **samedi 25 février**, profitant d'une légère amélioration météo, Franck, Jules et Alex H. vont terminer la topographie dans les galeries « Pince mi » et « Un caillou dans la culotte » dans la **Grotte des Pirates**. Il s'agit de magnifiques conduites forcées creusées dans le marbre blanc et rosé. Ils prolongent la galerie Pince mi jusqu'à une étroiture boueuse. Franck et Alex sont motivés et creusent dans la boue sur environ 20 m pour arriver finalement dans une galerie plus large où ils progressent encore sur environ 60 m.

Le **26 février**, un petit changement d'équipe devait avoir lieu. Caroline et Christian devaient rejoindre le camp du Barros Luco, mais devant la fureur des éléments, le transfert en zodiac n'est pas possible. Les deux cinéastes restent donc au camp Egg jusqu'à la fin de l'expédition. Cela fait deux jours que la tempête s'est levée. Les rafales se font sentir à travers les murs de la cabane. Le bois craque, mais la structure tient le coup. Le groupe s'adapte à nouveau à la vie confinée. Les journées passent vite grâce à la bonne humeur de chacun.

Le soir, le temps redevient plus

△ Progression dans les puits des Arches Perdues.
Photo © Franck Bréhier, Centre Terre.

◁ Départ sous la pluie pour le gouffre des Arches Perdues.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

▷ Il pleut tellement fort qu'il nous est impossible de sortir de la cabane.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



d'eau et qu'une d'entre elles se serait probablement envolée au prochain coup de vent. Natalia décide donc de déplacer le camp à l'endroit qu'elle avait repéré avec Arnaud et Laurence en janvier. Le nouveau camp est plus abrité et se situe à côté des champignons. Ensuite, Richard fait de nombreuses photos des champignons et des comètes. Il remarque un phénomène particulier: un champignon dont le bloc aurait basculé pour former un second champignon juste à côté du premier pied qui subsiste à l'état de vestige.

De retour au camp de base, une mauvaise nouvelle attend Natalia: les enfants de Puerto Edén ne pourront pas venir à Madre de Dios le 6 mars. En effet, le bateau de la CONAF, le Yepayek, qui devait les amener est actuellement ancré à Puerto Natales et ne pourra pas quitter le port avant **le 7 mars**. Ce qui veut dire qu'il n'arriverait à l'estero Egg que le 9 ou 10 mars. Or le 10 mars, c'est la date de la fin de l'expédition et l'équipe aura quitté Madre de Dios. Elle sera déjà arrivée à Puerto Edén pour charger le conteneur. La déception est grande aussi bien chez les enfants de Puerto Edén qu'ici, au camp du Egg.

À la vacation radio habituelle de fin de journée, Natalia discute avec Jules. Il est au camp Nord-Ouest depuis le matin avec Alex H., David et Flo R. Ils ont pu explorer deux gouffres aujourd'hui: la **Traversée de l'Indécision** et la **Grande Faille du Bout du Monde**.

calme et David, Jules et Franck vont tourner des images de la Résurgence Golondrina en crue. Un énorme champignon d'eau douce secoue la surface de la mer. Le débit d'eau sortant du siphon est estimé à 40 m³ par seconde.

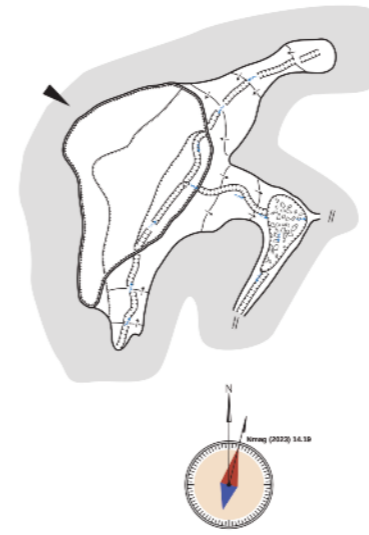
Le 27, suite aux dernières journées très agitées et aux grosses quantités de pluie tombée, il est décidé qu'une équipe aille vérifier l'état du camp de Champipis avant qu'une autre équipe ne remonte

s'y installer. Ce seront Natalia, Mehdi et Jérémie qui se chargeront de faire cet état des lieux. La journée est belle avec peu de vent et presque pas de pluie. Le soleil fait même son apparition entre deux nuages. Dans la montée, ils rattrapent Caroline, Christian, Richard et Serge qui allaient faire des photographies des champignons de roche. Tout ce beau monde décide d'aller au camp, puis de se rendre au secteur des champignons. Arrivés au camp, ils constatent que les tentes sont remplies

Grande faille du bout du monde / 106062 Estero Egg, Bien Nacional Protegido Archipiélago Madre de Dios

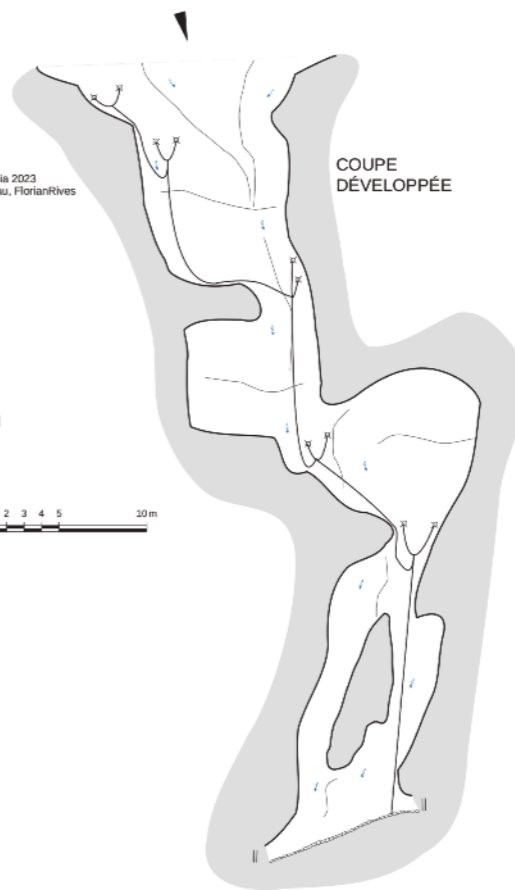
Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84):
X : 488459
Y : 4453989
Z : 244 m

Développement / Desarrollo : 56 m
Dénivellation / Desnivel : 43 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Última Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Alexandre Honiat, Jules Clouzeau, FlorianRives
Report et dessins / Descripción y dibujos : Alexandre Honiat



PLAN

0 1 2 3 4 5 20 m

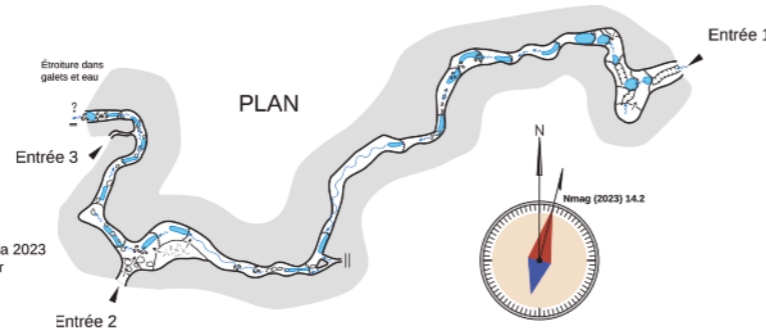


COUPE DÉVELOPPÉE

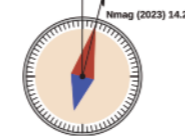
Traversée de l'Indécision / 106063 Estero Egg, Bien Nacional Protegido Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84):
X : 488092
Y : 4453227
Z : 280 m

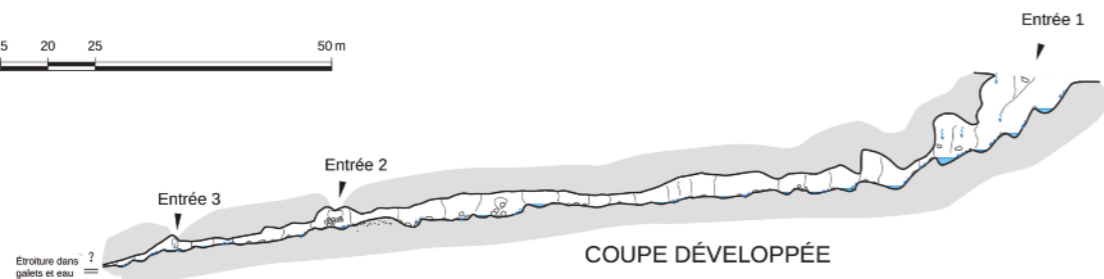
Développement / Desarrollo : 108 m
Dénivellation / Desnivel : 19 m
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Última Patagonia 2023
Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Alexandre Honiat, David Meunier
Report et dessins / Descripción y dibujos : Alexandre Honiat



PLAN



0 5 10 15 20 25 50 m



COUPE DÉVELOPPÉE

Le 28 février, Jules, Alexandre, David et Florian retournent dans la zone éloignée au nord du camp, surnommée le Bout du Monde. Ils vont voir une résurgence débouchant dans un immense canyon. C'est un énorme porche d'où jaillit une cascade de 3 mètres de haut. Alex escalade et entre dans la cavité qui n'est pas très large. La galerie se transforme en méandre étroit: l'exploration s'arrête ici. Puis Jules et Alex grimpent dans l'éboulis situé sous le porche. Seul Alex continue car le terrain est très instable. Il pénètre dans une galerie fossile située au-dessus de la rivière. Il y a des concrétions incroyables. Malheureusement, là encore, la galerie s'amincit et Alex ne peut pas aller plus loin. L'après-midi, les spéléologues prennent un peu de hauteur en montant sur un sommet proche. En haut, la vue est dégagée et ils réalisent que plusieurs canyons convergent vers une même zone dans la forêt. Vu la quantité d'eau qui s'engouffre dans la forêt, il doit y avoir une grosse perte. Il suffit donc de suivre le canyon exploré le matin pour trouver cette perte. La progression dans la forêt est relativement facile et la perte apparaît rapidement, gigantesque et magnifique. La décision est prise d'équiper. Alex

et Flo partent en tête, David et Jules suivent pour topographier les lieux. Ils descendent un premier puits de 25 m de profondeur, totalement nettoyé par l'eau.

Aujourd'hui il ne pleut pas et la cavité n'est pas en crue. Ils passent ensuite par une étroiture qui débouche dans un méandre. Cependant, l'heure est tardive et le groupe fait demi-tour. Il faudra continuer l'exploration plus tard, mais toujours par temps sec pour éviter les crues. L'équipement très collectif de la main courante inspirera le nom donné à cette nouvelle cavité « un cône por favor ». Le groupe retourne au camp avancé pour faire les sacs et casser la croûte puis redescend à la cabane du Egg.

Le 1^{er} mars, Flo R., Sergio et Natalia vont déséquiper la Cueva Edén et prendre des photos. Ils en profitent également pour topographier la cavité.

Ce jour également, Jérémie et Franck vont plonger la Résurgence Golondrina. Ils ont tout préparé la veille pour être d'attaque tôt le matin. Cependant, Franck s'est fêlé une côte. Comme le temps est plutôt clément, il va tout de même tenter la plongée. Un message radio de Serge leur indique qu'il n'y a pas de champignon à la surface de

la mer. Une fois sur place, les plongeurs constatent que le débit reste fort, mais le siphon est plongeable. Le fil d'Ariane est cassé en plusieurs endroits, il faut le rabouter. Ils avancent contre un courant de plus en plus violent à mesure que le conduit s'affine. Au point bas, il faut littéralement se tracter en s'accrochant au fond. Ils arrivent finalement à émerger du siphon. Le niveau de l'eau est plus haut que la dernière fois. Les crues ont effacé leurs traces de pas sur le sable. Jérémie et Franck filent directement au dernier point visité et commencent à topographier les lieux jusqu'à un nouveau siphon après une bifurcation. Demi-tour, ils retournent au croisement et empruntent l'autre galerie où ils peuvent suivre un courant d'air. Ils entendent des « glou-glou » (dixit Franck) un peu partout sous leurs pieds et pensent que c'est le niveau d'eau qui baisse, mais rien n'est sûr. La galerie est magnifique, creusée dans le marbre tout propre, nettoyé par les crues. Les plongeurs ne sont pas sereins et préfèrent rebrousser chemin. Il ne faut pas jouer avec la météo, une crue pourrait les surprendre. Dans le siphon, le retour est plus facile qu'à l'aller car le débit a baissé. Il n'aura pas plu durant cette sortie. Les plongeurs ont



◀ Un grand porche à explorer près du camp Nord-Ouest.
Photo © Jules Clouzeau, Centre Terre.

pu profiter de cette courte fenêtre météo favorable. La pluie prévue arrive dans la nuit et le lendemain la résurgence n'est pas plongeable. Il y a désormais 258 m de galeries exondées post siphon qui sont topographiées et la cavité développée une longueur totale connue de 678 m.

Le 1^{er} mars, une sortie en fin d'après-midi pour la **Cueva No Time** est programmée. Elle avait déjà été visitée lors de l'expédition de 2008. Caroline, Jérémie, Mehdi et Franck vont donc vers un petit porche qu'ils pensent être l'entrée, situé au-dessus d'une résurgence à l'est de la cabane. Mais la galerie bute quasi immédiatement sur un siphon. Les spéléologues vérifieront les coordonnées de l'entrée le soir à la cabane. Il s'avère en réalité que la grotte se trouve de

l'autre côté de la baie. Plus haut dans la falaise, il y a cependant un autre porche, à une altitude d'environ 70 à 80 mètres. Il s'agit d'une jolie petite grotte. Après 50 m d'exploration, il faudra escalader, une autre fois, mais le courant d'air dans le boyau indique une suite à explorer. La blancheur des parois donnera le nom de la cavité : **Casablanca**. Dans l'après-midi, le No te Rindas arrive dans la baie face à la cabane. Il partira bientôt chercher l'équipe du Barros Luco.

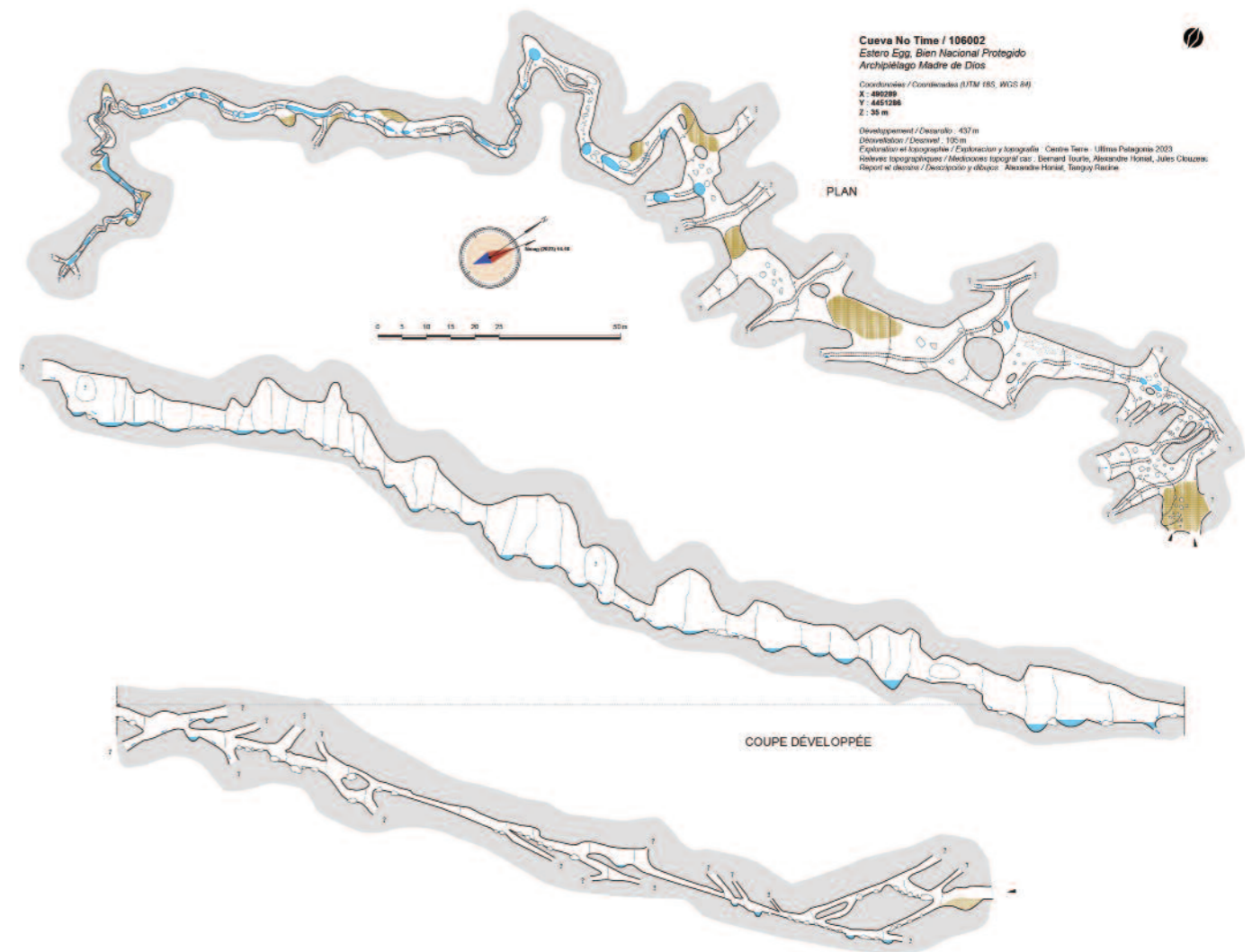
Le 2 mars, Franck et Caroline réalisent une plongée en mer. Franck ne fait pas de spéléo aujourd'hui, car sa côte fêlée lui fait encore mal. Le départ a lieu depuis la base de plongée. La plongée dure 45 minutes à une profondeur de 32 m. Ils peuvent observer quelques animaux

marins sur le fond (poulpe, oursins...), mais globalement il y a peu de vie dans le secteur.

Le 3 mars, nouvelle excursion dans la **Grotte des Pirates** pour Natalia et Franck. Une plongée dans la **Résurgence Golondrina** était envisagée, mais il y a encore trop de débit à la sortie du siphon qui n'est pas plongeable. Natalia et Franck partent donc topographier les galeries découvertes plus tôt par Jules et Alex H. Ils topographient dans un premier temps une jonction entre deux galeries soit 149 m exactement. En rentrant, ils tentent de trouver une entrée supérieure à la grotte, au-dessus du porche. En grimant au-delà des traces laissées par des explorations antérieures, ils finissent par trouver un passage un peu étroit qu'il faut désobstruer en creusant un peu. Mais ça passe. Cette entrée supérieure se situe à une cinquantaine de mètres au-dessus du niveau marin. Cette exploration montre qu'il y a encore beaucoup de galeries et de passages à découvrir dans cette grotte.

Dans l'après-midi, une équipe composée de David, Florian, Alex et Jules monte au camp Nord-Ouest. L'objectif est d'explorer le **gouffre du Rêve Éveillé** en fin de journée. Le gouffre se situe tout au nord de la zone de prospection accessible depuis le camp avancé. Il s'agit d'une perte majeure qui ouvre l'accès à un magnifique méandre creusé dans le marbre gris et blanc. L'exploration débute dans des conditions défavorables car la pluie ne cesse de tomber. Un torrent d'eau s'engouffre déjà dans la **perte du Rêve Éveillé**. Ils progressent ainsi sur une centaine de mètres dans une ambiance très aquatique. Malheureusement, dans les souterrains les rêveurs sont perdants et les quatre spéléologues, confrontés à un début de crue, sont contraints à faire demi-tour.

Le 4 mars, après la réparation du moteur du bateau rigide de l'équipe du Egg, le Tempanos, Jérémie, Serge, Christian et Franck partent en mer pour essayer celui-ci en navigation. Juste en face de la cabane, dans la baie, ils remarquent quelques remous à la surface de l'eau qui



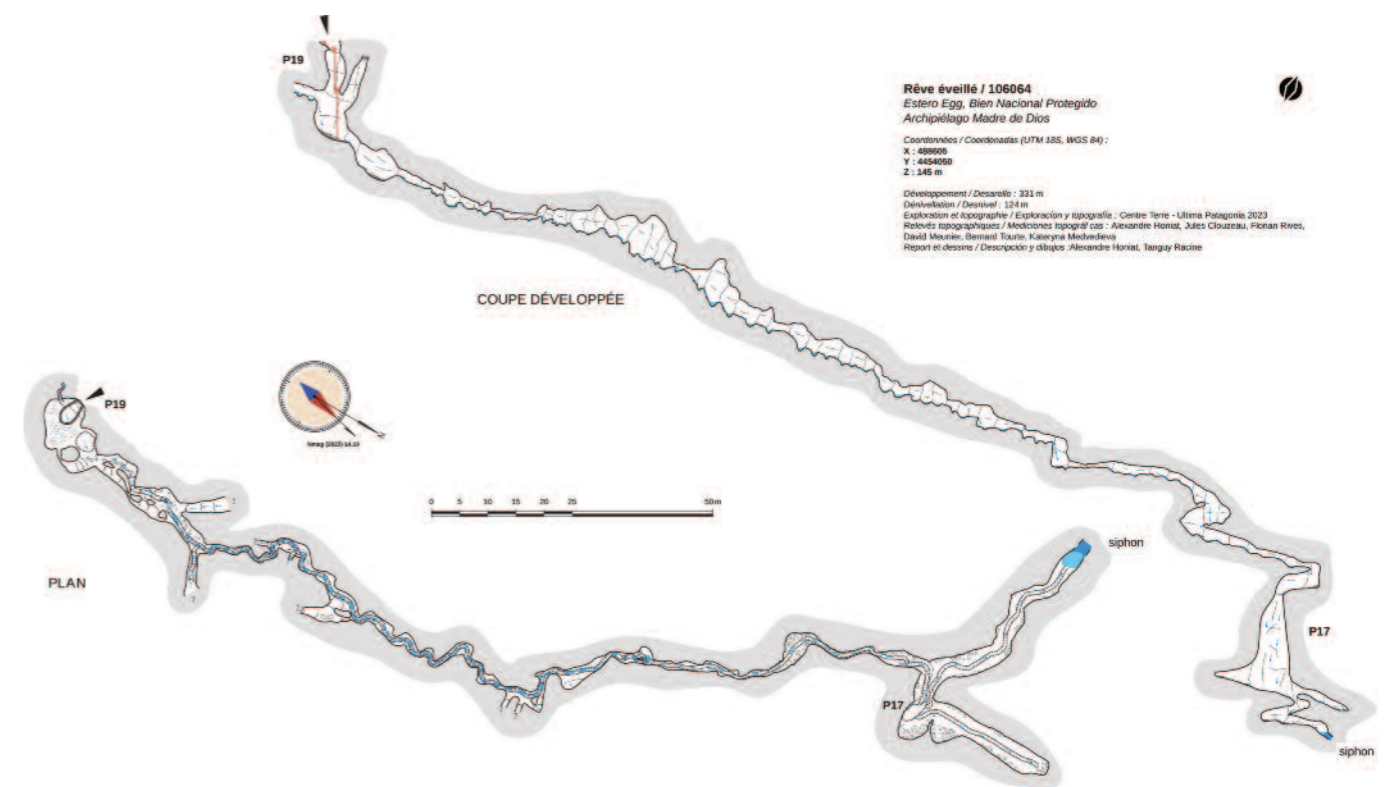
étaient jusqu'alors passés inaperçus. Il y a une résurgence sous-marine. Personne ne l'avait remarquée bien qu'elle soit sur le trajet de la **Résurgence Golondrina**. Que d'essence utilisée pour aller plonger

Golondrina alors qu'on avait une résurgence là-devant, sous nos pieds. Le nom est tout trouvé : **Résurgence Gazolina**!

Le 4 mars, c'est aussi le retour de l'équipe du Barros Luco. Une

partie arrive en traversant à pied une bande de terre de Madre de Dios, et l'autre partie par la mer à bord du No te Rindas.

Le 5 mars, suite à la découverte de la **Résurgence Gazolina**,





◁ L'entrée du gouffre du Réve Éveillé.

◁ L'eau s'engouffre dans les puits du Réve Éveillé.

Photos © David Meunier, Centre Terre



l'équipe plongée (Clément, Franck, Serge et Caroline) décide d'aller faire une reconnaissance. Cependant les conditions météo ne sont pas très favorables et la résurgence risque d'être en crue. Effectivement, le verdict tombe rapidement: le débit est trop fort à l'entrée du siphon et bien que la voûte soit parfaitement visible, la grotte est encombrée de blocs effondrés. Ça ne passera pas. Les plongeurs se rabattent donc sur la **résurgence sous la Grotte des Pirates** et rejoignent le point atteint lors de la dernière plongée. Le passage qui suit est bas, mais pénétrable. Il faudra revenir.

Le 6 mars, l'équipe de naturalistes de Centre Terre (Gonzalo, Jaime et Matias, accompagnés de Jérémie, Caroline et Serge) part en fin de journée poser des filets pour attraper des chauves-souris. Ils déploient 51 mètres de filets entre les porches de la Grotte des Pirates et celle de la Cueva Edén. Les chauves-souris sont susceptibles de faire des allers-retours entre ces deux grottes. Les filets sont relevés vers 23 heures avant que la marée ne descende trop car la zone sera inaccessible. Aucun chiroptère ne sera attrapé cette fois-ci, mais 3 colibris (picaflors) se seront fait piéger. Ils sont bien sûr libérés après quelques observations biologiques.

Le 6 mars, Jules, Flo R., Alex H., David et Charlotte partent un peu tard de la cabane (vers

15 heures) pour la **Grotte des Pirates**. Leur objectif est double: faire une escalade et récupérer des instruments de mesure laissés dans la grotte en 2008. Ils se rendent dans la partie la plus profonde de la grotte, au niveau du secteur « Water World ». L'équipe se sépare au niveau de la « Stal Chamber ». Alex et Jules filent vers l'escalade tandis que Charlotte, Florian et David cherchent le logger (enregistreur) de température et les plaquettes de verres (censées enregistrer la précipitation de calcite) laissés par les spéléologues anglais en 2008, sur le lieu de prélèvement d'une stalagmite. C'est la troisième tentative de Charlotte pour retrouver ces instruments. Depuis février, elle a contacté les

Anglais qui lui ont donné plus d'informations. Et ça paye, le logger est rapidement retrouvé. Les plaques de verre sont laissées en place, car aucune trace de précipitation de calcite à leur surface n'a eu lieu depuis 15 ans. Charlotte prélève également quelques échantillons d'eau qui goutte des stalactites. Puis l'équipe se met en route pour rejoindre les grimpeurs. En chemin, ils repèrent un plan incliné d'argile très glissant, mais décident de ne pas le monter.

La sortie du lendemain montrera qu'il est connecté à l'escalade entreprise de l'autre côté. Alex et Jules ont commencé leur escalade. Ils ont déjà grimpé 10 m quand la batterie de leur perforateur donne des signes de faiblesse. Il est impossible de continuer, ils reviendront. La sortie s'effectue en courant pour se réchauffer. Dehors, une dernière tâche attend les spéléologues: extirper le zodiac des broussailles de la côte. C'est Alex et Jules, en combinaison étanche, qui s'en chargent. L'équipe rentre à la cabane vers 21 heures.

Le 6 mars, une autre équipe est partie pour le camp des Champipis en fin d'après-midi. Il s'agit de Nicolas, Amandine, Denis et Gwladys. Ils mettront 4 heures à atteindre le camp à cause des mauvaises conditions météorologiques et de quelques égarements en chemin. Des averses de grêle, de pluie et des bourrasques dépassant les 100 km/h rendent la progression, avec les sacs chargés, difficile et risquée. Une des trois tentes du camp ressemble plus à une piscine



▷ Jaime et Gonzalo déploient leur filet pour éventuellement attraper des chauves-souris en vue de les identifier.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre



◁ La deuxième visioconférence en direct de Madre de Dios.

Photo © Jules Clouzeau, Centre Terre.

qu'à une tente. Ils la vident avec une casserole et s'installent tous à l'intérieur pour prendre le repas en commun.

Le lendemain, le **7 mars**, les quatre spéléologues partent sous la pluie et les bourrasques en direction du **Gouffre du Bowling**. L'eau s'engouffre dans la perte tel un torrent déchaîné. Denis prend en charge l'équipement. Il est suivi par Gwladys, Amandine et Nicolas. Arrivés au départ du second puits, un amarrage casse, puis la déviation qui était juste au-dessus de Gwladys. Armée de son perforateur, elle refait l'équipement et plante le premier « pulse » (type d'amarrage) de sa carrière de spéléo. Ensuite, Gwladys et Nicolas prennent la tête de l'exploration sous des cascades de plus en plus intenses. Ils atteignent cependant la base du deuxième puits. Denis, resté un peu plus haut, ne peut plus avancer tellement il tombe de l'eau dans la grotte. Tous décident alors de remonter. Amandine, qui part la première, perd son petit sac de ceinture. La sangle a cassé. Le sac contient le disto et son téléphone. C'est Nicolas qui réussit à le récupérer 30 mètres plus bas moyennant quelques contorsions sur des blocs instables. Le retour au camp avancé s'effectue encore sous la pluie.

Le 8 mars, le soleil brille au lever des quatre spéléologues du

camp des Champipis. Ils démontent le camp puis vont admirer le paysage et le champ de comètes et champignons de roche. Ils ont été rejoints par Christophe et les trois Chiliens, Gonzalo, Jaime et Matias. Ils sont venus également voir les champignons et aider au démontage du camp. Au retour vers la cabane du Egg, Amandine profite du beau temps pour faire des observations et des relevés géologiques.

Pendant ce temps, au camp de base du Egg, c'est un temps fort de l'expédition qui se prépare dès l'aube (**le 7 mars**). Toute l'équipe a en effet rendez-vous à 10 heures pour une visioconférence avec des classes situées en France qui suivent l'expédition UP-2023 à travers divers projets scolaires. Malheureusement, aujourd'hui c'est jour de grève en France! Cependant, les classes et le rectorat de Toulouse, tous fortement engagés vis-à-vis de ces temps d'échanges riches en partages et émotions, répondent bien présents à l'appel! Après une courte visite de la cabane par webcam, Bernard et l'équipe du rectorat de Toulouse composée d'Anne-Laure, Karine et Vincent, ouvrent le bal des réponses aux questions posées par les élèves. Richard commence en expliquant pourquoi avoir choisi Madre de Dios pour cette expédition. C'est ensuite au tour de Florian R., Franck et Alex H. de raconter leur meilleur

souvenir d'exploration sur l'Estero Egg, suivis de Laurent et Charlotte pour le Barros Luco. Clément, Alex et Jérémie répondent à plusieurs questions techniques sur les températures à Madre de Dios ainsi qu'à l'intérieur des grottes. Les différents instruments de mesure scientifiques utilisés pendant l'expédition sont présentés (pluviomètre, capteur-enregistreur, disto-X, carotteuse, etc.) ainsi que la singularité des glaciers marbres et du karst de Madre de Dios. Caroline présente son travail et son matériel pour filmer en tant que camera-woman. Natalia donne des nouvelles des enfants de Puerto Edén et raconte la déception de ne pas avoir pu les accueillir. Ils auraient pu échanger avec les écoliers français aujourd'hui. Riche d'une quinzaine de questions, la visioconférence se termine au bout d'1 h 30 d'échange.

L'après-midi, Franck réalise une nouvelle plongée dans le siphon de la Grotte des Pirates (**le 7 mars**). Il est aidé par David et Florian R. pour transporter son matériel de plongée jusqu'au siphon. David et Flo vont ensuite terminer l'escalade commencée la veille. Le niveau de l'eau est plus haut d'environ 1,20 m par rapport à la plongée précédente. Le courant est fort et la visibilité relativement moyenne. Franck atteint son précédent terminus, aujourd'hui à -15 m, le courant vient de droite. Il

Système de la grotte des Pirates / 106001

Estero Egg, Bien Nacional Protegido
Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées du Porche d'entrée / Coordenadas del Porche de entrada (UTM 18S, WGS 84) :

X : 490150
Y : 4452330
Z : 10 m

Coordonnées de la Résurgence / Coordenadas del Resurgimiento (UTM 18S, WGS 84) :

X : 490177
Y : 4452360
Z : 0 m

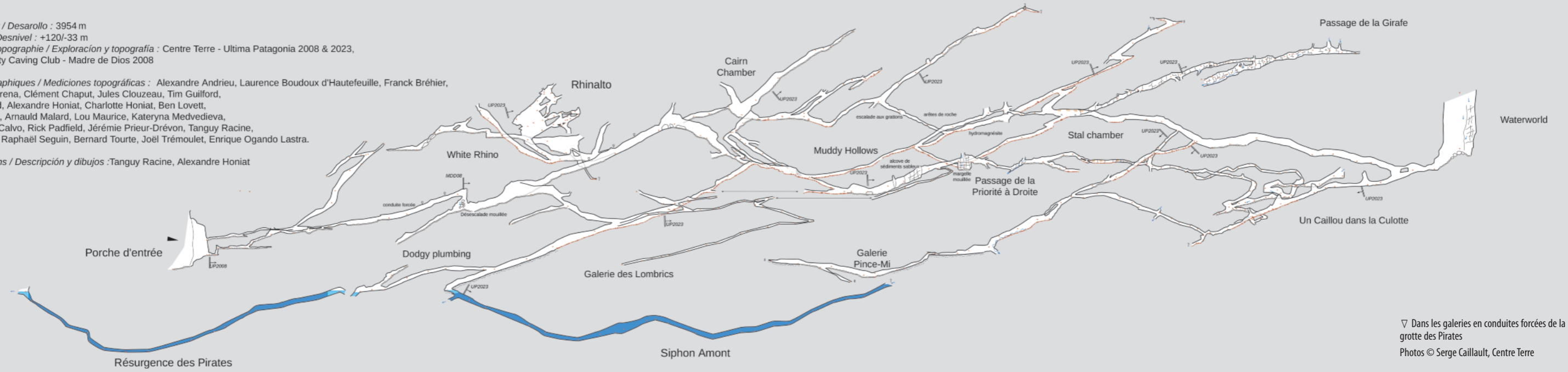
Développement / Desarrollo : 3954 m

Dénivellation / Desnivel : +120/-33 m

Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2008 & 2023,
Oxford University Caving Club - Madre de Dios 2008

Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Alexandre Andrieu, Laurence Boudoux d'Hautefeuille, Franck Bréhier,
Marta Candel Urena, Clément Chaput, Jules Clouzeau, Tim Guilford,
Simon Headford, Alexandre Honiat, Charlotte Honiat, Ben Lovett,
Christine Magot, Arnaud Malard, Lou Maurice, Kateryna Medvedieva,
Natalia Morata-Calvo, Rick Padfield, Jérémie Prieur-Drévon, Tanguy Racine,
Cédric Roques, Raphaël Seguin, Bernard Tourte, Joël Trémoulet, Enrique Ogando Lastra.

Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine, Alexandre Honiat



▽ Dans les galeries en conduites forcées de la grotte des Pirates
Photos © Serge Caillault, Centre Terre



Système de la grotte des Pirates / 106001

Estero Egg, Bien Nacional Protegido
Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées du Porche d'entrée / Coordenadas del Porche de entrada (UTM 18S, WGS 84) :

X : 490150
Y : 4452330
Z : 10 m

Coordonnées de la Résurgence / Coordenadas del Resurgimiento (UTM 18S, WGS 84) :

X : 490177
Y : 4452360
Z : 0 m

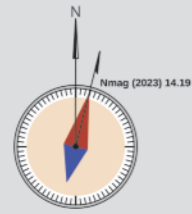
Développement / Desarrollo : 3954 m

Dénivellation / Desnivel : 154 m (+127 m / -27 m)

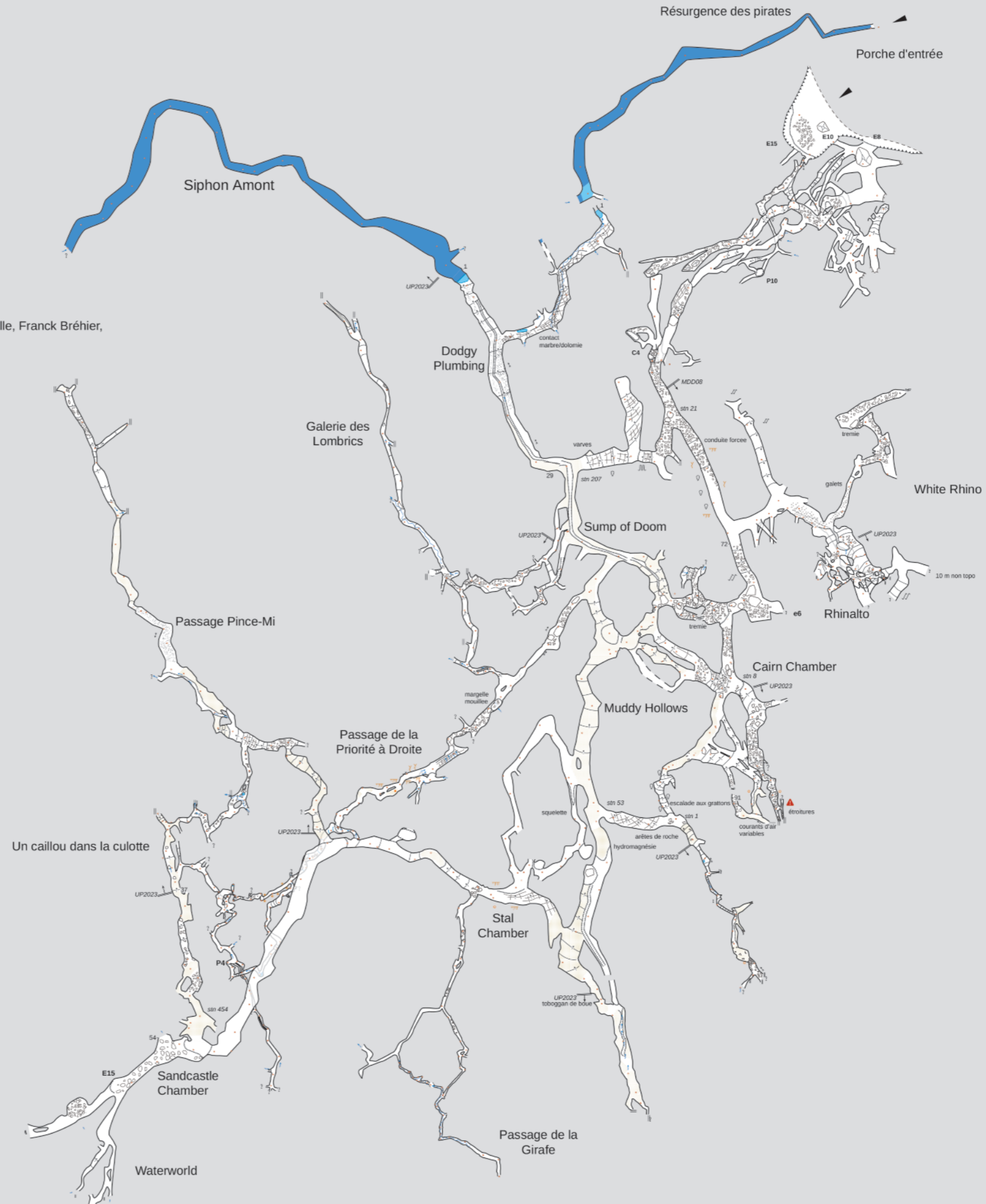
Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Ultima Patagonia 2008 & 2023,
Oxford University Caving Club - Madre de Dios 2008

Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Alexandre Andrieu, Laurence Boudoux d'Hautefeuille, Franck Bréhier, Marta Candel Urena, Clément Chaput, Jules Clouzeau, Tim Guilford, Simon Headford, Alexandre Honiat, Charlotte Honiat, Ben Lovett, Christine Magot, Arnaud Malard, Lou Maurice, Kateryna Medvedieva, Natalia Morata-Calvo, Rick Padfield, Jérémie Prieur-Drévon, Tanguy Racine, Cédric Roques, Raphaël Seguin, Bernard Tourte, Joël Trémoulet, Enrique Ogando Lastra.

Report et dessins / Descripción y dibujos : Tanguy Racine, Alexandre Honiat



△ Porche d'entrée de la grotte des Pirates
Photo © Serge Caillault, Centre Terre



redescend ensuite vers - 20 m puis la galerie remonte à -8 m. Elle se ramifie en deux conduits : un qui remonte, l'autre qui part à droite. Franck emprunte celui de droite, la suite lui semble plus probable par là. Le courant est moins fort et la galerie se prolonge à l'horizontale. S'il veut topographier ces galeries, il doit bientôt faire demi-tour pour garder de l'air dans ses bouteilles. Il fait encore 10 m, puis commence à rembobiner son fil d'Ariane. Arrivé à la bifurcation, il prend le conduit qui remonte. Le courant devient quasi nul et la surface de l'eau apparaît. Le plongeur arrive dans un beau volume avec une arrivée d'eau, mais il n'y a pas de gros conduit en vue, seulement une galerie étroite que Franck parcourt sur une cinquantaine de mètres. Au retour, Franck topographie les galeries et le siphon qui mesure 207 m. Franck renoncera à explorer l'aval du siphon car le courant est trop fort. Il retourne à l'entrée de la grotte pour attendre Florian et David qui devraient avoir bientôt terminé leur escalade. Ils arrivent au bout d'une heure, complètement détrempés et déçus, car l'escalade aboutit sur une galerie impénétrable et d'après Florian, « c'était de la merde ! ». Il n'y a pas de suite en haut. Peu de temps après, un groupe avec Charlotte, Katia, Matias, Jaime et Gonzalo sort de la grotte. Les deux filles et Serge accompagnaient les trois Chiliens pour une sortie de découverte de la spéléologie (Jaime était toutefois allé au **Gouffre du Jackpot** la semaine dernière). Katia propose à nos trois amis de rentrer les premiers dans la grotte avec la topographie pour qu'ils essaient de trouver le chemin jusqu'à la « Stal Chamber ». Ils se débrouillent comme des chefs dans ce dédale labyrinthique, car même un spéléologue aguerri peut tourner en rond avec toutes ces galeries qui se coupent et se recoupent. Cependant, le groupe s'égaré quelquefois, mais arrive à destination après plusieurs arrêts photo sur le chemin. Serge photographie de belles galeries avec des cupules et des traces hydromagnésite sur le sol et les plafonds. À la « Stal Chamber », Charlotte récupère l'enregistreur installé par Alex un mois plus tôt. Elle prélève aussi, pour Richard, un morceau



△ Charlotte observant les traces hydromagnésite.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

▽ Le gouffre No Time est particulièrement aquatique.

Photo © Bernard Tourte Centre Terre

de paléo-sol, très altéré de couleur rouge. Pendant ce temps, Katia, Gonzalo, Matias et Jaime se baladent dans la grotte et repèrent les endroits les plus photogéniques afin que Serge puisse exprimer tout son talent de photographe. Avant la sortie, Charlotte récupère le dernier enregistreur qui était près de l'entrée. La sortie de cette grotte est toujours aussi incroyable avec

une vue sur la belle plage de sables dolomitiques blancs et les chenaux de couleur vert/bleu de la marée basse. Au revoir la **Grotte des Pirates**, on reviendra peut-être dans quelques années...

D'ailleurs, en parlant de marée basse, il va falloir dépendre ce zodiac qui est perché dans un arbre tombé dans l'eau. Un beau travail d'équipe en perspective. Charlotte, Katia, Matias, Jaime, Gonzalo, Florian, David, Franck et Serge seront de retour à la cabane vers 20 h 30.

Toujours le **7 mars**, une dernière équipe, avec Bernard, Alex H. et Jules, est partie à la recherche de la **grotte No Time**; une grotte découverte lors de l'expédition UP-2008, mais peu explorée. Après 20 minutes de recherche, ils retrouvent assez facilement l'entrée perchée à 6 m de hauteur. Une fois sous terre, le trio oriente sa progression dans un premier dédale de galeries, en suivant les courants d'air et les grondements des cascades. Très vite, Bernard présente lors de l'exploration de cette cavité en 2008, se rend compte que le parcours d'aujourd'hui n'a finalement rien

à voir avec celui exploré précédemment. Coup de chance, l'équipe vient de découvrir un collecteur constitué d'un enchaînement de cascades, dans lequel elle progresse rapidement.

En moins de deux heures, 450 m de rivière sont ainsi topographiés pour un dénivelé de plus de 100 m, avec un arrêt temporaire sur une nouvelle cascade à remonter. Le croquis réalisé en 2008 de l'étage inférieur faisait 640 m de développement auxquels s'ajoutent les 450 m topographiés ce jour portant ainsi le réseau à plus d'un kilomètre. Il faudra revenir, car plusieurs branches remontantes restent encore à explorer.

Le soir, tout le monde se retrouve autour d'un repas préparé par Laurent et Clément. Le Chef décernera une mention spéciale pour les délicieuses tartes Tatin de Clément.

Mais toute l'équipe pense déjà au lendemain. Ce sera en effet la dernière journée d'exploration du karst de Madre de Dios. L'expédition touche à sa fin. Il est bientôt temps de faire les valises...



△ Nos trois amis chiliens dans la grotte des Pirates.

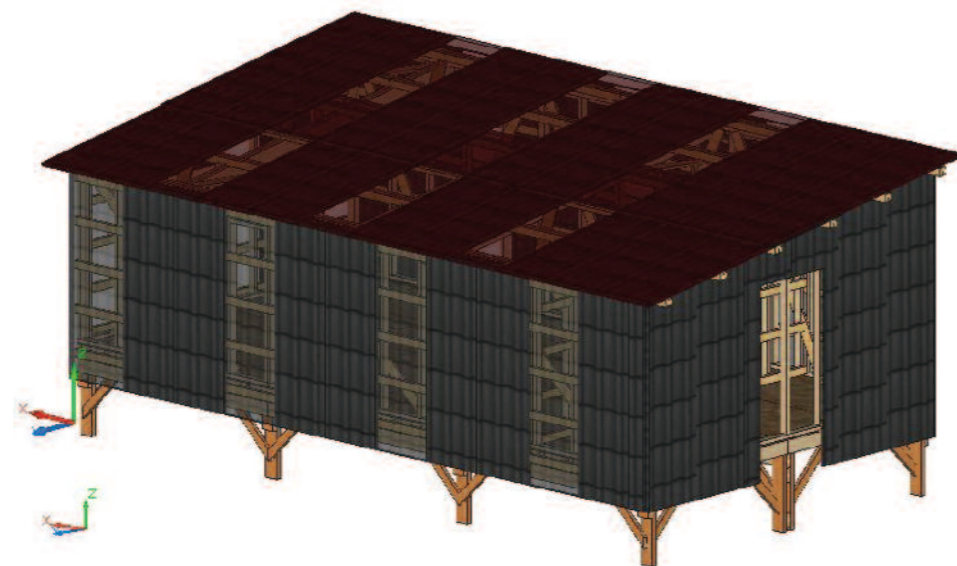
▽ Au fond de la baie, le gouffre No Time.

Photos © Serge Caillault, Centre Terre



Une nouvelle cabane à Madre de Dios

Cédric ROQUES & Nicolas FOULLAND



▷ Visualisation 3D de la cabane.
Photo © Cédric Roques, Centre Terre.

Ultima Patagonia 2023 se fixe l'objectif d'implanter son camp de base sur une nouvelle zone de Madre de Dios. Cela implique d'organiser toute la logistique similaire aux organisations précédentes, mais propre à ce nouveau lieu. Après des repérages réalisés en 2020, la décision est prise de construire une base de vie au fond de l'estero Egg, sur la côte nord de l'île. L'implantation de la base de vie est principalement guidée par Florian C. et Bernard à la suite du repérage effectué en 2020. Les objectifs sont posés : il faudra construire une cabane et un platelage pour les tentes-dortoirs. Les tentes logistiques seront posées à même le sol.

Pour ce qui est des constructions, Nicolas et Cédric sont missionnés pour la partie

construction bois. Pour eux, tout part d'une feuille blanche, et tous deux sont novices en connaissance de la puissance et des contraintes que les éléments climatiques australs peuvent réserver sur ce petit bout du monde !

En ce qui concerne le platelage des tentes-dortoirs, nous nous fixons un cahier des charges précis : fabriquer des modules identiques qui puissent être multipliés facilement. Le choix est fait de réaliser une forme carrée de trois mètres de large, constituée de chevrons parallèles vissés sur des lisses et contreventés par en dessous. Les modules seront implantés à l'avancement de la construction. Les altimétries seront réglées à l'aide de pieux enfoncés dans le sol ou directement fixés au rocher. Une fois la structure

terminée, un plancher constitué de planches de 25x150 mm sera fixé à claire voie pour laisser s'évacuer l'eau. La stratégie constructive du platelage des tentes-dortoirs est rapidement actée. Cette solution semble la plus simple et la plus efficace à mettre en œuvre.

Pour la cabane, ce sera un peu plus complexe du fait des nombreuses contraintes posées : trouver un système constructif efficace, répondre aux aléas climatiques parfois violents, répondre aux besoins de l'expédition. Nicolas commence par tirer les grands traits de la construction sur le papier. Il faut définir tous les besoins que la cabane doit réunir : espace radio/sécurité/bureautique, espace cuisine, espace salle de bain, espace stockage matériel, implanter le poêle à bois... Les

échanges au sein d'un petit groupe de travail et la présentation lors d'une réunion préparatoire de l'expédition permettront de faire évoluer les premiers dessins. L'expérience des expéditions précédentes permet d'apporter également quelques aménagements pratiques et de confort primordiaux.

Le choix structurel et architectural est défini. Nous devons désormais prendre connaissance des différents formats des matériaux que nous pourrions trouver au Chili. Du fait du choix d'une construction minimaliste, le type de matériaux se résume à trois éléments : des chevrons de bois, des plaques de contreplaqué, des tôles d'acier pour l'étanchéité. Natalia apporte les informations après de nombreuses recherches et grâce aux listes de matériaux que nous lui fournissons. Toutes ces informations réunies, nous pouvons passer à la réalisation des plans de fabrication. Cédric peut réaliser la mise en forme sur un logiciel de dessin ; les vues en 3D sortent et nous pouvons presque nous imaginer dans la cabane...

À quelques mois du départ, les commandes sont passées auprès des fournisseurs locaux de matériaux et d'un scieur pour l'ensemble des pièces de bois.

Top départ de l'expédition... et arrivée à Puerto Edén. Nous



◁ Chargement du bois pour la cabane dans les bateaux depuis Puerto Edén
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

découvrons le tas de bois qui nous est destiné. Il est consacré en totalité dans les cales des bateaux. C'est parti pour une chaîne humaine qui monopolise la totalité du port de Puerto Edén.

Arrivés au fond de l'estero Egg, les manœuvres de déchargement sont lancées au petit matin. Une nouvelle chaîne humaine permet de monter une partie des chevrons de bois pendant que la tyrolienne est installée. En milieu de journée, tout le monde fait une pause et le programme de l'après-midi s'affine. Il est décidé qu'un petit groupe (Flo C., Clément, Lionel, Sylvain, Séba et Cédric) commence la construction du platelage des tentes-dortoirs. Après que Flo et Cédric ont implanté la plateforme globale, toute l'équipe se met au travail pour couper et assembler les

chevrons de bois qui composent la structure. Chacun trouve sa place ; mention spéciale à Séba qui organise son poste de travail et taillera la totalité des chevrons sur un rythme soutenu et une précision millimétrique, telle une machine numérique !

Les modules du platelage sont construits et assemblés les uns après les autres sans difficulté particulière. Le déchargement n'a pas encore dévoilé toutes les caisses à outils et de quincaillerie et nous sommes obligés de jongler avec ce que nous avons à disposition une grande partie de la journée. Au fil de l'après-midi, des renforts arrivent pour étoffer l'équipe initiale.

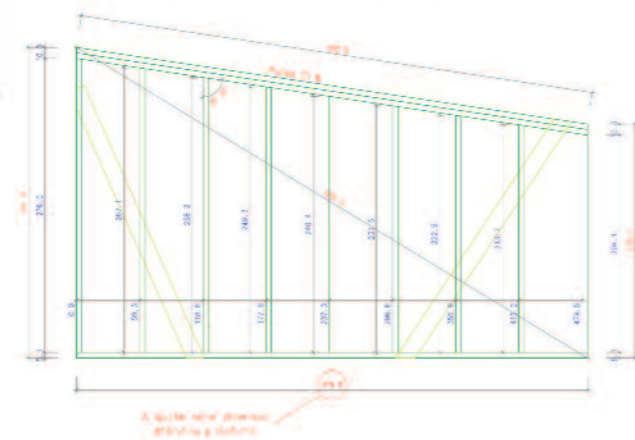
Il est désormais possible de fixer les planches qui formeront le plancher définitif du platelage. La tâche est lancée et une équipe féminine se crée de



▷ Plans pour la fabrication des murs latéraux.
Photo © Cédric Roques, Centre Terre.

Plan Fabrication Murs côtés - 1/25

Nom : Association Centre Terre
Projet : Exp. Ultima Patagonia 2023
Construction : Camp de base - UP23
Web : www.centre-terre.fr



◁ Cédric peut être fier, la cabane est bientôt terminée !
Photo © Olivier Guérard, Centre Terre.

▷ Construction des plateformes qui vont accueillir nos tentes
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



façon tout à fait inattendue pour clouer les 250 planches. Leur rythme et leur détermination sont tels que ceux qui fabriquent les modules sont « sous pression ». Avec plus de 2000 pointes enfoncées manuellement, les filles passeront leur nuit à rêver de pointes et de marteaux, mais en redemanderont le lendemain; pas traumatisées pour un sou...

La stratégie de commencer le platelage avec une équipe composée de membres ayant l'expérience des expéditions précédentes et dès le premier jour est payante. La plateforme est terminée en quasi-totalité à la fin de la première journée.

Second jour à Madre de Dios, le déchargement doit être terminé dans la journée pour permettre aux équipes cinéma et glacier de partir vers leurs objectifs respectifs. La stratégie de la veille est appliquée une nouvelle fois. Un petit groupe commence la construction de la structure de la cabane d'une surface de 48 m². Nous le savons, le plus dur sera de démarrer la structure porteuse et réaliser le solivage.

Les poutres porteuses sont taillées et assemblées aux poteaux. Les premières solives viennent équilibrer les portiques et la géométrie de la cabane prend forme. Des renforts arrivent tout au long de l'après-midi, jusqu'à ce que le déchargement soit quasi terminé, et le soir même nous avons la fierté de voir la totalité de la structure et du solivage terminé. Une grosse étape de la

construction est concrétisée. L'équipe du Egg, qui sera seule sur l'île à partir du lendemain, poursuivra la construction. Ces neuf personnes, en autonomie complète, ont comme mission prioritaire de terminer la cabane. Les conditions météo se durcissent chaque jour avec de fortes précipitations et des vents violents. Mais la détermination de l'équipe ne fera que décupler face au déchaînement des éléments.

La première journée verra la pose du plancher sur la totalité de la structure et l'aménagement de la tente logistique pour les repas (installation de la gazinière, table, organisation des réserves alimentaires...).

La fabrication des murs est lancée dès le jour suivant. Le principe constructif retenu est basé sur un modèle de murs ossature bois traditionnel composé de lisses basses et hautes, de montants verticaux et de contreventement en bois massif. Les murs sont fabriqués au sol et sont levés les uns après les autres pour chaque façade. Rapidement les rôles sont distribués, chacun trouve sa place et la cadence est redoutable. Olivier et Alex H. à la taille des 200 montants et lisses, Alex A., Christine et Joël à la fabrication des murs, Jessica et Franck au levage des murs... Flo et Cédric n'ont plus qu'à regarder le travail avancer à grands pas.

Au troisième jour, la charpente composée de poutres porteuses reconstruites est installée. N'ayant pu transporter des poutres de grande longueur,

nous assemblons plusieurs bastinges pour reconstituer les poutres porteuses d'une longueur de près de 5 mètres. Leur mise en place est une formalité pour nos constructeurs surmotivés. Vient ensuite la pose des pannes qui accueilleront les tôles de bac acier constituant la toiture étanche du bâtiment. Tout le monde voit que la cabane prend considérablement forme, et l'idée d'avoir bientôt un endroit en dur pour s'abriter renforce la motivation de chacun. Le quatrième jour, les tôles de bac acier sont fixées sur la totalité des façades et de la toiture. Des tôles translucides sont également posées régulièrement pour apporter un maximum de luminosité à l'intérieur. Flo, fort de son expérience, installe le poêle sans même que la couverture soit terminée pour que toute l'équipe bénéficie dès cette soirée d'un point chaud réconfortant.

La cabane est inaugurée le soir même. Cependant, de nombreux aménagements restent à réaliser pour l'organisation globale de l'espace. Le défi est lancé pour pouvoir bénéficier d'une douche chaude le lendemain soir et tant attendue par Jessica.

Les jours suivants seront entrecoupés entre aménagements des différents espaces de vie (douche, cuisine, espace bureau/radio/sécurité, toilettes abritées...) et premières escapades sur les plateaux karstiques de Madre de Dios.

Les camps avancés de Madre de Dios



Dès le mois de janvier, deux camps avancés sont installés dans les terres. Ils permettent de repousser le rayon d'exploration à plusieurs heures de marche du camp de base, lui-même installé sur les rives de l'estero Egg.

Les reconnaissances et les premiers portages de matériel en vue d'implanter un camp sur les zones lapiazées au sud de l'estero Egg sont réalisées entre le 30 janvier et 2 février. Le camp dit « **Camp des Champipis** » est inauguré sur le flanc d'une dépression, à proximité d'un champ de comètes et de champignons, à environ deux heures de marche du camp de base.

Le second camp appelé « **Camp Nord-Ouest** » est implanté de l'autre côté de l'estero Egg, sur les zones lapiazées en amont hydrologique de la grotte des Pirates, un secteur déjà reconnu par les Polonais en 2003 et ensuite par les Anglais en 2008.

Le camp des Champipis

Le camp est monté dès le 2 février et sera occupé jusqu'au 8 mars. Le lieu initial d'implantation étant peu confortable et relativement exposé aux vents, il sera déplacé de quelques centaines de mètres mi-février. Le camp est accessible à pied depuis la cabane en moins de

2 heures de marche, en montant la crête de grès qui surplombe le rivage, puis en basculant sur les lapiaz au niveau du col Ayayema. Le trajet passe à proximité du gouffre des Arches Perdues et longe le versant ouest de la crête - en courbes de niveau - pour ensuite plonger sur le champ de comètes. Ce secteur n'est toutefois pas vierge d'exploration, car des traces de passage et des équipements ont été observés à plusieurs endroits. Citons notamment le gouffre noté « ITA06 » à l'Est du Lac Turquoise. Il présente deux goujons rouillés en tête du puits d'entrée qui doit mesurer 25-30 m. L'exploration de ce gouffre est attribuée à l'équipe italienne venue sur Madre de Dios en 2006.

Les premiers repérages, balisages et portages vers le camp des Champipis commencent le 1^{er} février (équipe Cédric R., Franck B., Alexandre H. et Joël T.). Le matériel est alors déposé au col Ayayema, à environ une heure de progression depuis le camp de base. Les principaux obstacles sur le chemin sont aménagés et celui-ci est balisé dans les deux sens.

Le 2 février, le matériel déposé au col Ayayema est repris et avancé jusqu'au site qui sera retenu pour l'implantation du camp avancé (équipe Jessica M.-

B., Franck B., Alexandre H. et Cédric R.). Celui-ci sera baptisé « camp des Champipis », en référence à la multitude de champignons de roche et de comètes qui sont observés à proximité du camp. L'équipe occupe le camp jusqu'au 4 février. Malgré des conditions météorologiques épouvantables, les 4 équipiers prospectent plusieurs secteurs dans les alentours du camp; la zone dite du « Lac Turquoise », au nord du camp, et la zone dite des « Champignons », à l'Est du camp. Une cavité proche du camp (sans nom) est explorée jusqu'à une profondeur de 40 m environ. Toujours à proximité du camp, le gouffre PlusPlus est repéré et les premiers amarrages sont plantés en tête de puits.

Une seconde équipe composée de 9 personnes (Lionel R., Alexandre & Charlotte H., Raphaël S., Marie E.-B., Didier L., Jessica M.-B., Bruno P. et Cédric R.) occupe le camp du 07 au 9 février. Ils explorent et topographient les gouffres PlusPlus (-60 m), la perte du Canyon (60 m de méandre, terminus à -25 m), la perte du Champignon (-30 m) et la perte dite « 25 m Nage Libre » qui se présente comme un long méandre de quelques centaines de mètres. Ils repèrent le gouffre du Bowling, en descendant le

Arnaud MALARD & David MEUNIER

△ Le deuxième camp des Champipis, entre deux averses.
Photo © Natalia Morata, Centre Terre.



△ Le camp avancé Nord-Ouest après la tempête de pluie et de vent.
Photo © Jules Clouzeau, Centre Terre.

premier puits (45 m) et s'arrêtent par manque de matériel. Le gouffre du Bowling semble présenter une suite intéressante, mais l'accès est assez délicat, car la roche n'est absolument pas saine.

Une troisième équipe (Natalia M., Michel P., Laurence B.-H., Arnauld M.) occupe le camp du 09 au 11 février. Les conditions météorologiques sont mauvaises - elles devraient s'améliorer le 11. Le 10 février, l'équipe continue l'exploration du gouffre PlusPlus jusqu'au terminus, à la cote de -88 m. Ils repèrent ensuite la perte du Champignon et ne voyant pas les amarrages installés par l'équipe précédente, ils réitèrent l'exploration et la topographie du gouffre jusqu'à son terminus, vers -30 m.

Le 11 février, les conditions sont plus clémentes et l'équipe part avec l'objectif de se rendre à la « Perte des 2 Lacs » qui s'ouvre vers le lac Turquoise. En chemin, Michel P., Arnauld M., Laurence B.-H et Natalia M. s'arrêtent pour explorer un gouffre qui semble très prometteur et qui s'ouvre à moins de 200 m de la perte

« 25 m Nage Libre » explorée par l'équipe précédente. La présence de traces de progression au fond de la cavité laisse supposer une jonction avec la perte « 25 m Nage Libre », mais le report topographique ne le confirme pas. Il est possible que des Italiens soient aussi passés par là depuis une autre cavité...

L'équipe est remplacée le 11 février par Franck B., Katia M., Denis M., Clément C., Bernard T. et Cédric C. Ils continueront l'exploration du gouffre du Bowling jusqu'à la profondeur de -210 m après 350 m de développement. Une autre cavité de moindre intérêt est explorée à proximité du camp. L'équipe quitte finalement le camp le 13 février et rentre au camp de base en passant par le camp Nord-Ouest.

Le 16 février, une équipe composée de Natalia M., David M., Mehdi B. et Jules C. occupe le camp des Champipis. Ils continueront l'exploration de la Perte des 2 Lacs qui développe une centaine de mètres avant de buter sur une trémie impénétrable et du gouffre du Bowling dans lequel quelques branches

annexes sont parcourues. Ils redescendent finalement le 18 février au camp de base.

Le 6 mars, c'est au tour de la dernière équipe, composée de Nicolas F., Amandine L., Denis M. et Gwladys F. d'occuper le camp. Ils ont pour mission de continuer les explorations au gouffre du Bowling avant de le déséquiper puis de démonter le camp avancé pour redescendre progressivement le matériel.

Le camp Nord-Ouest

Les premières reconnaissances et les premiers portages de matériel vers la zone du Camp Nord-Ouest se déroulent à partir du 8 février (Sylvain B., Sébastien V., Arnauld M., Olivier G.). Le cheminement envisagé s'opère depuis un débarcadère situé sur la rive qui fait face à la cabane, à l'extrémité ouest de la baie. De ce point, il semble assez facile de relier la croupe de grès et de longer la crête jusqu'à la bordure avec la zone lapiazée. Mais dans les faits, des petits escarpements, de nombreux trous de végétation et des arbustes très acérés rendent la progression beaucoup plus longue et le chemin n'est

absolument pas évident à trouver.

Dès les premiers pas, des traces de passage humain sont remarquées. Des petits arbres coupés à la scie et des cairns témoignent que nous ne sommes pas les premiers à débarquer à cet endroit et à prendre le chemin de la croupe. Après deux heures de progression depuis le débarcadère, l'équipe de reconnaissance atteint les calcaires. En suivant un cheminement évident, elle remarque une cache de matériel dans une petite grotte en pied de falaise. Celle-ci est attribuée à l'équipe polonaise venue en 2003. Ils ont en effet laissé quelques cordes et des kit-bags, le tout accompagné d'un mot: "à n'utiliser qu'en cas d'urgence". La cache est bien placée et laisse penser qu'ils ont certainement installé leur camp avancé à cet endroit ou en tout cas à proximité. Le porche qui ouvre sur la petite grotte est assez plat et abrité du vent. Après réflexion, la décision est prise de poser le matériel de camp au même endroit et d'inspecter les environs. Très rapidement, ce sont effectivement deux gouffres présentant des spits à l'entrée qui sont

découverts à proximité de la cache. Les Polonais ont donc déjà exploré certaines cavités de ce secteur, chose que nous soupçonnions, mais qu'en l'absence de rapport nous ne pouvions confirmer...

À noter que l'accès au camp Nord-Ouest n'est pas évident, et ce malgré les cairns posés soit par les Polonais en 2003, soit par les Anglais en 2008 et ceux qui ont été rajoutés à partir du 8 février. En effet, la densité de la végétation et les « trous » qui ponctuent la progression obligent à de nombreux détours, marquant ainsi plusieurs variantes de chemin dont la plupart aboutissent à des culs-de-sac... De fait, une session de balisage du chemin jusqu'au camp sera réorganisée le 22 février.

Le camp est occupé à partir du 9 février par Olivier G. et Sébastien V. Cette petite équipe est complétée dès le 10 par Christine M., Sylvain B., Lionel R. et Alexandre A.

Le 22 février, une autre équipe composée de David M., Mehdi B. montent au camp. Ils passent la journée du lendemain, sous la

pluie, à reconnaître le maximum de pertes pénétrables et redescendent, trempés, le 24 au camp de base.

Une autre équipe monte le 27 février (Jérémy P.-D., Jules C., David M., Alexandre H. et Florian R.). Leur premier objectif est un gouffre repéré par Mehdi B. et David M. le 23 février, nommé "la Grande Faille du Bout du Monde" qui débute par un imposant puits de 40 mètres à la base duquel il n'existe malheureusement pas de suite pénétrable. Les explorations continuent le lendemain, mais sous une pluie battante, et finalement l'équipe redescend au camp de base le 1er mars.

David M., Florian R., Alexandre H. et Jules C. remontent le 3 mars dans l'après-midi pour occuper le camp et continuer l'exploration du gouffre du « Rêve Éveillé », une perte majeure repérée à proximité du camp et qui n'a a priori fait l'objet d'aucune exploration. Ils redescendent le lendemain au camp de base.

Le camp est finalement démonté le 8 mars par David M. et Caroline B.

▽ Déplacement du camp Champipis qui s'inondait pour un second emplacement plus à même de supporter les intempéries patagones.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



Le Porche Edén, une grotte-école aux confins de la Patagonie



Florian RIVES

Découvrir, Explorer, Partager, telle est la devise de Centre Terre. Pour cette nouvelle expédition UP2023, le mot Partager a fait émerger le projet d'accueillir sur quelques jours les enfants de Puerto Edén afin de leur révéler la magie de cette île, de leur faire découvrir la vie des explorateurs, mais également le milieu souterrain. Cette démarche s'inscrit dans le projet éducatif porté par Natalia auprès des enfants de Puerto Edén. Natalia leur enseigne, plusieurs fois par an, le maniement des équipements de spéléologie sur les falaises de Puerto Edén.

△ Vue depuis l'ouverture supérieure du Porche Edén, départ du rappel guidé pour rejoindre la mer.

▷ Pose d'un amarrage pour main-courante.

△ Nous étudions le meilleur parcours à créer sur corde pour les enfants apprentis spéléo.

Photos © Serge Caillault, Centre Terre.

au-dessus de la **Résurgence Golondrina**, fut la grotte-école



idéale pour amener les enfants à la découverte des grottes de Patagonie! Cette cavité allie escalade, progression horizontale avec main courante et progression verticale. Avec son entrée à une dizaine de mètres au-dessus de la résurgence, la vue sur le Seno Egg est grandiose. De plus la présence d'un petit amas coquillier témoigne de l'histoire de l'île et de son peuplement sporadique. Les 22 et 25 février, Florian, Jérémie et Serge ont équipé la cavité avec des cordes de spéléologie afin de sécuriser les différents obstacles et faciliter la progression des jeunes spéléologues. Pour les enfants, l'accès à la grotte en zodiac depuis la cabane du Seno Egg ajoute une sensation parmi les plus spectaculaires. Tout était réuni pour faire du Porche Edén, LA grotte-école de Madre de Dios!

Dès lors, le **Porche Edén**, situé



Le tour du Lac Sans Nom

Franck BRÉHIER



◁ Lors de la première tentative, le Lac Sans Nom est enfin en vue!

▽ Jessica au bord du Lac Sans Nom, à proximité d'un champignon de roche.

Photos © Franck Bréhier, Centre Terre.

Parmi les innombrables lieux inconnus de l'archipel qui n'ont pas manqué d'attiser notre curiosité, il existe un lac, baptisé le **Lac Sans Nom**. Situé sur la partie nord de Madre de Dios, presque intégralement entouré de calcaires, c'est le plus grand lac de l'île. S'il a été minutieusement scruté sur les images satellites, ou entraperçu lors de raids depuis le Barros Luco, son isolement ne nous avait jamais permis d'en atteindre les rives. L'installation d'un nouveau camp dans l'estero Egg allait-elle enfin nous permettre de l'approcher?

était illusoire. On a seulement pu, par le passé, l'apercevoir au loin, sans espoir de l'atteindre. Mais depuis la cabane de l'estero Egg, la donne n'est plus la même. S'il semble trop loin encore pour espérer y établir un camp et mener de réelles explorations, il est désormais possible maintenant d'atteindre ses rives depuis le nouveau camp de base.

Une première tentative

30 janvier. Notre petite équipe de 9 membres basée dans

l'estero Egg a achevé depuis peu la construction de la cabane. Il est temps de commencer à investir les lieux et de trouver des objectifs pour nos explorations spéléologiques. Une première équipe a déjà ouvert un accès aux zones calcaires depuis la cabane et a pu fouler ce karst magnifique qui va être notre terrain d'aventures pendant ces prochaines semaines. Aujourd'hui avec Cédric, nous souhaitons pousser les reconnaissances plus loin et définir un lieu pour l'installation

Entouré de mystères

C'est un grand lac de près de 2400 m de long et 600 mètres de large, orienté nord/sud. Il est situé à 1800 m de l'océan et son altitude, estimée sur les cartes, est de 9 m. Entouré quasiment intégralement de calcaire, sans déversoir identifié, il suscite bien des questions : où se déversent ses eaux ? Dans quelle direction : au nord, vers l'océan, ou à l'est en direction de l'une des résurgences à proximité de notre camp de base de l'estero Egg ? Les eaux disparaissent-elles par des pertes diffuses ou à travers une cavité bien identifiée ? Est-il alimenté par des écoulements de surface, ou y a-t-il des résurgences sur ses rives ?

L'atteindre depuis le Barros Luco



▷ Dans la brume et sous la pluie, à l'extrémité de l'ultime affleurement calcaire, l'endroit où se déverse la totalité des eaux du Lac Sans Nom (à droite sur la photo).

Photo © Franck Bréhier, Centre Terre.



d'un camp avancé. Nous voulons aussi, après tous ces jours passés à la construction de la cabane, profiter des paysages et surtout nous dégourdir les jambes! Nous choisissons donc de tenter d'atteindre le lac avant de trouver un lieu propice pour le camp avancé. Dès 8h30, ce qui est tôt selon les standards des expéditions Centre Terre, nous partons légers en empruntant tout d'abord le sentier taillé par les copains. Grâce à leur acharnement, la montée sur le plateau à travers la végétation dense se fait sans encombre. Une fois le pied posé sur ces immenses surfaces de marbre blanc, nous avançons avec facilité et après 3h30 de marche plein ouest, le lac est enfin à portée de vue. Si nous n'en sommes pas loin, peut-être à 1 km, la dernière partie est constituée de ce que nous craignons le plus en Patagonie: un karst très découpé et très végétalisé.

Nous nous acharnons 1h30, mais le lac n'est toujours pas atteint. Sachant qu'une fois au bord de celui-ci nous n'aurons pas le temps d'y rester, nous préférons faire demi-tour et repérer un autre accès plus au nord, où une bande de grès semble descendre depuis un col jusqu'au lac. Et en effet, une fois au col, la piste semble dégagée pour atteindre les rives. Nous validons cet itinéraire, mais ce sera pour la prochaine tentative! Pour l'heure, nous suivons la bande de grès dans l'autre sens,

c'est-à-dire en direction de la résurgence Golondrina et celle des Pirates. Tout en localisant de nombreuses pertes, nous sillonnons la zone et prenons pied sur un lapiaz couvert de champignons de roche. Un endroit propice pour un camp avancé. Ce sera le camp des Champipis! Retour à la cabane après 12 heures de crapahut, 1300 mètres de dénivelé et près de 20 km parcourus.

Cette fois-ci, c'est la bonne!

Le 3 février, Jessica, Cédric, Alex H et moi sommes depuis la veille au camp des Champipis. La montée d'hier s'est faite lourdement chargée et sous une pluie battante. Nous avons passé le reste de la journée à établir un camp à peu près confortable. Aujourd'hui, les explorations débutent vraiment. La pluie est toujours là. Nous formons deux équipes: Alex et Cédric vont prospecter autour du camp et, si la météo s'améliore, descendre un premier gouffre. Avec Jessica, nous souhaitons atteindre enfin les rives du lac. La pluie est si forte que nous voyons à peine autour de nous. Partout, des trombes d'eau se déversent. Tant bien que mal, nous atteignons le col et amorçons la descente sur la bande de grès. 2h20 après avoir quitté le camp, nous sommes enfin au lac! Nous décidons d'attaquer le tour par le sud, car une belle résurgence crache non loin de notre position, juste au ras de l'eau. Elle est pénétrable, mais le débit

est très fort et la combinaison néoprène est indispensable. Nous poursuivons notre tour. Tous les calcaires au Sud et à l'Ouest sont drainés par des résurgences importantes, mais sortent de griffons, au ras du lac. L'heure butoir que nous avions fixée pour faire demi-tour approche. Jessica est motivée pour achever le tour, mais nous n'en avons fait qu'un quart! Certes, la progression sur les grès qui se dressent sur la rive opposée semble aisée, mais il nous reste une portion de calcaire qui n'a pas l'air évidente à traverser, assez verticale et végétalisée, et nous ne voyons pas la totalité du parcours. Hésitation... Mais cela n'a pas l'air d'impressionner Jessica et son assurance lève mes derniers doutes. Nous poursuivons en remontant la rive ouest vers le nord. La dernière partie sur les calcaires est en effet délicate, c'est raide, ça glisse, et il pleut toujours. Nous avançons prudemment, mais sûrement. On repère sous le niveau du lac un gros champignon d'eau, il y a là une résurgence importante.

Nous sortons enfin de cette zone complexe. Il ne reste qu'une minuscule partie de 100 m qui a échappé à nos regards, et je crains que nous n'ayons jamais la clé de l'énigme, à savoir où se déverse toute l'eau de ce lac. Probablement qu'elle se perd de manière diffuse sur une très grande surface. Je suis un peu déçu. Alors que nous atteignons

l'extrémité de la partie calcaire, on remarque un fort courant à la surface du lac: une perte est bien là! Et l'on voit en effet toute dans un siphon! Nous sommes à présent à l'extrémité nord du lac, au contact entre grès et calcaire. Nous pouvons imaginer qu'un gros siphon achemine toute cette eau vers la mer. Je suis content d'avoir pu lever ce mystère! Mais pour l'heure, il nous reste à traverser ce courant, ce qui n'est pas une si mince affaire.

Je n'ai pas trop envie de faire l'exploration du siphon dans ces conditions! Voilà qui nous oblige à un bain quasi complet, mais la pluie s'est arrêtée, et nous progressons maintenant avec facilité, c'en est presque déconcertant. Nous bouclons le tour du lac et reprenons la direction du camp des Champipis, non sans découvrir encore quelques pertes à explorer. Et c'est pile à 19h00, l'heure limite fixée avec Alex et Cédric pour se retrouver, que nous atteignons le camp. Après notre petit tour de plus de 15 km sous la pluie, nous sommes ravis!

Et maintenant?

Avec une seule visite, on ne pourra pas dire qu'on aura tout vu de ce lac! Certes, son éloignement n'en fait pas un objectif majeur, mais il ne serait pas inintéressant d'y retourner.

Des résurgences que nous avons localisées, l'une, à l'extrémité sud, est pénétrable et prometteuse. La combinaison néoprène s'impose, mais il ne faut pas oublier que le jour de la visite tout était en crue. Les autres résurgences n'offrent que peu d'intérêt, si ce n'est celle qui formait un gros champignon sous la surface. Est-elle accessible sans plonger hors crue? Est-elle pénétrable?

Quant à la perte, il faudrait la revoir à l'étiage. Difficile d'imaginer quel est alors le débit... Le siphon est vaste, serait-il plongeable? Surtout, il serait intéressant de prospecter la partie au-dessus de la perte, vers le nord. Au plus court, la mer est à peine à 2 km. Les eaux qui se déversent dans la perte pourraient rejoindre la mer dans un grand réseau karstique qui serait un bel objectif pour une exploration.

Le lac lui-même mériterait qu'on s'y attarde un peu plus. Quelle est sa profondeur? Quel type d'organisme y vit? On peut imaginer aussi la quantité de sédiments qui s'y est déposée au fil des millénaires, et de toutes les informations qui s'y sont enregistrées.

Enfin, les rives du lac, sur la partie nord, offrent un endroit que l'on imagine propice à l'établissement d'un camp. Lors

SOUPE base de vie Egg



Ingrédients :

- ¼ de citrouille coupée en gros cubes
- 4 pommes de terre
- 6 carottes
- 500 g d'haricots blancs secs, préalablement trempés dans de l'eau pendant 24 h (pour les réhydrater)
- 200 g de quinoa
- 1 feuille de laurier, sel, poivre, ail

Préparation :

1. Peler et couper les légumes en gros cubes.
2. Verser tous les ingrédients dans un faitout, excepté le quinoa, et ajouter de l'eau jusqu'à recouvrir les légumes.
3. Faire bouillir et laisser cuire à feu doux, avec un couvercle, environ 45 mn. Ajouter le quinoa et cuire encore 15 mn.
4. Vérifier la bonne cuisson en piquant une carotte ou un haricot blanc, et déguster chaud!



de nos précédentes expéditions, nous avons pu trouver des traces de passage des Kawésqar dans des endroits éloignés de tout, par exemple lors de notre virée vers la grotte de la baleine depuis la terre, en 2008. Il n'est pas inconcevable d'imaginer qu'ils aient pu venir ici, et encore moins d'y chercher quelques indices d'occupation.

Si pour l'heure cette virée vers le Lac Sans Nom n'a pas rapporté des kilomètres de première, elle reste dans la droite ligne de nos objectifs d'exploration spéléologique et géographique, et restera surtout un excellent souvenir!

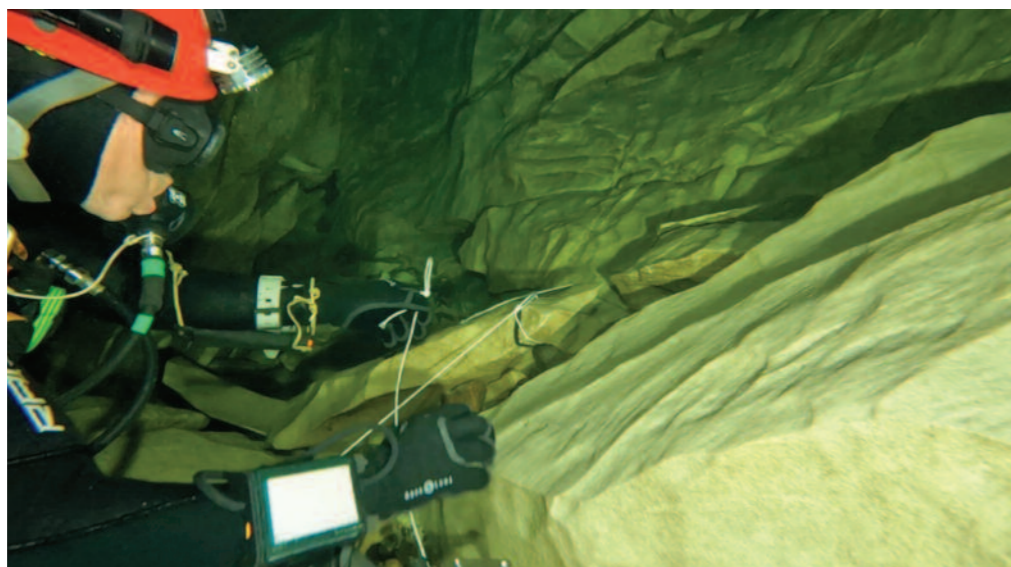


< Marche d'approche pour se rendre au Lac Sans Nom.

Photo © Serge Caillaud, Centre Terre.

Plongées souterraines, l'épopée !

Franck BRÉHIER



Dès 1997, chaque expédition de Centre Terre en Patagonie chilienne a intégré une composante de plongée souterraine. Année après année, malgré des moyens réduits et des conditions difficiles, nous avons pu explorer quelques beaux siphons et lever un tant soit peu le voile sur les circulations d'eau souterraine. En effet, les collecteurs étant en grande partie noyés, le potentiel d'exploration en plongée souterraine est énorme.

Un planning calé aux petits oignons

Concernant la plongée, l'expédition 2023 partait sous de très bons auspices. L'ambitieux planning des explorations, concocté bien en amont de l'expédition, ne manque pas d'objectifs pour les plongeurs. Le nouveau secteur de l'estero Egg et ses magnifiques résurgences, visibles sur les

images satellites, vierges de toute exploration, est l'objectif principal. Ensuite, il s'agit d'assister l'équipe cinéma pour les images subaquatiques avec des plans prévus aussi bien en mer qu'en siphon. Une équipe présente sur le glacier prévoit également de plonger au cœur des moulins de glace, dans la continuité de ce qui avait été entrepris durant l'expédition de 2019. Enfin, le retour prévu au Barros Luco siphon permet d'envisager la poursuite des plongées sur les siphons explorés en 2017 et 2019, notamment les **résurgences de Bahia Blanca** et de **la Petite Chinoise**.

Nous avons réuni une forte équipe de plongeurs, la plupart des vétérans, largement rompus aux conditions d'exploration patagones. Côté ressources matérielles, grâce aux apports de chacun et à l'aide de sponsors en gaz, compresseur et équipements divers, nous ne manquons de rien.

La roue tourne...

Malgré le planning, tout ne se passe pas comme prévu, et encore moins comme nous l'espérons. Très vite, la loi des archipels patagons s'impose. Tout d'abord, nous apprenons peu de temps avant le départ la défection de deux plongeurs. Pas si grave, mais il est trop tard pour modifier le planning réglé comme une partition. Ainsi lors du premier mois, un seul plongeur - Franck - sera présent sur le secteur de l'estero Egg. Dans ce contexte, il n'est plus question d'envisager d'y entreprendre les explorations, mais tout au plus de repérer les siphons à plonger pour la suite de festivités.

Côté glacier, l'équipe composée de Clément, Michel et Carlos compte bien, dans le temps et avec les moyens limités dont ils disposent, effectuer quelques plongées au cœur des moulins de glace. Mais les difficultés de

navigation pour atteindre la zone ciblée réduisent sérieusement le temps disponible pour les explorations, et l'accès au glacier depuis les bateaux s'avère bien plus difficile qu'escompté. Il n'est plus question de traîner le lourd matériel pour atteindre les zones de plongée, et une croix est faite sur ce volet.

Côté estero Egg, nous jouons de malchance dès notre arrivée. Pour ce premier jour, toute l'équipe est au complet. La météo est favorable, mais l'heure n'est pas à la contemplation, il faut débarquer tout le matériel nécessaire, dont tous les éléments de construction de la cabane. Et cela représente du poids et du volume ! Tout le monde s'affaire jusqu'à la nuit. Nous avons bien avancé, mais une partie du matériel n'est toujours pas hissée jusqu'au camp de base, 20 mètres au-dessus de la plage. Nous sécurisons le matériel qui reste sur le rivage, mais au petit matin, c'est la surprise ! Une très forte marée a submergé le secteur, dispersant le matériel au gré du courant. Il faut dire que dans ce coin de Patagonie, les marées sont complexes et leurs amplitudes peuvent varier fortement entre deux périodes consécutives. Bref, comme en 2017 au Barros Luco, nous nous sommes fait avoir... Nous retrouvons un des compresseurs sur une petite plage à côté. Il a flotté dans sa caisse de bois ! Après une première inspection rapide, il semble qu'il n'ait pas trop souffert. Nous le nettoyons du mieux possible et le faisons sécher. Cependant après quelques heures de gonflage, nous nous rendons compte que, malgré son bon aspect visuel, le compresseur a plus souffert que nous l'imaginions, et de l'huile finit par passer dans la partie compresseur. Nos moyens sur place ne nous permettent pas de régler le problème. Nous n'avons à présent qu'un seul compresseur opérationnel. Or il est prévu que Clément, Carlos et Laurent poursuivent les explorations de plongée au Barros Luco. Clément et Carlos utilisant des recycleurs d'air, il semble encore possible de maintenir un volet plongée souterraine au Barros Luco. Mais une fois de plus, les choses ne vont pas être si simples...



Cavités explorées

1 - Résurgence de Golondrina.

Coordonnées : X: 490023, Y: 4452633

Cette résurgence marine était l'objectif de plongée principal du secteur estero Egg. En effet, l'important dépôt sableux blanc sortant des deux résurgences Golondrina et grotte des Pirates est très visible sur toutes les images satellites. L'entrée a été repérée dès notre arrivée dans l'estero Egg. Les fortes précipitations que nous avons eues en février, seul créneau possible pour mener des explorations en plongée, en ont bien souvent limité l'accès. Lors des épisodes pluvieux, c'est un véritable geyser qui crache au pied de la falaise, et bien qu'il soit difficile d'avancer un chiffre précis, ce sont probablement plusieurs dizaines de mètres cubes qui sortent alors de la cavité. Son nom a été donné par Jérémie qui, en attendant Franck devant le siphon lors de la première plongée, a été accompagné par une hirondelle curieuse et peu farouche.

Descriptif

Le siphon s'ouvre au pied de la falaise. L'entrée, vaste, se fait à travers de gros blocs couverts de balanes. Quelles que soient les conditions d'exploration, le courant y est toujours fort, et le mélange d'eau douce et d'eau de mer crée un trouble - même en l'absence de turbidité. La descente, le long de la pente régulière à 45° de direction nord-ouest, se fait d'abord dans un conduit large de 8 mètres en moyenne pour une hauteur de 2 m puis se réduit et passe à 4 m par 2 m au point le plus bas, à -38 m de profondeur (à marée basse). Le courant y est très marqué et le passage impossible hors des périodes d'étiage. La remontée, toujours orientée nord-ouest, est quasi symétrique jusqu'à une profondeur de -25 m, où le conduit en joint de strate se ramifie. Le courant se répartit en plusieurs conduits impénétrables, même en configuration assez légère (2 bouteilles latérales de 6 litres et combinaison humide). Vers -7 m, il n'y a plus de courant et les dépôts de sédiments sont importants. Ceci, combiné avec la faible hauteur du conduit, rend la visibilité médiocre. Une cloche annonce la fin

prochaine du siphon, qui développe 174 m. Les dépôts sableux et limoneux à la sortie du siphon témoignent de mises en charge de plusieurs mètres.

Historique des explorations

Une première tentative d'exploration est tentée le 08 février par Carlos, Clément et Franck, assistés de Laurent et Caroline. Mais le débit est trop fort et ils doivent renoncer. Le 15 février, Franck, assisté de Jérémie, fait une première incursion, franchit le point bas et s'arrête à -29 m après avoir déroulé 90 m de fil d'Ariane. Le lendemain, les deux loustics reviennent faire des images et poursuivent jusqu'à -6 m, mais perdent le courant. Ils y retournent à nouveau le lendemain, franchissent le siphon, le topographient et explorent la branche de gauche. Le lendemain toujours (18 février), ils lèvent la topographie de la branche de gauche, repèrent celle de droite et réalisent quelques collectes de faune. Le 1er mars, après plusieurs tentatives avortées, ils arrivent malgré un très fort courant à franchir le siphon. La partie de droite est topographiée. « Arrêt sur rien », la grotte se poursuit avec un fort courant d'air. Ce sera la dernière incursion réalisée.

Perspectives

Le siphon d'entrée de la résurgence de Golondrina reste de dimensions modestes (moins de 200 m de long, moins de 40 m de profondeur) et se franchit avec un matériel restreint. L'exploration post-siphon est prometteuse et si on ne retrouve pas pour l'instant l'actif, la galerie est de bonne taille et parcourue d'un fort courant d'air. Cette résurgence semble drainer tout le secteur vers le camp nord-ouest. Au vu du débit, même à l'étiage (plusieurs mètres cubes par seconde), le potentiel est immense. La grosse incertitude réside dans la météo, les crues étant extrêmement violentes. Le mois de février a été l'un des pires au niveau des conditions météorologiques. Nous ne pouvons donc qu'espérer mieux pour les prochains explorateurs ! Avec de bonnes conditions, il est possible d'aller encore loin avec un matériel de plongée minimaliste (combinaison humide et bouteilles de 6 litres).

◀ Reprise de la première dans la résurgence de Golondrina.

Photo © Jérémie Prieur Drevon, Centre Terre

▷▷ La résurgence de Golondrina en crue. On estime le débit à plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde. Sur cette photo, le pic de crue n'est pas atteint.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

◀ En post-siphon à la résurgence de Golondrina. La première nous attend dans une belle galerie...

Photo © Franck Bréhier, Centre Terre.



2 - Résurgence des Pirates.

Coordonnées : X: 490 177, Y: 4452360

Seconde résurgence marine située à proximité immédiate de la résurgence de Golondrina. Son débit important et sa position juste en dessous de la grotte des Pirates qui cumule plusieurs kilomètres de galeries nous laissaient espérer un fort potentiel.

Descriptif du siphon

La résurgence s'ouvre au pied de la paroi rocheuse à proximité du porche de la grotte des Pirates, au niveau de la mer. Elle débute par un conduit de section circulaire qui descend de manière régulière jusqu'à une profondeur de 18 m. Là, un ressaut étroit mène à une galerie en laminoir franchissable uniquement avec les bouteilles en position latérale. Le conduit reste très étroit jusqu'au point bas de la cavité à -27 m. Dans toute cette première partie, eau douce et eau de mer se rencontrent et se mélangent plus ou moins selon la force du courant, créant un trouble pouvant empêcher de lire ses instruments de plongée. La galerie se poursuit toujours en

laminoir, jusqu'à la profondeur de -8 m, à 117 m de l'entrée, où les dimensions augmentent soudain. Jusqu'à présent orientée sud-ouest, la galerie tourne plus franchement vers le sud. Le siphon est franchi après un parcours de 145 m, pour une profondeur maximale de -27 mètres. L'exondé qui lui fait suite n'est alimenté que par un petit ruisseau actif. Tous les passages remontants deviennent vite infranchissables. La suite est par l'actif, via un deuxième siphon non plongé, qui débute depuis la vasque de sortie en direction de l'ouest. La jonction avec la partie aval du siphon de la grotte des Pirates ne doit pas être loin...

Historique des explorations.

Le 16 février, Franck explore le siphon jusqu'au laminoir, à 45 m de l'entrée et à -25 m de profondeur. Le 5 mars, Clément reprend le flambeau avec son recycleur, mais ne franchit pas le laminoir. Le 8 mars Jérémie dépasse le laminoir et s'arrête sur la partie remontante, à environ 95 m de l'entrée et à -17 m de profondeur. Franck continue ensuite la plongée, franchit le siphon, et fait la topographie au retour.

En effet, les conditions climatiques et l'état de la flotte font que le transfert de l'équipe vers le Barros Luco va s'opérer en mode "dégradé", avec un seul bateau, le No Te Rindas, qui ne pourra transporter qu'une quantité de matériel bien limitée. Les équipes, elles, passeront par voie terrestre. Dans ces conditions, une fois encore, il faudra faire une croix sur les objectifs de plongée, à la grande

déception de ceux qui souhaitent poursuivre les explorations à la Petite Chinoise, à la Bahia Blanca et à la Punta Blanca...

Des bulles pour l'écran!

Tout ne se passe pas si mal, et côté équipe cinéma, ça tourne! Depuis le début de l'expédition, Laurent est affecté à l'équipe de Gilles et apporte son soutien pour les images subaquatiques.

Il accompagne surtout Caroline pour faire différentes séquences en mer: filmer les restes d'une baleine dans la baie de Puerto Edén par quelques mètres de fond, des pêcheurs de coquillages au pied des glaciers ou encore des prélèvements de glace sur des icebergs dérivant... Laurent est sur tous les plans, enchaînant les plongées comme le font les moniteurs à Porquerolles en

3 - Siphon de la grotte des Pirates.

Descriptif

Le siphon se situe au bas d'une galerie fortement ensablée dans la grotte des Pirates: la galerie Dodgy plumbing. Le niveau d'eau est très variable selon le débit.

Depuis la vasque au départ, deux conduits sont visibles. L'un part vers l'aval et n'a pas été exploré. Il se dirige vers la résurgence. L'autre part vers l'amont. Le conduit, large (plus de 5 m en moyenne), mais bas de plafond (1,5 m en moyenne), descend tout d'abord dans le prolongement de la galerie exondée, vers l'ouest-nord-ouest. Vers -23 m, on atteint une galerie de profil type « canyon » (jusqu'à 5 m de haut pour une largeur de 4 m) qui se dirige vers le sud-ouest. Le conduit remonte jusqu'à -13 m, à un point où le plafond n'est plus visible. Une courte incursion montre que cela continue de remonter, possiblement jusqu'à une cloche. Mais le courant, toujours très notable, nous indique que la suite est bien à -13 m. Le conduit replonge jusqu'à -22 m, en reprenant la direction nord-ouest, puis s'incurve vers le sud le long d'une pente remontante régulière. À -8 m de profondeur, la galerie se ramifie. La majeure partie du courant provient d'une galerie qui part à l'horizontale vers l'ouest et qui sera explorée sur une dizaine de mètres. La suite est là, mais arrivant bientôt en limite d'autonomie d'air, il est décidé de prendre le conduit qui

remonte vers le sud. Le siphon est franchi, il développe 207 m de longueur pour une profondeur de -23 m à l'étiage. On émerge dans une vaste salle chaotique. Plusieurs conduits ont été remontés sur une cinquantaine de mètres, mais malheureusement sans suite évidente.

Historique des explorations.

Première plongée le 19 février par Franck, aidé de Jules et Alex H. Le point à -13 m est atteint et la topographie est réalisée au retour. Seconde exploration le 7 mars par Franck, aidé de David et Florian R. Le niveau est 2 m plus haut, l'aval n'est pas plongeable. Franchissement du siphon et fin de la topographie.

Perspectives d'exploration.

À -8 m, la galerie se poursuit. La faible profondeur et les distances raisonnables permettront sûrement de pousser plus loin les explorations avec une configuration simple (combinaison humide, un relais pour la première partie du siphon...). À ce stade, une jonction avec le fond du secteur des Arches Perdues, vers lequel l'actif se dirige, ne doit pas être exclue. Il reste de belles pages à écrire!

La partie aval n'a pas été plongée en raison du fort courant pendant les deux jours d'exploration. On peut très bien imaginer une jonction prochaine avec la résurgence, jonction qui serait toutefois plus logique d'attaquer par la résurgence.



< L'un des siphons au terminus du gouffre des Arches Perdues.

Photo © Natalia Morata Calvo, Centre Terre.

▽ Clément et Franck prêts pour la plongée de la résurgence de la Gazolina.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

pleine saison! La moisson d'images est faite.

Février, dernière chance!

De la plongée, oui, mais pas d'exploration en janvier... Sur cet aspect, seuls restent en course les objectifs de l'estero Egg. Franck et Jérémie sont opérationnels du 8 février au 8 mars, et de manière plus décousue, Laurent, Carlos et Clément. Les siphons sont bien là, à proximité immédiate du camp de base, mais tout n'est pas si simple. Ici plus qu'ailleurs, nous devons composer avec la météo... et durant le mois de février, elle est particulièrement exécrable! Sans parler des nombreux jours où il n'est pas question d'aller tremper ses palmes, nous essayons cinq échecs, rien que pour la **résurgence de Golondrina**, notre principal objectif! Et lorsque le débit nous autorise enfin à franchir le siphon, nous devons écouter les explorations en raison de fenêtres météo trop étroites et des risques de crues.

Au final, sur toute la durée de l'expédition, nous n'arriverons à réaliser que dix plongées, sur trois sites. Ces dix plongées permettent tout de même de réaliser plus d'un kilomètre d'exploration: 539 m en siphon et 502 m en post siphon.

Et pour la suite?

Que ce soit à la résurgence de Golondrina ou à la grotte des Pirates, côté résurgence ou depuis le siphon dans la cavité, les explorations s'arrêtent sur « rien », avec un joli potentiel. Ces deux réseaux actifs s'ouvrent au niveau de la mer à proximité immédiate l'un de l'autre, mais semblent drainer deux systèmes distincts.

Au vu des conditions actuelles, une configuration avec des plongées à l'air, en circuit ouvert, en combinaison humide (type « 9 mm chasse ») et des bouteilles de volumes relativement réduits (4, 6, 7 litres) permettraient sans doute de mener à bien les explorations. Un équipement léger, peu volumineux, ni coûteux en

énergie, tous les membres des expéditions Ultima Patagonia qui ont chargé, déchargé et rechargé des tonnes de matériel vous le diront, c'est primordial! Dans ce secteur, on n'a pas reconnu des sites qui justifieraient une logistique plus lourde. Parfois (souvent?), le plus simple est le plus efficace. Alors, pour une prochaine expédition dans l'estero Egg, il ne faudra pas oublier qu'il y a, à quelques centaines de mètres du camp de base, deux belles résurgences qui attendent d'être explorées. À bon entendre...



4 - Résurgence de la Gazolina

La résurgence a été repérée le 4 mars lors d'une prospection en zodiac par Serge, Christian, Jérémie et Franck. La résurgence se trouve à quelques mètres sous la surface de la mer formant un champignon d'eau douce. Elle est plongée le lendemain par Clément et Franck, assistés de Serge et de Caroline. Mais le porche, bien visible, est encombré de blocs et impénétrable. Le nom a été donné après avoir passé des heures à pomper de l'essence, mais aussi pour faire écho au nom de Golondrina, à la sonorité proche...

6 - Retour au Barros Luco





Le 14 février, le No Te Rindas est parti de l'estero Egg en direction du seno Barros Luco avec à son bord Bernard, Clément, Katia, Denis, Carlos et Laurent ainsi que des vivres et du matériel pour trois semaines. Le but : réinvestir la cabane construite en 2017 et continuer l'exploration de plusieurs gouffres découverts en 2019. Il est 22h00 quand le capitaine lève l'ancre. La fenêtre météo est courte et il ne faut pas rater l'occasion de partir. Une forte houle sur l'océan Pacifique est annoncée pour le lendemain. Après 4 heures de navigation, le capitaine fait halte pour la nuit dans une petite crique abritée, nommée Puerto Henry. Chacun trouve tant bien que mal une place pour dormir dans le petit bateau de pêcheur.

Le 15 février, dès les premières lueurs du jour, l'équipe repart affronter le Pacifique pour rejoindre le seno Barros Luco. Ivan, le capitaine a pris l'option de croiser au plus court, en longeant la bordure côtière entre de très nombreux récifs et îlots. La navigation est de fait peu confortable, en raison de la houle qui berce l'embarcation au roulis, mais c'est sans aucun doute la voie la plus rapide et le capitaine connaît bien les lieux, car il est venu plus d'une fois pêcher l'oursin dans la zone. Dans ces eaux bien peu profondes, le bruit du moteur accompagné de celui du sonar qui ne cesse de bipper. Il y a ici entre 3 et 9 m de profondeur sous la quille, ce qui n'inquiète pas pour autant le capitaine. Le bateau poursuit sa route dans

ces eaux peu profondes, chahuté par les vagues. Bientôt la cabane est en vue. Elle est toujours debout depuis 2019. Elle paraît avoir bien résisté au rude climat de Patagonie et domine toujours la baie sur le seno. Mais qu'en est-il à l'intérieur ? Ça sera la surprise en arrivant...

Aussitôt à terre, l'équipe procède à l'inspection de la cabane. Il y a de nombreuses détériorations dues aux conditions climatiques, à la présence de rongeurs qui ont détruit les plastiques et à quelques pillages (bois, fenêtre, etc.) par des marins de passage. Il faudra réparer tous ces dommages, mais la cabane est dans son ensemble viable, c'est un grand soulagement ! Sans perdre de



temps, Laurent et Carlos s'attellent au montage de la tyrolienne de 146 m de long qui relie le point de mouillage à la cabane située 46 m plus haut. Pendant ce temps, Bernard part à bord du No Te Rindas jusqu'au fond du fjord Lastarria pour récupérer le reste de l'équipe qui transite à pied depuis l'estero Egg.

En effet, dès lors que l'existence de la cabane a été confirmée et son état contrôlé, Bernard a lancé le top départ pour le reste de l'équipe « Barros Luco », qui ne pouvait pas être pris à bord du No Te Rindas, et qui doit maintenant rejoindre ce camp de base depuis le camp Egg par voie terrestre. Nicolas, Gwladys, Christophe, Charlotte, Amandine, Gonzalo, Matías et Jaime quittent l'estero Egg en zodiac jusqu'au point de départ de la traversée qu'ils franchissent sous une pluie fine en 2h15 de marche avec les sacs sur le dos. Ils retrouvent Bernard et montent à bord du bateau de pêche. En une heure de navigation et sous l'escorte de dauphins venus s'amuser dans les remous de la proue, l'équipe arrive à la cabane. Commence alors la lourde phase de déchargement du No Te Rindas et de l'acheminement du matériel jusqu'au camp de base. La priorité, en cette fin de journée,

est de monter les deux tentes russes qui serviront de stockage aux vivres et au matériel d'exploration et de couchage pour les 14 personnes présentes sur le camp. Il faut également désinfecter la cabane qui a été envahie par les rongeurs durant ces quatre dernières années. Le poêle est ensuite rapidement installé ainsi que l'électricité. Sans relâche, les efforts sont intenses et se poursuivent jusqu'aux derniers rayons de soleil, bien après 22 heures sous ces latitudes australes. Au terme de cette dure journée, l'équipe fête la renaissance de la base de vie du Barros Luco ! Le No Te Rindas, lui, s'empresse de repartir dans la foulée, profitant de la fenêtre météo qui permet de traverser de nouveau face au Pacifique et de rejoindre l'estero Egg. Voilà l'équipe du « Barros Lucos », livrée à elle-même, en autonomie complète jusqu'à début mars (ou jusqu'à la prochaine fenêtre météo permettant de quitter le seno).

Le jeudi 16 février, la journée est consacrée à rendre opérationnelle la cabane. Avec une météo inhabituellement clémente, l'équipe s'active pour tout remettre en état : réparation du plancher et des fenêtres cassées, mise en place de l'alimentation en eau et en gaz, installation des sanitaires,

aménagement intérieur, etc. Comme à l'estero Egg, cette cabane est à la fois base scientifique, technique et lieu de vie apportant un certain confort apprécié au fil des semaines dans ces conditions difficiles. Elle permet le repli de l'équipe en cas de mauvais temps prolongé. En début d'après-midi, les équipements de communication qui assurent le lien avec la base de vie de l'estero Egg et avec le reste du monde sont opérationnels. La flotte de zodiacs est également mise en service. Les stocks de nourriture sont rangés et inventoriés dans une tente russe. Les derniers bidons de matériel restés au port sont montés à l'aide de la tyrolienne. En fin de journée, la cabane est fonctionnelle et déjà bien accueillante.

Le vendredi 17 février, tandis que Bernard, Carlos, Clément et Denis restent à la cabane pour réaliser les derniers travaux, le reste de l'équipe part installer le camp avancé « Grand Cirque » dans le secteur du Gouffre Jackpot. L'objectif est de poursuivre l'exploration de ce gouffre découvert lors de l'expédition UP2019. Pour atteindre la zone du camp avancé de 2019, la progression entre les racines et les branches recouvertes de mousses impose une vigilance constante. Cet enchevêtrement de végétation peut cacher un vide qui peut être un vrai piège. En chemin, Gonzalo attire l'attention sur deux petits nids de colibris suspendus aux branches. Sorti de la forêt, le groupe traverse un éboulis puis enchaîne de petites escalades équipées de cordes pour atteindre enfin l'emplacement de l'ancien camp.

Les trois tentes sont rapidement montées sur le replat de grès. Jaime, Matías, Gonzalo et Amandine qui participaient juste au portage du matériel jusqu'au camp Grand Cirque quittent le groupe et commentent leur retour vers le camp de base. Matías en profite pour réaliser des prélèvements de roches qui seront envoyées dans un laboratoire pour étudier les communautés de bactéries présentes. Amandine, qui est géologue, fait quelques observations et relevés qui serviront pour établir la carte géologique de cette partie de l'île.

< Tout le matériel est monté à la cabane sous une pluie battante grâce à la tyrolienne.
Photo © Denis Morales, Centre Terre.

< Traversée bien chargés vers le Barros Luco.
Photo © Jaime Neira, Centre Terre.

< À l'arrivée au Barros Luco, le No te Rindas attend les explorateurs.

Photo © Amandine Laborde, Centre Terre.





◀ Le gouffre Jackpot abrite de rares concrétions.
Photo © Christophe Rognon, Centre Terre.

L'équipe de spéléologues (Gwladys, Nicolas, Christophe, Charlotte, Katia et Laurent) retrouve facilement l'entrée du Gouffre Jackpot. Le groupe s'engage sous terre et atteint rapidement le dernier point connu de la grotte à -265 m. Commence alors l'exploration en première en suivant la rivière. La progression est facile sur quelques dizaines de mètres puis la galerie se rétrécit. Il faut alors ramper dans la boue jusqu'à une étroiture remplie de cailloux qui signe l'arrêt de l'exploration dans cette direction. À la vue de cette impasse, Charlotte et Gwladys décident de commencer les relevés topographiques de la nouvelle galerie. Laurent leur donne un coup de main. Pendant ce temps, Katia, Nicolas et Christophe partent explorer

un boyau latéral. Celui-ci est bien boueux et semble continuer sur plus de 300 mètres. La remontée vers la sortie est effectuée prudemment, car de nombreux blocs se détachent des parois. Nicolas sortira le dernier, dégoulinant de boue. Il expliquera que son sac est tombé dans un puits borgne rempli de boue et qu'il a dû aller le chercher, ce qui explique aussi son retard.

Ce gouffre présente un intérêt scientifique certain sur de multiples aspects (géologiques, paléoclimatiques, biologiques...). Dès l'entrée, Charlotte a installé un enregistreur de températures ainsi qu'un détecteur de chauve-souris (pour l'étude menée par Gonzalo). En différents endroits de la cavité, elle réalise

également de nombreux prélèvements d'eau qui seront analysés ultérieurement en laboratoire. Des prélèvements de roches sont aussi effectués pour compléter l'étude de Matias sur les micro-organismes.

Le lendemain, le groupe quittera le camp après avoir fait l'inventaire du matériel et des vivres pour la prochaine équipe.

De leur côté, **le 18 février**, Bernard, Carlos, Clément, Denis et Amandine partent en zodiac à la **Grotte des 3 Entrées + Une**. L'objectif est de poursuivre l'exploration commencée lors des expéditions UP2017 et UP2019. L'équipe passe 9 heures sous terre et complète la topographie de la cavité avec près de 130 mètres de nouvelles galeries explorées. Des échantillons de roches sont là aussi prélevés pour l'étude des micro-organismes. Un détecteur à ultrasons est posé sous le porche d'entrée. Le retour en zodiac a été un grand moment d'aventure qui marquera les mémoires. Partis dans la nuit parfaitement noire et relativement calme, le vent et la pluie se sont peu à peu renforcés se combinant même par moments avec du grésil. Repliés dans le zodiac sous les trombes d'eau et les bourrasques, c'est avec la seule trace enregistrée à l'aller sur le GPS que Bernard peut tant bien que mal diriger l'embarcation. Les vagues compliquent fortement la navigation, secouent le zodiac et son équipage dans tous les sens. Des cris arrivent de l'avant: « vague, Vague, VAGUE!!! » et SPLASH!.. L'énorme vague passe par-dessus bord, rinçant tout le monde jusqu'aux os. D'autres vagues continuent de submerger l'embarcation qui paraît bien frêle face aux éléments déchaînés! Au bout d'une heure qui semble interminable, la lumière de la cabane est en vue: ils sont sauvés!

Resté la journée à proximité de la cabane, Jaime a installé un piège à insectes pour commencer un inventaire des espèces vivant dans le secteur. Avec l'aide de Gonzalo, il a également posé un filet à chauve-souris et photographié différentes espèces d'oiseaux.

En attendant les camarades qui reviennent des camps avancés,



les trois Chiliens préparent des empanadas qui seront savoureusement appréciés lors du repas bien tardif pris en commun.

Les 19 et 20 février, il ne se passe pas grand-chose au Barros Luco, car c'est la tempête. Il n'est pas prévu de mettre quelqu'un dehors. On s'occupe alors comme on peut dans la cabane, par exemple en rédigeant de façon exhaustive les comptes rendus d'exploration. Par contre près du Jackpot, les tentes du camp Grand Cirque passent un mauvais quart d'heure, battues par les vents. Mais ça, les spéléologues ne le savent pas encore. Ils le découvriront à leurs dépens dans quelques jours, lors de leur prochaine montée au camp (le 25).

Le 21 février, Gonzalo, Matias et Jaime sont déposés par Bernard et Laurent à la **Grotte des 3 entrées+1**, pour trois jours d'études et de relevés, en autonomie (**du 21 au 23 février**). Bernard en profite pour faire des images avec un drone, qui malheureusement, pris dans une bourrasque, finit sa course dans les branches d'un arbre avant de retomber dans l'eau. Laurent, équipé d'une combinaison étanche et situé non loin de la scène, n'hésite pas une seconde pour plonger

héroïquement afin de tenter de sauver le drone. Finalement, le drone finira sa carrière dans les eaux froides du seno. Seule sa carte mémoire pourra être réutilisée.

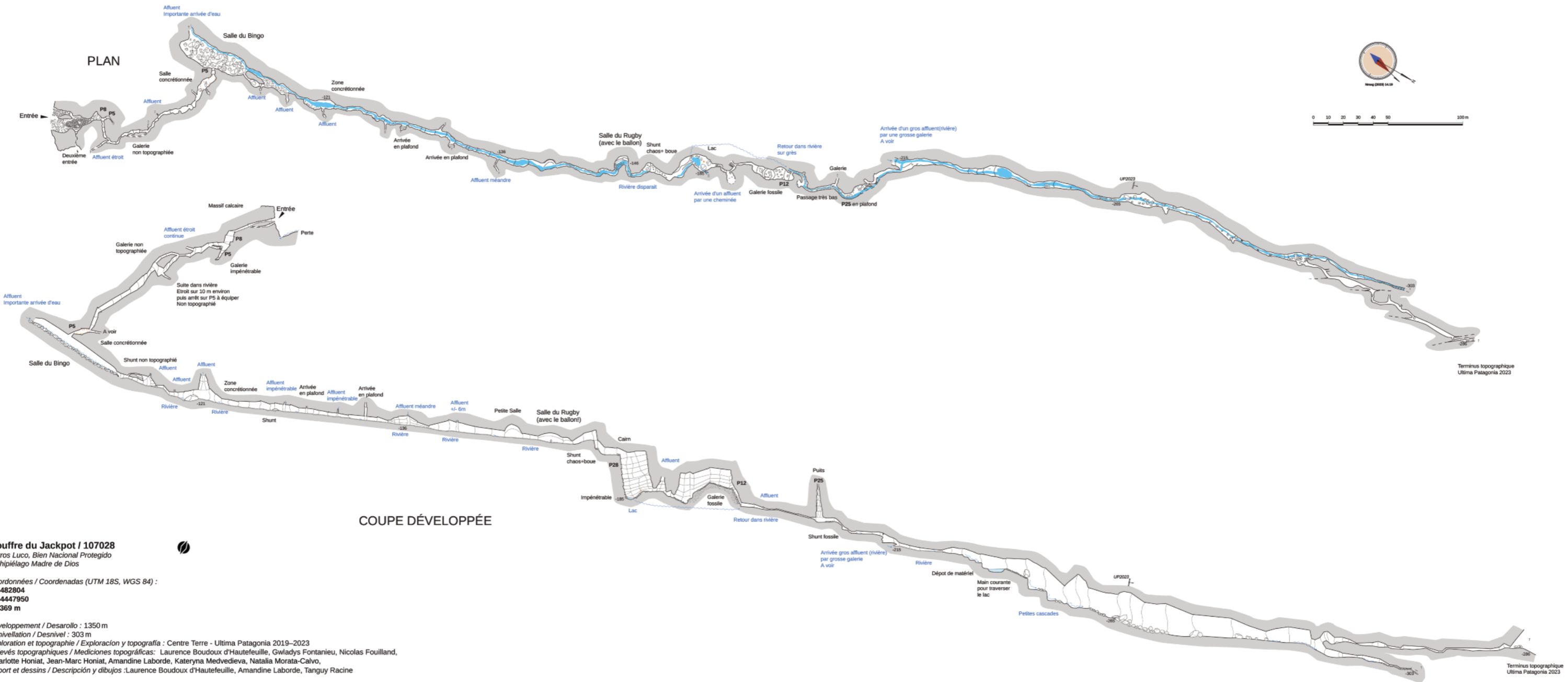
Dans un premier temps, les trois scientifiques installent leur bivouac sous le porche de l'entrée la plus basse de la grotte. Puis Gonzalo et Matias installent un enregistreur à ultrasons pour détecter la présence des chiroptères. Ils tendent ensuite trois filets pour attraper des chauves-souris dont la présence a pu être identifiée par des enregistrements réalisés en 2019. Deux filets de 9 et 6 mètres de long

sont tendus dans la première entrée et un filet de 6 mètres dans la deuxième entrée. À peine 4 heures plus tard, ils attrapent une première chauve-souris. Il s'agit d'un spécimen mâle de l'espèce *Histiotus magellanicus*, commune dans ces contrées australes. Chose curieuse, cet individu a une malformation sur le côté gauche, mais qui ne l'empêche cependant pas de voler. Des poils de la bestiole sont prélevés pour réaliser une étude génétique. Elle subit aussi un frottis avec un coton-tige pour chercher la présence, sur ses muqueuses, d'un champignon destructeur particulièrement agressif pour les chiroptères sur le continent américain: *Pseudogymnoascus destructans*. Une autre capture de chauve-souris a lieu peu après minuit. Elle endure également les mêmes tests.

Le lendemain, à la mi-journée, aucune chauve-souris n'a été prise aux filets, mais deux colibris (*pico-flores*) et un churrete (Coureur de Patagonie: petit passereau commun du Chili) ont été capturés. Jaime et Gonzalo décident de continuer leurs prospections entamées le matin. Ils parcourent les multiples porches de la grotte et s'aventurent dans les galeries accessibles sans équipement spéléologique à la recherche de chauves-souris accrochées au plafond. Malheureusement leur quête est vaine. De son côté, Matias réalise plusieurs prélèvements de roches et de sédiments pour étudier les communautés bactériennes qui colonisent les roches, en particulier dans les grottes. Il a établi un protocole de prélèvements

◀ Les spéléologues explorent les galeries boueuses du gouffre Jackpot.
Photo © Christophe Rognon, Centre Terre.
▼ En route pour les 3 entrées + 1.
Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.





Gouffre du Jackpot / 107028
 Barros Luco, Bien Nacional Protegido
 Archipiélago Madre de Dios

Coordonnées / Coordenadas (UTM 18S, WGS 84) :
 X : 482804
 Y : 4447950
 Z : 369 m

Développement / Desarrollo : 1350 m
 Dénivellation / Desnivel : 303 m
 Exploration et topographie / Exploración y topografía : Centre Terre - Última Patagonia 2019–2023
 Relevés topographiques / Mediciones topográficas : Laurence Boudoux d'Hautefeuille, Gwladys Fontanieu, Nicolas Fouilland, Charlotte Honiat, Jean-Marc Honiat, Amandine Laborde, Kateryna Medvedieva, Natalia Morata-Calvo,
 Report et dessins / Descripción y dibujos : Laurence Boudoux d'Hautefeuille, Amandine Laborde, Tanguy Racine



▷ Le camp temporaire est installé sous le porche de la grotte des 3 entrées + 1.
 Photo © Gonzalo Ossa, Centre Terre.



◁ L'entrée du gouffre des Gaugés.
 Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.



△ Petite chauve-souris de Madre de Dios.
Photo © Gonzalo Ossa, Centre Terre.
△ Descente dans le gouffre des Gaugés.
Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.

afin de pouvoir comparer les différents biotopes où peuvent se développer ces communautés bactériennes. Des échantillons de roches sont recueillis dans différentes parties de la grotte sur les parois, au plafond, sous des cascades, mais aussi à l'extérieur. Matias prélève aussi des échantillons de sols à diverses profondeurs : 7, 14 et 25 cm, en deux lieux différents choisis en fonction de la végétation qui s'y développe. Il faudra encore la matinée du 23 pour terminer l'échantillonnage.

Le retour à la cabane de Matias, Gonzalo et Jaime a lieu dans l'après-midi du 23 février.

Le 21 février, Nicolas, Christophe, Gwladys et Amandine partent depuis la cabane pour grimper sur les grès et faire quelques observations géologiques dans les environs du lac José.

Le 22 février, Charlotte, Katia, Denis et Christophe retournent à la **Grotte des 3 entrées +1** pour récupérer les sondes de température et une plaque témoin en verre laissée sur le lieu de prélèvement d'une stalagmite en 2019. Ils croisent Matias occupé avec ses échantillons de roche.

Une autre équipe avec Nicolas, Clément, Amandine, Gwladys et Carlos profite des rares rayons de soleil pour prospecter dans le secteur de **Punta Blanca**. Ils tracent facilement leur chemin à travers la végétation puis plus difficilement sur le lapiaz imposant quelques pas d'escalade. De beaux points de vue dominant la baie de Punta Blanca et le Pacifique. Lors du retour en zodiac, un groupe de six dauphins vient s'amuser avec l'embarcation offrant un spectacle inoubliable.

Le 23 février, sans grande surprise, il pleut à nouveau, mais cela n'entache pas la motivation générale ! Une première équipe (Bernard, Nicolas, Denis, Clément) sort avec l'objectif de reprendre l'exploration du **Gouffre des Gaugés** découvert en 2019 et dont le compte rendu d'exploration mentionne « un arrêt sur rien et un gros

courant d'air ». Le gouffre s'ouvre sur le massif calcaire qui s'atteint en escaladant de très belles cannelures. Denis équipe le puits qui malheureusement s'arrête à la profondeur de -90 m. Le courant d'air, bien présent, est un courant d'air tournant déclenché par le passage des spéléologues dans le puits. Le nom du gouffre a, lui, bien été confirmé, car les spéléologues sont ressortis complètement trempés ! En parallèle, l'équipe des filles (Katia, Gwladys, Charlotte et Amandine) monte dans le même secteur pour observer un dyke (filon de roche magmatique) qui perce la surface de la roche calcaire. Les vestes ne résisteront pas à la pluie et au vent qui se déchaîne sur le massif. Malgré tout, sur le chemin du retour, les filles ne résistent pas à la cueillette des baies de Calafate. Cette plante native de Patagonie est aussi bien redoutée pour ses épines (qui peuvent se planter dans les yeux ou les fesses des aventuriers), que appréciée pour ses baies bleues comestibles.

De retour aux zodiacs, le « team filles » prend le bateau équipé du moteur de 50 CV et part récupérer les trois Chiliens à la **Grotte des 3 entrées +1**. Charlotte, motivée pour barrer le zodiac, prend les commandes de l'embarcation et, quelque peu grisée par la vitesse, elle accélère « à donf », ce qui ne manque pas de secouer tous les passagers. Il lui sera proposé une heure de zodiac-école le lendemain...



△ Au fond du gouffre des Gaugés.
Photo © Bernard Tourte, Centre Terre.

Partis sur les traces du groupe de la veille, Christophe et Carlos sont conduits par Laurent dans la baie de Punta Blanca. L'objectif initial était de monter au sommet du massif. Face au brouillard levant, ils changent d'avis à mi-chemin, renoncent à l'ascension et font demi-tour. De retour à l'embarcadère, Laurent et Carlos en désamarrant le zodiac remarquent un petit porche situé à 3 m au-dessus du niveau de la mer. Ils viennent de découvrir une cavité d'une cinquantaine de mètres de développement où le passage des Kawésqars a laissé quelques traces. Un croquis est rapidement dressé et la cavité baptisée **Grotte de l'Ancien**. Une autre visite sera nécessaire pour lever la topographie précise et documenter en détail

les vestiges archéologiques. **Le 24 février**, c'est à nouveau la tempête qui contraint les spéléologues à rester cloîtrés dans la cabane. La journée est bien remplie : faire la révision des 2 groupes électrogènes, transférer le reste d'essence dans les nourrices des zodiacs, fabriquer un banc en bois siglé « Centre terre », etc.

Le 25 février, une première équipe de huit personnes prend la direction de la baie de Punta Blanca. Il y a Laurent, Carlos, Bernard, Matias, Gwladys, Gonzalo, Katia et Christophe. Ils partent répartis sur deux zodiacs. Un groupe ira topographier la **Grotte de l'Ancien** et réaliser des relevés des vestiges. Ils prévoient aussi de prospecter au pied du massif à la recherche

de cavités dans les zones fracturées en bordure de rivage. L'autre groupe ira du côté de la **Grotte de Punta Blanca** afin de reconnaître d'éventuels gîtes à chauves-souris et de poser des filets, sous la direction de Gonzalo. Rapidement le bateau conduit par Bernard donne des signes de faiblesses. Il sera alors tout bonnement « abandonné » et échangé avec celui de l'équipe qui monte au **Gouffre Jackpot** et qui vient de débarquer. Les deux embarcations repartent alors vers leur objectif sur une mer qui commence à s'agiter sous l'effet de la houle provenant du Pacifique.

C'est lors de l'accostage sur les rochers face à la **Grotte de Punta Blanca** que le zodiac de Laurent émet un chuintement



△ L'un des nombreux filons de roche volcanique parcourant les marbres de l'île.
Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.



◀ Progression dans le Réseau de l'Ancien.
Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.

de mauvais augure. PSCHHHTT. Une pointe acérée de calcaire vient de perforer l'enveloppe de l'embarcation. Par mesure de prudence, le retour s'impose, car la perte d'un zodiac sur deux dans cet endroit avec une mer qui forcé pourrait s'avérer très compliquée, voire risquée. Au retour, le bateau du groupe Jackpot est récupéré. Une fois à la cabane, l'heure est à la réparation de la déchirure du zodiac sous une pluie battante. Les trois moteurs sont également révisés et remis en état.

En parallèle, l'autre groupe (Amandine, Charlotte, Clément, Denis, Nicolas, Gwladys, Jaime) arrive avec les sacs bien chargés au camp Grand Cirque après

1 h 30 d'ascension sous une très forte pluie. Et là, c'est la consternation, le camp est dévasté! Les intenses intempéries des derniers jours, dont trois nuits avec des rafales dépassant les 100 km/h, ont complètement soufflé les tentes: toiles déchirées, arceaux pliés, cordelettes sectionnées, et une tente envolée sur quelques dizaines mètres... Le matériel éparpillé est trop endommagé pour pouvoir être remonté et utilisé. Le retour à la cabane du Barros Luco s'impose. Aussitôt le contact radio est établi par l'équipe avec le camp de base afin de coordonner ce repli. Une fois rentrés, les habits et corps trempés se réchauffent auprès du poêle.



▷ L'entrée du Puits du Kit.
Photo © Gwladys Fontanieu, Centre Terre.

La soirée est conviviale. Minuit passé, l'anniversaire de Matias est célébré au pas de la Cueca, la danse traditionnelle chilienne.

Le 27 février, Gwladys se joint à l'équipe du **Jackpot** de la veille qui remonte au gouffre. Ils emportent trois tentes pour installer un nouveau camp avancé. Arrivés à pied d'œuvre, ils montent les tentes, les disposent en étoile et fabriquent un muret de pierres tout autour afin de limiter l'effet du vent. Une fois le campement réinstallé, Charlotte, Denis, Clément, Jaime et Amandine s'engouffrent dans le **Jackpot**. L'objectif est double: un carottage dans une stalagmite à -150 m de profondeur pour l'étude des paléoclimats pilotée par Charlotte et une initiation pour Jaime à la spéléologie. Jaime a déjà suivi une formation aux techniques de corde, au sein de l'Association de Spéléologie de Patagonie avec Natalia. Mais c'est là en réalité sa première véritable sortie spéléo, car très peu d'endroits au Chili en permettent la pratique. Ils passeront 7 heures sous terre. Pendant ce temps, Gwladys et Nicolas s'aventurent sur le lapiaz pour prospecter dans une petite vallée en face le camp. Leur montée sur le plateau calcaire débute par de petites escalades. Ils arrivent rapidement au pied d'un mur de grandes cannelures qu'il leur faut contourner. Ils tombent alors sur un grand puits: le **Puits du Kit**. Une fois le



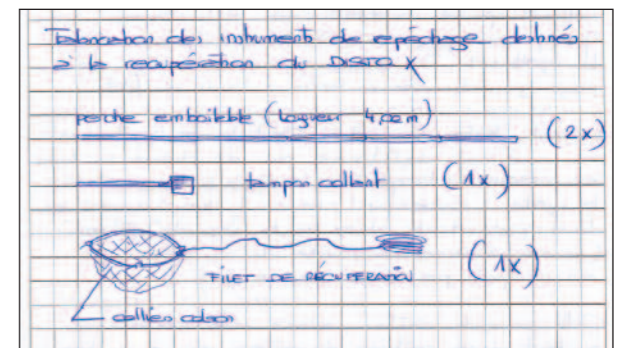
gouffre localisé avec le GPS, la prospection continue. Au bout de 45 minutes, ils arrivent sur le sommet du plateau lapiazé. Quelques petits puits sont bien présents, mais ils ne dépassent pas a priori les 20 m de profondeur. Un peu plus loin, en descendant un éboulis, Nico et Gwladys s'engagent dans un petit passage bas entre des blocs. Ils arrivent à parcourir quelques mètres, mais butent sur de grosses pierres qui leur barrent le passage. Un fort courant d'air provenant de derrière les pierres vient leur caresser le visage. Cette grotte sera baptisée le **Gouffre de Helm**. Ils reprennent alors leur marche sur les lapiaz avec une vue magnifique sur le Barros Luco d'un côté et de l'autre côté une étendue à perte de vue sur les lapiaz avec à l'horizon les glaciers de la cordillère. Et aussi, au loin, un porche, qui cependant paraît assez proche. Toutefois, sur les lapiaz de Madre de Dios, un trajet en ligne droite nécessite de nombreux détours et c'est seulement une heure plus tard que les deux spéléologues arrivent devant l'entrée de la **Grotte du Doute Eternel**. Gwladys s'engage la première. La progression est facile, à 4 pattes. Au bout de 50 m, un puits de 15 mètres met fin à l'exploration. Le courant d'air en provenance du fond indique une suite. Le retour au camp avancé a lieu sous le soleil. À peine arrivés aux tentes, Gwladys et Nico ont juste le temps de se mettre à l'abri, la pluie commence à tomber. L'équipe **Jackpot** arrive quant à elle vers 22 heures.

Durant toute la nuit, la pluie n'a pas cessé de s'abattre sur le campement et les rafales dépassant les 100 km/h ont bien secoué leurs occupants. Mais les tentes ont tenu.

Le 28 février, Amandine, Gwladys et Nicolas partent au **Gouffre Jackpot** dans le but de terminer le relevé topographique des dernières galeries découvertes et déséquiper les puits. Il y a plus d'eau que la dernière fois et les cascades sont plus importantes. La partie à topographier est particulièrement arrosée. Environ 130 m de nouvelles galeries boueuses sont reportés sur le plan. À la fin des relevés, il est déjà tard. Devant les orages qui étaient annoncés dans les bulletins météorologiques, les spéléologues décident de faire demi-tour. Ils sont mouillés et transis de froid. Au retour, tout le matériel est sorti de la grotte. Durée de la sortie: un peu plus de 8 heures. Le groupe Jackpot passe une dernière nuit au camp. Il sera démonté le lendemain (**1^{er} mars**) et presque tout le matériel du camp est rapatrié à la cabane.

À partir du **27 février**, Laurent, Katia, Bernard, Christophe, Carlos, Gonzalo et Matias étaient dans le secteur de la **Grotte de Punta Blanca**. Gonzalo et Matias sont déposés à l'entrée de la grotte où ils vont camper une nuit. Ils avaient repéré des fientes de chauves-souris et vont donc essayer d'en attraper quelques-unes à l'aide de leurs filets. Le reste de l'équipe part

explorer et topographier la **Grotte de l'Ancien**. Après la traversée du petit site archéologique, un court cheminement en forêt permet d'accéder à une deuxième partie de ce réseau qui en comporte une dizaine d'entrées. Cette seconde section assez vaste se termine au bout d'une centaine de mètres par un siphon actif dont l'eau a la couleur du thé. Cela est dû à la présence de tourbières en surface et dont l'eau s'infiltré dans la grotte. Une escalade de quelques mètres permet de retrouver un réseau supérieur affluent présentant de nombreuses sections en conduites forcées et d'autres sorties vers l'extérieur. Ce réseau cutané est en liaison directe avec le lapiaz du plateau. C'est Bernard qui ouvre la route dans ces galeries qui deviennent très étroites et les autres suivent en réalisant la topographie des lieux en avançant. C'est dans l'une de ces fissures que « quelqu'un » échappera le disto X, dans un malencontreux mouvement. Celui-ci est bien visible au fond de la fissure, mais il est inaccessible, impossible de le récupérer pour l'instant. Cet incident clôturera la journée d'exploration.



◀< Prélèvement d'une stalagmite pour des études sur le climat.

Photo © Charlotte Honiat, Centre Terre.

◀ Nettoyage avant conditionnement de la carotte pour analyse ensuite dans un laboratoire.

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

▽ Plan des instruments pour la récupération du distoX tombé dans une fissure!

Photo © Christian Rognon, Centre Terre.



◀ Une dernière vue du camp Barros Luco avant de partir.

Photo © Amandine Laborde, Centre Terre.

△ L'une des entrées du Réseau de l'Ancien.

Photo © Katia Medvedieva, Centre Terre.

Le 28 février, à la cabane, l'équipe du distoX rivalise d'ingéniosité pour bricoler un outil assez fin, mais long pour aller à la pêche au disto. Il est composé de deux perches emboîtables de 4 m de long constituées par les supports des tentes détruites par la tempête. Une des perches possède un tampon collant à une extrémité. On joint à cette canne à pêche une époussette fabriquée dans un filet à citron fixé au bout d'une grande ficelle. Espérons que la pêche sera bonne!

La soirée sera animée de main de maître par le pizaiolo d'un jour.

Le 1^{er} mars, le programme de la journée est chargé. Il faudra aujourd'hui:

- 1- récupérer le distoX disparu dans une fissure au fond du **Réseau de l'Ancien**,
- 2- aller chercher nos deux amis chiliens qui campent à la **Grotte de Punta Blanca**,
- 3- continuer les recherches dans le **Réseau de l'Ancien** en poursuivant les explorations souterraines et en prospectant le plateau au-dessus,
- 4- déposer un zodiac à l'embarcadère du camp Grand Cirque en attente de l'équipe du **Jackpot**. Le départ de la cabane est sonné à 10 heures. Toute

l'équipe embarque sur deux zodiacs: Carlos et Laurent sur un bateau, Bernard, Katia et Christophe sur le second, avec un troisième à la traîne. Après le dépôt du bateau au fond du seno, à l'embarcadère du camp avancé, la flottille prend la direction de la baie de Punta Blanca., mais rapidement le signal du retour sera donné par Bernard en raison du déchaînement des éléments. C'est un retour à la cabane pour une durée d'environ deux heures dans l'attente d'une accalmie compatible avec une navigation en toute sécurité. La seconde tentative sera la bonne. Rapide-

ment les deux bateaux accostent à Punta Blanca. Laurent s'assure de récupérer les deux Chiliens et tout leur attirail tandis que Christophe, Carlos, Katia et Bernard vont dans le **Réseau de l'Ancien**. Grâce à un matériel dernier cri développé par le bureau d'études du Barros Luco la veille, la pêche au distoX commence telle une opération chirurgicale. Bernard-Buldo-fera preuve d'une dextérité à faire mentir ses détracteurs le qualifiant de « Bulldozer » et c'est tout en douceur, patience et précision qu'il réussira à faire « *beurdoûler* » l'appareil dans l'écrin constitué par le filet à

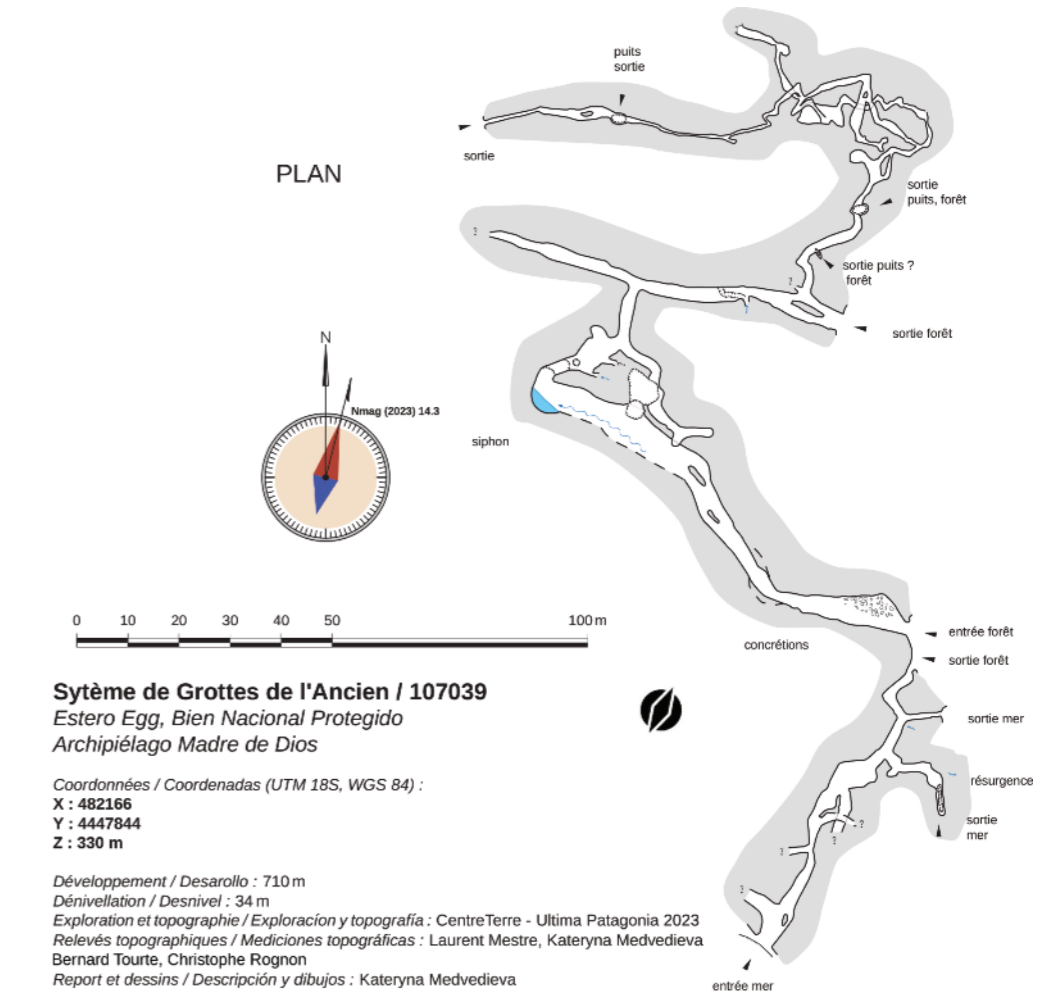


citron... Et c'est en apnée que le reste de l'équipe assiste, stupéfait, à la délivrance du distoX de son piège rocheux. À peine l'appareil extrait de la fissure, celui-ci est immédiatement mis en service pour poursuivre la topographie du labyrinthe du **Réseau de l'Ancien**. Katia et Bernard poursuivent l'exploration sous terre dans un dédale d'étroitures. Carlos et Christophe rejoignent la surface par l'entrée/sortie n° 7 pour mener une prospection du plateau karstique. Ils découvrent de nombreuses fissures, pertes et petits puits plus ou moins colmatés, mais qui ne permettent pas un accès à de belles sections souterraines. Le **Réseau de l'Ancien** est un réseau labyrinthique actif comme en témoignent les nombreuses arrivées d'eaux côtières. Un collecteur se développe-t-il plus en amont? Sa recherche est un bon objectif pour une future expédition dans le seno Barros Luco.

Vers 18h30, l'ensemble de l'équipe est réuni près des bateaux. Katia et Bernard ont réalisé plus de 80 mesures topographiques, Carlos et Christophe sont de retour d'une séance de prospection fructueuse et Gonzalo, Matias et Laurent de retour d'une balade découverte dans la partie facilement accessible du Réseau de l'Ancien. Après une navigation sans encombre, les spéléologues sont de retour à la cabane vers 20h00 où les attendaient déjà ceux qui étaient au camp Grand Cirque.

À partir du 2 mars, Bernard et Natalia, en étroite concertation avec Iván, le capitaine du No te Rindas, consultent les bulletins météorologiques afin de trouver la toute petite fenêtre météo qui permettrait de quitter le seno Barros Luco avec matériel et personnes pour retourner à l'estero Egg. Celle-ci s'entraperçoit pour le week-end... plus précisément pendant quelques heures ce samedi. Toute l'équipe s'active donc au cours de cette journée à nettoyer et ranger le camp, conditionner les bidons et tout descendre au « port » à l'aide de la tyrolienne.

Le vendredi 3 mars, le rangement de la cabane continue et le soir tout est stocké en bas de la



tyrolienne afin de limiter au minimum le temps de chargement du bateau, quand celui-ci arrivera. Dans l'après-midi, Denis, Gonzalo et Bernard sont partis au porche de la **Grotte des 3 entrées +1** pour récupérer un enregistreur à chauves-souris installé dès l'arrivée de l'équipe sur le Barros Luco. Charlotte et Carlos sont eux remontés au camp Grand Cirque pour rapporter la stalagmite prélevée pour l'étude du paléoclimat et le reste du matériel qui n'avait pas pu être descendu.

En fin de journée, le No te Rindas quitte l'estero Egg et va stationner pour la nuit à Puerto Henry. Le lendemain, il partira très tôt pour relier le Barros Luco en longeant la côte du Pacifique.

Le samedi 4 mars, l'accalmie météo se confirme. Elle est de courte durée, le temps est compté. En début de matinée, le No te Rindas apparaît dans l'anse où se trouve la cabane. Sans perdre de temps, le matériel est chargé à bord et dans la foulée Yvan conduit une partie de l'équipe au fond du fjord Lastarria. De là, les huit équipiers parcourent à pied, en un peu moins de 2 heures, les 5 km qui les séparent de l'estero

Egg où deux zodiacs viennent les récupérer. Ensuite, le No te Rindas retourne à la cabane pour embarquer les six personnes restantes et charger le peu de matériel restant au port. Après un dernier tour du « propriétaire », Bernard ferme la porte de la cabane construite en 2017 et de nouveau abandonnée pour un temps certain! Le No te Rindas prend la mer vers 16 heures. En un temps record, il réalisera le parcours du retour vers l'estero Egg, permettant à l'équipe d'être au grand complet dès 20h30 dans la nouvelle cabane de la côte nord.

▽ Récupération de l'équipe Barros Luco
Photo © Serge Caillaud, Centre Terre.



Le suivi médical durant l'expédition

Jessica MORIN-BUOTE & Jules CLOUZEAU

Sur le plan médical, l'expédition Ultima Patagonia 2023 a été organisée différemment des expéditions précédentes. Cette session a connu deux référents sanitaires: Jessica, infirmière canadienne, qui a assuré la médicalisation de la première partie (janvier - février) puis Jules, médecin urgentiste français, qui a géré la seconde (février - mars). À distance, il était possible de solliciter le soutien du CCMM (Centre de Consultation Médicale Maritime), dépendant du CHU de Toulouse, pour des avis complémentaires. Les participants de l'expédition avaient la possibilité de communiquer avec le CCMM via l'utilisation d'une valise de consultation PARSYS (tensiomètre, thermomètre, saturomètre, électrocardiogramme, glucomètre, caméra de haute précision).

Le nombre important de participants, la durée conséquente de l'expédition, sa localisation à l'autre bout du monde ainsi que le niveau élevé d'engagement des explorations spéléologiques constituaient alors un véritable défi pour l'équipe médicale!

La prévention reste le moyen le plus pertinent pour réduire au maximum les accidents ou les décompensations aiguës de pathologies chroniques. Ainsi, avant de partir, une consultation dentaire était préconisée pour tous et chaque participant a communiqué auprès de l'équipe médicale son âge, sa condition physique et ses antécédents médico-chirurgicaux. Un conseil médical a été délivré à chacun concernant les risques encourus en fonction de ces informations.

Six bidons de 60 litres chacun ont été nécessaires pour transporter le matériel médical. De la compresse à l'échographe, en passant par plusieurs solutés et attelles d'immobilisation, tout a pu être emballé avec soin. La plus grande difficulté était d'anticiper toutes les situations qui pouvaient potentiellement se produire, et ceci dans des conditions d'éloignement considérable. En effet, à plus de 12 heures de navigation du premier village, pas question de compter sur une pharmacie de proximité. La stratégie était de



sélectionner des médicaments polyvalents et simples (d'utilisation et conservation) en s'appuyant sur l'expérience des expéditions précédentes. En ce qui concerne les traitements usuels de quelques participants, ces derniers étaient autonomes dans leur gestion.

De plus, toute complication médicale, même mineure, était à redouter en raison d'une évacuation qui pouvait s'avérer difficile et longue. Ce genre d'événement pouvait également apporter un facteur stress à toute l'équipe.

Dès leur arrivée en janvier sur Madre de Dios, les membres de l'expédition ont été frappés par les conditions météorologiques rudes, se rajoutant à un environnement hostile. Et les premiers problèmes de santé sont arrivés: - Conjonctivite - Douleur musculosquelettique (parfois connue et exacerbée ou de novo) - Quelques lésions cutanées superficielles (abrasion, frotte-

ment, brûlure, chute) nécessitant une désinfection ou une suture simple - Piqure de calafate (plante à grandes épines de Patagonie) - Œdème des membres inférieurs (long voyage en avion, plusieurs jours à dormir en position assise dans les transports)

- Un corps étranger dans un bras nécessitant son retrait chirurgical après un repérage échographique

L'éloignement et l'isolement sont des éléments fondamentaux à intégrer dans l'engagement d'une telle expédition. Une équipe médicale participant à ce genre d'expédition doit être autonome et endurante. En effet, le délai d'arrivée des renforts se rapproche plus d'une journée plutôt que d'une heure. C'est ce qui en fait toute sa spécificité, voire son attractivité. Finalement, qui est plus isolé que nous sur Madre de Dios? Les astronautes peut-être...

Le volet scolaire de l'expédition

Christine MAGOT & Jérémie PRIEUR-DREVON

1- LE PROJET INITIAL

De 2008 à 2017, les explorateurs de Centre Terre, soutenus par le Ministère des Sports et de l'Éducation nationale, ont invité des classes de primaire et de secondaire à partager à distance le suivi des expéditions scientifiques et spéléologiques Ultima Patagonia (UP).

Sous l'impulsion de José Mulot, à la fois enseignant et explorateur de Centre Terre, la dimension éducative du projet prend de l'ampleur. Les contenus pédagogiques se structurent progressivement.

En 2016, l'association Centre Terre obtient un agrément délivré par le Ministère de l'Éducation nationale. Le projet éducatif de l'expédition UP-2017 se construit alors autour, et grâce au retour d'expériences positives opérées par les établissements scolaires, en France puis également au Chili, à destination de classes locales, par la motivation de l'équipe pédagogique Centre Terre constituée. De nombreuses fiches pédagogiques en lien avec les programmes scolaires dans plusieurs disciplines sont créées.

En 2019 une nouvelle expédition est organisée par Centre Terre. Ultima Patagonia UP-2019 présente alors une ressource pédagogique retravaillée, bilingue, et associée à une large communication. Le projet pédagogique ainsi promu est une pleine réussite avec plus de cent classes inscrites sur le territoire et dont quarante-trois d'entre elles ont construit une production propre en vue de la présenter au concours ouvert pour chaque cycle par le Rectorat de Toulouse, en association avec Centre Terre.

Dans le contexte de la crise sanitaire mondiale provoquée par la COVID-19, l'expédition suivante, UP-2021, ne peut voir le jour. Les populations sont impactées socialement et économiquement. À peine 3 ans après le début de la pandémie COVID-19, le maintien des objectifs du projet scolaire UP-2023 était plus que jamais important aux yeux des organisateurs: transmettre des valeurs



Des fiches pédagogiques didactiques

de partage, de solidarité, de dépassement de soi dans une aventure humaine d'une part, et d'autre part inviter les enseignants à conduire des projets pédagogiques associant différentes disciplines, expédition à l'appui, en éveillant la curiosité des élèves.

2- LES INSCRIPTIONS

Le programme scolaire démarra officiellement en avril 2022 et plusieurs classes manifestèrent leurs inscriptions via le dispositif ADAGE, demandant aux classes de répondre au cahier des charges pour aller jusqu'à l'étape du dépôt des productions. Les inscriptions via ADAGE ont été ouvertes jusqu'à mi-octobre 2022.

De ce fait, 24 établissements représentant 40 classes, soit 942 élèves, se sont inscrits officiellement, auxquels nous pouvons ajouter de manière non quantifiable des enseignants ayant utilisé ponctuellement les ressources de l'espace scolaire de Centre Terre pour susciter l'intérêt des jeunes générations sur des thématiques environnementales, scientifiques ou encore sportives. Treize interventions ont eu lieu au sein de classes, soit en visioconférences soit in situ, par les membres de Centre Terre, afin de faire le lien entre apprentissage et exploration sur le terrain. D'autres classes, en Suisse et au Chili ont également participé aux projets scolaires proposés par l'expédition UP-2023 tout au long de l'année 2022-2023.

3- LE DÉROULÉ

Durant l'automne 2022, les fiches pédagogiques ont été révisées. De nouvelles fiches sont créées et mises à disposi-

tion sur le site internet de Centre Terre, via l'onglet de l'espace scolaire. Ce dernier compte ainsi 103 fiches pédagogiques en lien avec les programmes scolaires, facilement exploitables grâce à un sommaire. Toutes les fiches sont également disponibles en version espagnole.

L'association Centre Terre a mis à disposition dès octobre 2022 du matériel didactique:

- des fiches scientifiques pour approfondir les connaissances,
- les rapports d'expédition,
- des visuels (faune, flore, karst...)
- des liens vers des reportages, des documentaires,
- 4 capsules vidéo créées lors des différents temps de l'expédition UP-2023

Les explorateurs ont aussi régulièrement alimenté les comptes Instagram et Facebook de Centre Terre durant l'expédition UP-2023, permettant aux classes connectées de s'imprégner du climat et des conditions de vie sur l'archipel patagon, en direct.

Afin d'étayer tous les potentiels contenus utilisables par les enseignants souhaitant suivre le projet UP 23, une après-midi de formation a été organisée par le Rectorat à destination de ces derniers. L'enjeu a été de leur permettre de mieux s'approprier les axes possibles de participation. Au cours de cette formation, les responsables scientifiques de l'expédition ont présenté les objectifs et pu répondre aux questions des enseignants. Vingt et un professeurs ont suivi cette demi-journée.

Un forum de discussion a été



↙ Visioconférence du 06/02/2023, classe de 5^{ème}.

↙ Visite de la base vie Egg durant la visioconférence du 7 mars avec les élèves de France.

ouvert dès novembre 2022 pour poser toutes les questions qui pourraient venir à l'esprit des internautes concernant l'organisation de l'expédition en amont, les derniers préparatifs, les conditions de vie des explorateurs ou encore l'échange d'anecdotes sur des questions telles que la santé, la nourriture.

Enfin, 2 visioconférences ont été organisées via le Rectorat de Toulouse avec plusieurs classes, l'une le 6 février à 14 heures, et la suivante le 7 mars à 14 heures, pour suivre l'expédition de manière interactive, pour la faire vivre aux élèves. La qualité de la transmission a été très bonne malgré des conditions météorologiques extrêmes dans cette partie méridionale du Chili.

4- LE CONCOURS MIS EN PLACE

Dans le cadre des échanges scolaires avec l'expédition UP-2023, les classes qui le souhaitent ont pu participer à un concours UP-2022/2023 coorganisé entre le Rectorat de Toulouse et Centre Terre.

Ce concours a eu pour but d'offrir aux classes lauréates une sortie de découverte de la spéléologie avec des membres de Centre Terre, afin de finaliser pleinement le travail d'une année.

↙ Découverte du milieu souterrain pour les classes lauréates.

Photos © Centre Terre



Les ressources mises à disposition par Centre Terre ont permis aux écoliers de travailler sur des thématiques en lien avec l'expédition (climat, anthropologie, culture du sport, logistique, etc.) et de réaliser des productions pour chaque niveau de cycle, évaluées par un jury tripartite composé du Rectorat de Toulouse, de la Fédération Française de Spéléologie, et de Centre Terre.

Ainsi, 12 établissements, avec des classes allant du CP à la 1^{ère}, ont déposé une fiche projet et 4 productions ont été remarquées par le jury, dont deux classes pour la catégorie 1er degré, et deux classes pour la catégorie 2nd degré.

Le concours prit fin en mai 2023 et le jury départagea les finalistes de la manière suivante :

– Les deux classes lauréates ont eu le plaisir de participer à **une journée de découverte de la spéléologie** le 4 juillet 2023 à la grotte de Siech, en Ariège en présence de deux encadrants membres de l'Équipe de Centre Terre UP-2023.

– Les 2 autres classes finalistes ont reçu les **encouragements du jury** accompagnés de confiseries, ainsi qu'un exem-

plaire du livre « **Karst Patagonia** » écrit en 2022 par l'association Centre Terre.

Zoom sur les productions des deux classes lauréates

Pour les établissements du 1^{er} degré, la classe lauréate est : 31-Toulouse, École La Prairie - M^{me} Thabaut – 24 élèves de CM2 – « Carnet de voyage ». Cette production reflète un travail pluridisciplinaire technique, scientifique et s'inscrit dans une démarche d'éducation au développement durable. Le projet met l'accent sur la richesse et la fragilité de la bio et géodiversité de Madre De Dios. Le carnet de voyage présente de jolis dessins, le contenu du texte est bien travaillé autant que l'expression orale.

Pour les établissements du second degré, la classe lauréate est : 31 – Toulouse, Collège Marengo - M. Janzac – 30 élèves de 5^{ème} – « Escape game ». Cette production fait ressortir un travail approfondi tout au long de l'année, utilisant des ressources mises à disposition par Centre Terre, la participation à la visioconférence, l'exploitation des archives des expéditions précédentes, etc., et cela dans l'ensemble des disciplines abordées. Cet escape



game est réalisé sur un support technique interactif et ludique, facile à utiliser, et visuellement très esthétique.

Ces projets sont un bel exemple de sensibilisation des plus jeunes aux enjeux actuels. Retrouvez les réalisations des classes finalistes en suivant ce lien :

<https://www.centre-terre.fr/projet-scolaire-up2023-realizations-laureates.php>

5- AUTRES ACTIONS SCOLAIRES

D'autres projets scolaires sont en cours depuis plusieurs années au sein de Centre Terre. Nous pouvons citer par exemple le programme d'échange linguistique et culturel établi entre les élèves de Puerto Edén (Patagonie chilienne) et l'école de Lorp-Sentaraille (Ariège) dont les racines ont été plantées lors de l'expédition 2017 et qui se poursuit toujours aujourd'hui.

Au cours de l'expédition, il était prévu de faire découvrir la spéléologie aux élèves de Puerto Edén en les faisant venir sur le camp Egg. Ainsi une douzaine d'élèves, grâce au soutien de la CONAF (service de

l'environnement chilien), devaient venir explorer la grotte du Porche Edén spécialement équipée pour l'occasion. Cela aurait été une opportunité pour ces enfants de s'approprier tout un pan de leur culture, en visitant une cavité fréquentée par leurs ancêtres. Malheureusement, les conditions météo n'ont pas permis l'acheminement des élèves. Néanmoins à plusieurs reprises ces derniers ont pu découvrir les aspects techniques de l'activité grâce aux ateliers proposés par Natalia Morata lors de ses passages à l'école de Puerto Edén.

6- REMERCIEMENTS

Le suivi scolaire n'aurait pu se faire sans le soutien et l'organisation de l'équipe de la DAAC du Rectorat de l'académie de Toulouse. Nos remerciements vont également aux enseignants et aux élèves s'étant impliqués dans le suivi de l'expédition UP-2023.

Pour l'équipe de Centre Terre, c'est sous l'impulsion de membres motivés à cette tâche, et sous la direction de Bernard Tourte, que le volet scolaire a contribué à donner à la dimen-



sion éducative toute sa place au sein des expéditions.

Pour la partie chilienne, l'énorme travail de Natalia Morata dans la traduction et la mise à jour des fiches pédagogiques est à souligner, tout autant que ses multiples interventions à tous les niveaux du projet pédagogique.

Nous tenons à remercier le Ministère de l'Éducation nationale pour son agrément ainsi que le Ministère des Sports pour son soutien à ces projets éducatifs par le biais de la Fédération Française de Spéléologie.

Nos remerciements vont également à tous les partenaires financiers qui ont bien voulu s'associer à ce projet éducatif UP-2023, comme la CASDEN, le CNES, le Rectorat de Toulouse et la Fédération Française de Spéléologie, sans qui les visioconférences et également les sorties scolaires dédiées aux classes lauréates n'auraient pu avoir lieu.

7- CONCLUSION

Fort de toutes ces expéditions,

↘ & ↙ 31 - Toulouse - CM2 - École La Prairie - Marie-Eve Thabaut.

△ Création d'un faux bulletin météo.

△ L'équipe a décidé de réaliser un Escape Game autour de l'expédition.

Photos © Centre Terre





Centre Terre a su développer son capital pédagogique en impliquant sans cesse ses membres dans leur domaine de compétence.

C'est la volonté de rendre accessible les connaissances au plus grand nombre et de faire vivre les émotions de la découverte aux élèves qui animent l'équipe chargée du lien avec les scolaires. Plus que jamais, à

l'heure des sciences participatives et de l'appropriation de compétences transversales, Centre Terre se veut le lien entre découvertes de terrain et enrichissement des corpus de connaissances.

Il s'agit en ce sens de construire un regard sur le monde pour en apprécier la richesse et développer l'envie de le préserver. Sur de nombreux terrains

d'exploration, l'association a su mettre en synergie les acteurs locaux avec des équipes internationales, pour que chaque expédition soit avant tout une aventure humaine dans tous les sens du terme.

Découvrir, Explorer, Partager sont bien les dimensions au travers desquelles le caractère éducatif prend tout son sens.

◁ & ▷ Présentation au jardin d'enfants de Puerto Edén avec l'équipe éducative.
▷▷ Puerto Edén
Photos © Serge Caillault, Centre Terre



7 - Épilogue





Le mercredi 8 mars, une belle fenêtre météo s'annonce pour le dernier jour d'exploration sur les lapiaz du nord de Madre de Dios. Gonzalo, Jaime, Matías et Christophe montent en renfort au camp des Champipis pour aider au portage du matériel qu'il faut redescendre.

Florian, Jules, Katia et Bernard partent continuer l'exploration du **Gouffre du Rêve Éveillé**. Le programme est chargé, exploration, topographie, séquence photo et vidéo. Après deux bonnes heures de marche, ils atteignent l'entrée de la cavité. Le méandre de la rivière est sculpté dans un marbre gris et blanc magnifique. À la descente, Jules et Florian réalisent l'équipement alors que Katia et Bernard prennent des photos. L'équipe descend un nouveau puits de 20 m et effectue 120 m de première supplémentaire avant d'atteindre un siphon terminal. Sur le retour, une fois la topographie terminée, des séquences pour le film d'Arte sont enregistrées.

Peu de temps après le départ de l'équipe de Bernard, Caroline et David s'élancent en direction du

camp Nord-Ouest pour le démonter et redescendre le matériel.

Une équipe de plongeurs, composée de Franck, Carlos, et Jérémie, accompagnée de l'équipe cinéma et de Serge, tente les dernières plongées à la **Résurgence Golondrina** et à la **Résurgence des Pirates**. Tout d'abord, Jérémie plonge la Résurgence des Pirates. Il s'élance seul. Le courant est fort. Il arrive au terminus à 45 m par -25 m de profondeur et s'engage dans le laminoir. Le mélange eau douce/eau salée rend l'eau très trouble. Il déroule encore 25 m de fil en descendant à -26 m puis remonte à -17 m. Il commence à topographier la galerie au retour, mais un de ses détendeurs part en débit continu. Le problème rapidement réglé, Jérémie décide de retourner au bateau. Les plongeurs partent alors explorer l'autre résurgence, mais le courant n'a pas baissé. Franck et Carlos s'équipent quand même. Le courant est plus fort que le 1^{er} mars. Franck qui a revêtu une combinaison humide arrive sans problème à passer le premier étranglement

de la galerie. En revanche, pour Carlos qui est en combinaison étanche, ça ne passe pas. Sa combinaison offre trop de prise au courant. Les deux plongeurs ressortent, mais Franck ne se laisse pas abattre. Il lui reste encore 200 bars d'air comprimé dans ses bouteilles. Il part donc tenter une nouvelle plongée à la **Résurgence des Pirates**. Il topographie la galerie explorée par Jérémie puis dépasse son terminus d'environ 60 m, et déroule tout son fil d'Ariane. Le retour s'effectue en topographiant cette dernière partie. Le siphon fait 155 m de long, pour une profondeur de 27 m. Il ne reste probablement pas grand-chose pour faire la jonction avec la Grotte des Pirates située au-dessus.

Ce 8 mars, Alex H., Charlotte, et Mehdi partent à 10 heures du matin en direction du **Gouffre des Arches Perdues**. Charlotte et Mehdi partent tranquillement les premiers sans attendre Alex qui termine d'enfiler sa combinaison étanche, au cas où il pleuve... Puis, le Petit les suit, sans pression, mais il ne sait pas encore que la météo sera clémente et qu'il finira cuit-vapeur dans sa combinaison...

Cela ne l'empêche pas de monter comme une fusée et de rattraper sa sœur rapidement. La marche jusqu'au sommet est toujours aussi belle, et aujourd'hui, elle a un goût particulier pour les spéléologues. C'est leur dernière sortie. Ils profitent pleinement de la montée, du paysage, de l'amorti des mousses pour les genoux, de l'accroche des calcaires sous les pieds. Un rayon de soleil vient même les réchauffer. La vie peut parfois être douce ici lorsque le vent s'arrête de souffler et quand la pluie ne tombe pas. Arrivés à l'entrée du gouffre, la question de l'habillement se pose, car les puits peuvent être rapidement arrosés s'il pleut. Alex est en combinaison étanche, Charlotte à une veste Gore-Tex sous sa combinaison spéléo et Mehdi... une superbe veste en laine de mouton! La descente dans le puits d'entrée (P80) est grandiose. Ensuite, il y a un méandre et une étroiture, petite et boueuse, bien pourrie quoi! Puis le méandre s'agrandit et les spéléologues arrivent dans l'actif. Ils progressent rapidement et atteignent le point où ils s'étaient arrêtés lors d'une sortie précédente avant de subir une crue. La rivière est magnifique. Le méandre est sculpté dans le marbre blanc et

on trouve plusieurs marmites remplies de galets rouges. Le siphon terminal est tout aussi beau. Ils commencent la topographie par une galerie remontante d'une dizaine de mètres au-dessus du siphon. La galerie est large et boueuse. Au bout de 30 m, Alex effectue un petit pas d'escalade pour rejoindre une galerie qui part dans une autre direction. Il pense que cette galerie rejoint le plan incliné qu'ils avaient prévu d'équiper plus haut et c'est le cas. Ce raccourci leur évite l'équipement d'une boucle de 120 m. Le deuxième objectif de la sortie était de faire la coloration à la fluorescéine, qui n'avait pas pu être faite la fois précédente à cause des crues. Alex ouvre le paquet et le verse sans ménagement dans la vasque du siphon. Bilan de l'action : Alex a une dent jaune, Charlotte a le nez qui coule en orange et Mehdi à la moustache verte! L'exploration continue en première dans une autre galerie remontante au-dessus du siphon. Les spéléologues remontent ce plan incliné qui n'en finit pas de se rétrécir puis arrivent dans un joli méandre creusé par endroits dans du marbre rouge, probablement bréchique. Enfin, ils arrivent à une petite étroiture sous un gros bloc. La galerie semble

continuer, mais ils conviennent d'arrêter là : 170 m de galeries ont été topographiés pour plus de 70 m de dénivelé. C'est un beau cadeau pour la fin de l'expédition. Au retour, Alex déséquipe la cavité. Les spéléologues sont dehors un peu avant 21 heures. Cette fois-ci, ils n'ont presque pas été arrosés dans la grotte, mais ils sont couverts de boue. Il n'y a pas un cm² propre sur les combinaisons ou les équipements, mais ils sont ravis de leur dernière sortie. Après plusieurs tentatives, ils obtiennent le contact radio avec la cabane et informent de leur retour. Le mot de la fin est pour Charlotte : « *Nous savourons cette descente sous les étoiles et sous la lune pleine, ronde et orange qui éclaire de son reflet les senos de Madre de Dios. Nous prenons le temps de nous arrêter quelques minutes contempler ce spectacle offert par Dame Nature, comme pour nous rappeler notre petitesse, comme pour nous rappeler la chance que nous avons d'être ici, comme pour nous donner l'envie de revenir* ».

Le jeudi 9 mars, c'est la dernière journée sur l'île de Madre de Dios. Tout le monde s'active sous la pluie incessante pour ranger plus de 7 tonnes de matériel et les embarquer dans les cales des bateaux. Les deux

▽ Dans Le Rêve Éveillé.
Photos © Bernard Tourte, Centre Terre



▽ Les lapiaz de Madre de Dios.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre



autres bateaux, que nous avons déjà utilisés en début d'expédition, sont apparus ce jour dans la baie de l'estero Egg: le Don Tito, bateau de Juan venu de Puerto Edén, et le Yepayek, le bateau de la CONAF qui arrive lui de Puerto Natales. Ils sont venus tous deux, en renfort du No te Rindas pour acheminer les 27 membres de l'équipe et le matériel d'expédition jusqu'à Puerto Edén.

Le vendredi 10 mars, toute l'équipe est levée avant la première lueur de soleil pour démonter les tentes et descendre les derniers kilos de matériel. Les bateaux larguent les amarres vers 10 heures du matin. Derniers regards sur l'île de Madre de Dios, qui fut notre terre d'accueil et d'émerveillement lors de ces deux derniers mois, et où il reste encore tant à découvrir...

Il faut une douzaine d'heures de navigation pour arriver à Puerto Edén, village d'où a été lancée, il y a maintenant deux mois l'expédition UP-2023. Le début du voyage est houleux dans la traversée du canal Trinidad, sous influence du Pacifique. Les bateaux sont bien secoués. La navigation est ensuite plus calme à l'abri dans les senos de Patagonie. Vers 23 heures, la petite flottille arrive à bon port, à Puerto Edén. Maria-Isabel et Francisco de la communauté Kawésqar de Puerto Edén, accompagnés d'Aliro, le

directeur du port, accueillent l'équipe de Centre Terre.

Le samedi 11 mars, commence une grande journée de rangement à Puerto Edén où l'ensemble du matériel des trois bateaux est débarqué, séché, trié, reconditionné pour être ensuite chargé dans un camion qui partira demain sur le ferry vers Puerto Natales. Par chance, le soleil est là! L'après-midi, une présentation de l'expédition est faite aux enfants de l'école dans le cadre du partenariat de Centre Terre avec l'équipe éducative de Puerto Edén. La soirée fut partagée autour de délicieux empanadas préparés par Isabel Negue, habitante de Puerto Edén.

Les réveils sont progressifs ce matin du **dimanche 12 mars**. Le ferry étant annoncé pour midi, il reste un peu de temps pour terminer les derniers rangements. À midi, le ferry de la Tabsa fait son apparition dans la baie de Puerto Edén. Le temps est venu pour saluer une dernière fois Maria-Isabel, Francisco, les autorités, et les résidents de Puerto Edén. Le camion contenant tout le matériel de l'expédition embarque et l'équipe s'installe à bord du bateau pour un voyage d'une trentaine d'heures à travers les canaux de Patagonie. La partie terrain de l'expédition UP-2023 est achevée!

Avec un rythme de croisière



continu de 10 nœuds en moyenne (~18 km/h), le ferry trace sa route tranquillement entre les montagnes et glaciers patagons, croisant albatros, lions de mer et cormorans. Débarquée à Puerto Natales le **13 mars** vers 18h30, l'équipe poursuit ensuite sa route en bus jusqu'à Punta Arenas où elle arrive à 22h30.

Le 14 mars, il reste encore une tâche à accomplir pour l'équipe. Il faut une dernière fois charger/décharger: décharger le camion qui était dans le ferry et charger le conteneur de Centre Terre avec tout le matériel qui doit repartir en France. Il ne faut pas longtemps aux membres de l'équipe, rompus à l'exercice, pour remplir le conteneur. Celui-ci arrivera en France au début du mois de juillet 2023.

Le 15 mars, une partie du groupe prend un vol commercial de Santiago à Paris, tandis que d'autres restent à Punta Arenas. Le Secrétariat ministériel régional des biens nationaux de Magallanes a organisé une présentation des résultats préliminaires de l'expédition à l'Institut antarctique chilien (INACH). Bernard et Natalia, ainsi que les autres membres de l'expédition restés à Punta Arenas, sont reçus par Marcelo Leppe, directeur national de l'INACH, et par le représentant régional du Ministère du Patrimoine national, Sergio



◁ Arrivée à Puerto Edén, il faut sécher l'ensemble du matériel avant de le conditionner dans le conteneur pour la France.

▽ Instant de pause au milieu du chantier de séchage.

Photos © Serge Caillault, Centre Terre

◁ & ▷ C'est la fin de l'expédition sur Madre de Dios, il faut tout plier et charger sur les bateaux, direction Puerto Edén, sous une pluie battante.

Photos © Serge Caillault, Centre Terre



Le 16 mars, l'équipe s'est rendue à Santiago et a été reçue le 17 mars au Ministère des Biens Nationaux par le Ministre Javiera Toro et l'Ambassadeur de France au Chili, Pascal Teixeira. C'est l'occasion de présenter les premiers résultats à l'équipe de travail de ce ministère, notre principal interlocuteur institutionnel au Chili, puisque l'archipel Madre de Dios est un Bien National Protégé sous l'administration et la gestion de cette agence de l'Etat chilien.

Le 18 mars, Natalia, qui reste au Chili, et l'équipe, qui rentre en France, se séparent. Ils arriveront à Paris le 19 mars.

Et pour conclure...
Cette expédition 2023 fut riche de découvertes humaines, spéléologiques et scientifiques.

Humaine, avec la présence durant la première moitié de l'expédition de Gabriela Paterito, Maria-Isabel Tonko-Paterito et Francisco Arroyo à nos côtés. En partageant notre quotidien pendant un mois, ces trois membres de la Communauté Kawésqar résidente de Puerto Edén nous ont fait découvrir une petite partie de leur histoire, de leurs coutumes et de leurs légendes. La visite de la **Grotte du Pacifique**, guidée par Maria-Isabel et Richard Maire fut un moment riche d'émotions. D'autres moments d'échanges eurent lieu les 6 février et 7 mars, cette fois-ci avec quelques centaines d'enfants de l'Académie de Toulouse, lors des visioconférences organisées depuis le camp de l'estero Egg. Mais le 11 mars, c'est en chair et en os que les explorateurs de Centre

Terre ont répondu aux questions des enfants de l'école de Puerto Edén, qui, par le biais de l'initiative Cuerdas y Más de l'Asociación Espeleológica de Patagonia, suivent le travail que Centre Terre effectue depuis des décennies sur leur territoire.

Spéléologique, avec dans le secteur nord de l'île de Madre de Dios, à partir du camp de base de l'estero Egg, l'exploration d'une vingtaine de cavités. Leurs développements cumulés totalisent plus de 8 200 mètres de longueur dont presque 4 000 m pour la seule **Grotte des Pirates**. Les plongeurs ont exploré deux résurgences majeures, sur plus de 830 m de galeries ennoyées. De plus, presque cinquante cavités (grottes, perte ou résurgence) ont été géolocalisées mais restent à explorer sur le plateau karstique de l'Estero Egg. Côté Barros Luco, les reprises d'explorations des **gouffres Jackot** et **des 3 Entrées + 1** permettent d'atteindre respectivement 1 350 m et 3 260 m de développement pour ces deux réseaux. Une nouvelle cavité côtière fut également découverte (**Réseau de l'Ancien**: 710 m de longueur). Sur le glacier, 12 moulins ou pertes furent explorés, dont la plus profonde mesure 120 mètres.

Scientifique, avec un nombre et une diversité d'études jamais atteints lors d'une expédition



Centre Terre. Ces études concernent aussi bien les Sciences de la Terre (paléoclimatologie, géomorphologie, glaciologie, etc) que les Sciences du Vivant et de l'Environnement (études chiroptères, ADN environnemental, biofilms microbiens, etc). Plusieurs études, inédites et novatrices, sont portées par de jeunes chercheurs français et chiliens.

Enfin, l'expédition 2023 fut le support du film documentaire produit par MC4 pour la chaîne

Arte « *Ultima Patagonia 2: la dernière frontière* » qui a rencontré un vif succès auprès du public. La parution de nombreux articles dans la presse écrite conforte ce succès. Le film sera traduit en espagnol et présenté au Chili dans le courant de l'année.

L'expédition 2023, passionnante à tous égards, s'achève avec la publication de ce rapport. Nous nous tournons déjà vers l'avenir, vers notre prochaine aventure en Patagonie, ou ailleurs, mais

toujours sur des terrains karstiques ou de glace.

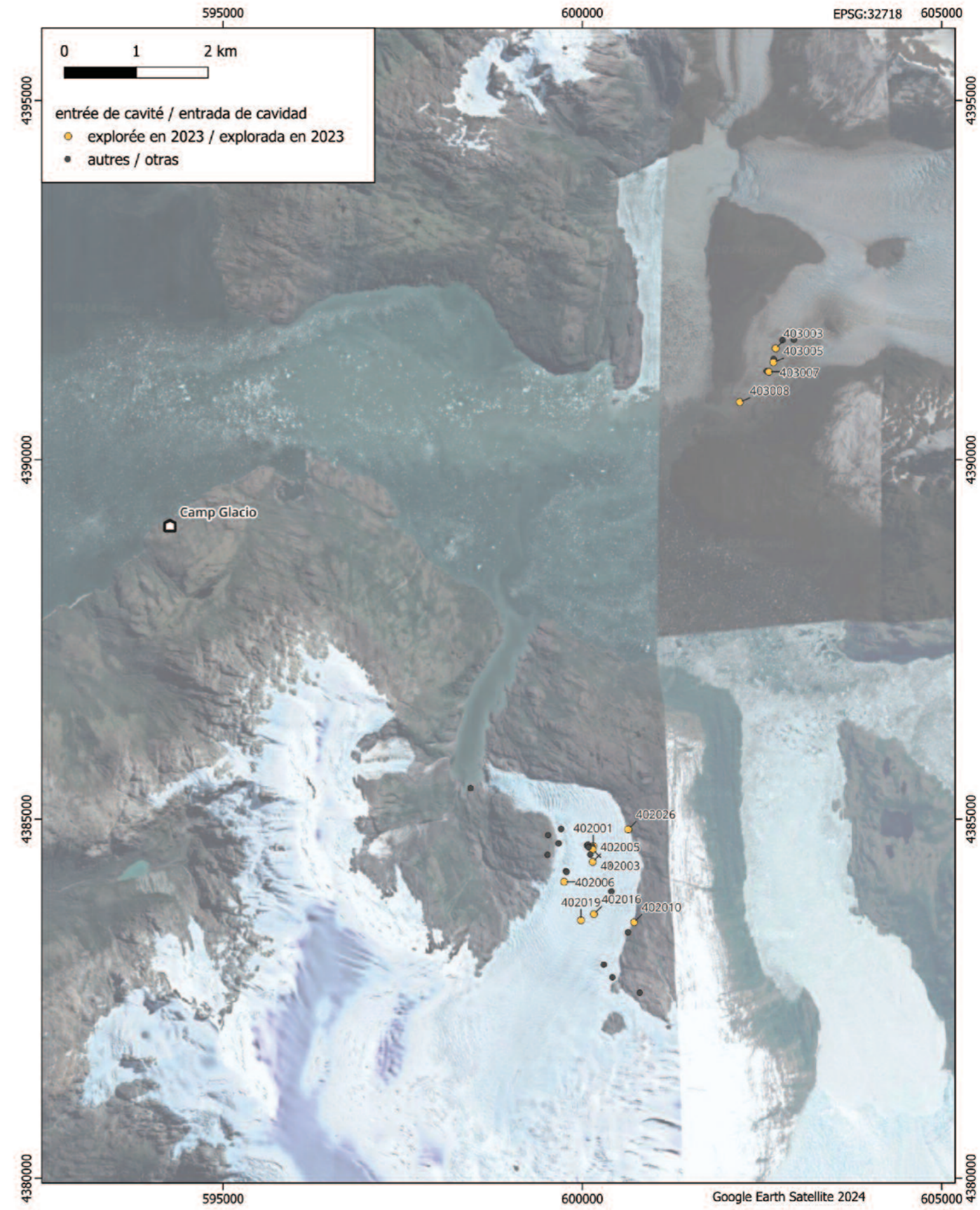
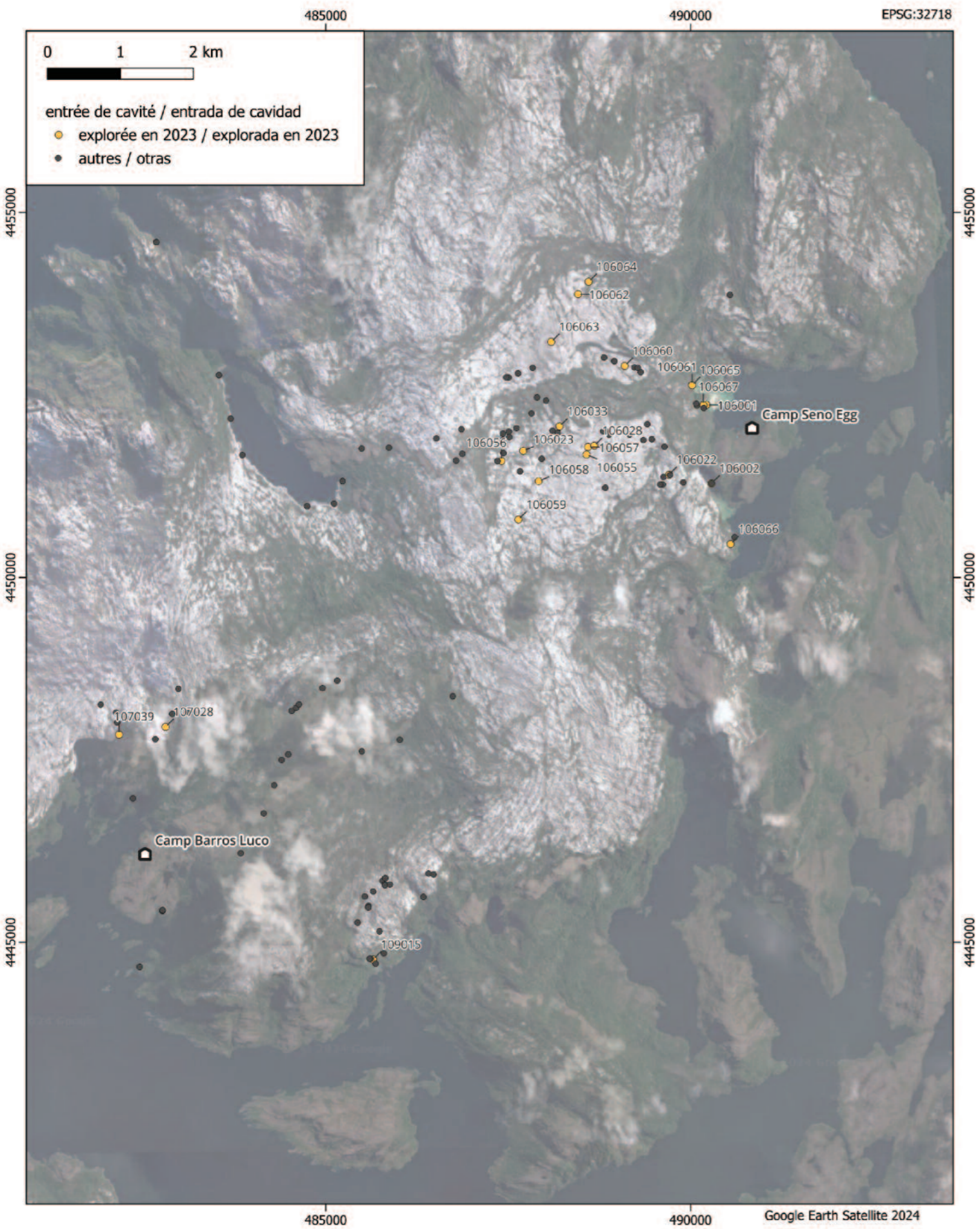
Les idées de destinations extrêmes ne manquent pas dans les cerveaux bouillonnants des explorateurs de Centre Terre. Mais quels que soient la destination et les conditions techniques, environnementales ou climatiques, nous aurons toujours à cœur de porter bien haut les maîtres mots de notre association « **Découvrir, Explorer, Partager** ».

▷ Présentation de l'expédition aux autorités chiliennes à Santiago du Chili. Au centre Monsieur l'ambassadeur de la France et Madame la ministre des Biens Nationaux du Chili.

▷ Nous quittons malgré nous l'estero Egg... Photos © Serge Caillault, Centre Terre



Cartes des pointages des cavités et camps Centre Terre



numéro de carte	nom / nomen	X	Y	Z	développement / desarrollo	dénivellation / desnivel
Egg						
106001	Cueva Pirates	490220	4452363	10	3954	154
106002	Cueva No Time	490289	4451286	70	437	105
106022	AvenDesArchesPerdues	489704	4451405	358	1431	306
106023	GouffrePlusPlus	487708	4451733	238	133	88
106028	Perte Sous Le Lac Turquoise	488683	4451804	272	15	50
106033	GouffreDuBowling	488207	4452069	294	221	66
106055	Perte25MetresNageLibre	488575	4451682	262	77	41
106056	PerteChampis	487409	4451595	210	34	27
106057	GouffreDuDejaVu	488596	4451785	280	151	34
106058	Perte du Disto	487919	4451318	240	200	40
106059	El Pozo Granizo	487642	4450792	281	81	81
106060	Puits de l'Arche	489099	4452897	201	32	21
106061	ResurgenceGolondrina	490023	4452633	0	676	78
106062	GrandeFailleDuBoutDuMonde	488459	4453880	244	56	43
106063	TraverseeDeLIndecision	488092	4453227	280	108	19
106064	Reve Eveille	488605	4454050	145	331	124
106065	PorcheEden	490023	4452633	5	76	29
106066	Casablanca	490551	4450456	10	73	17
106067	Resurgence des Pirates	490177	4452360	0	155	27
Barros Luco						
107028	Gouffre Jackpot	482804	4447950	369	1350	303
107039	Grotte de l'Ancien	482166	4447844	330	710	34
Trois Entrées						
109015	Grotte des trois entrees plus une	485649	4444763	53	3258	114
HPS-35						
402001	Perte3-HPS35	600151	4384623	439,4	30	20
402003	Perte5-HPS35	600145	4384573	446,1	65	50
402005	Perte7-HPS35	600144	4384403	459,5	115	75
402006	Moulin de la Science	599747	4384126	494,2	14	5
402010	Perte de Rascarcapac	600721	4383564	491,8	65	50
402016	Perte15-HPS35	600162	4383677	539,4	15	15
402019	Perte11-HPS35	599981	4383590	533,3	7	7
402026	Perte-??	600640	4384856	451	180	120
HPS-31						
403003	Perte3-HPS31	602692	4391550	269,6	15	10
403005	Perte5-HPS31	602660	4391355	212,8	10	10
403007	Perte7-HPS31	602597	4391224	178,1	25	20
403008	GrotteLapisLazuli	602192	4390803	27	80	5

◁ Camp Glacio

Photo © Serge Caillault, Centre Terre



∇ Camp Barros Luco, UP2019

Photo © Serge Caillault, Centre Terre

∇ Camp Estero Egg, UP2023

Photo © Serge Caillault, Centre Terre





Géométrie et dynamique du glacier HPS-35 : explorations, photogrammétrie, modélisation numérique

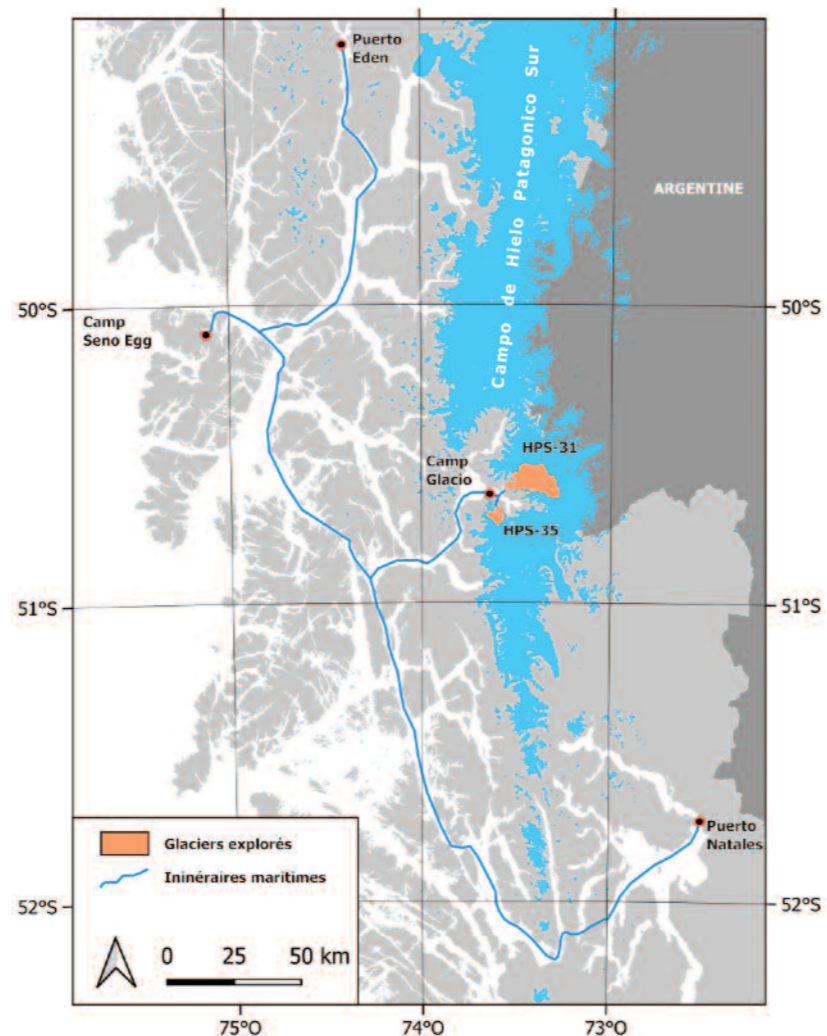
Tanguy RACINE

Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie
Université de Neuchâtel

Introduction

La calotte de glace patagonienne sud, dénommée Campo de Hielo Patagonico Sur (HPS) recouvre une surface de près de 13 000 km carrés comprise entre 48°S et 51°S de latitude dans une fourchette allant de 800 à 2000 m d'altitude. Les glaciers maritimes de Patagonie chilienne transfèrent la neige et la glace accumulées sur la calotte vers l'océan Pacifique (Figure 1) moyennant tout un jeu de processus: glissement, déformation de la glace et aussi du substrat sous-glaciaire. La vitesse de déplacement de ces glaciers dépend du bilan des forces entre la gravité et les forces de résistances comme la friction au socle et aux marges du glacier (Benn et Evans, 2010). La distribution des températures au sein de la glace dépend quant à elle du régime d'accumulation et d'ablation le long du glacier et au cours d'une saison. La plupart des glaciers chiliens sont tempérés, c'est-à-dire que le signal de température lié à la vague de froid hivernale est complètement effacé dès l'été suivant. Dans la région, les taux d'accumulation de glace atteignent jusqu'à 14 m (équivalent hydrique) par an (Schwikowski et al., 2006), ce qui les place parmi les plus élevés au monde. Ceux-ci résultent des précipitations extrêmes apportées par les vents d'ouest dominants, qui tombent sous forme solide à très basse altitude.

L'épaisseur de la glace à chaque point de la ligne d'écoulement varie en réponse à l'accumulation en amont et de la topographie sous-glaciaire. En l'absence de glissement, la vitesse d'écoulement est nulle en marge du glacier et atteint un maximum en surface, au centre. La vitesse d'écoulement augmente avec l'épaisseur de la glace et avec la pente sous-glaciaire. Aux zones de ralentissement ainsi qu'à celles d'accélération, des contraintes de compression ou de tension favorisent le développement de réseau de crevasses. Ces fractures régissent l'hydrographie en surface et à l'intérieur du



glacier en conditionnant les lieux propices au développement de moulins.

Site

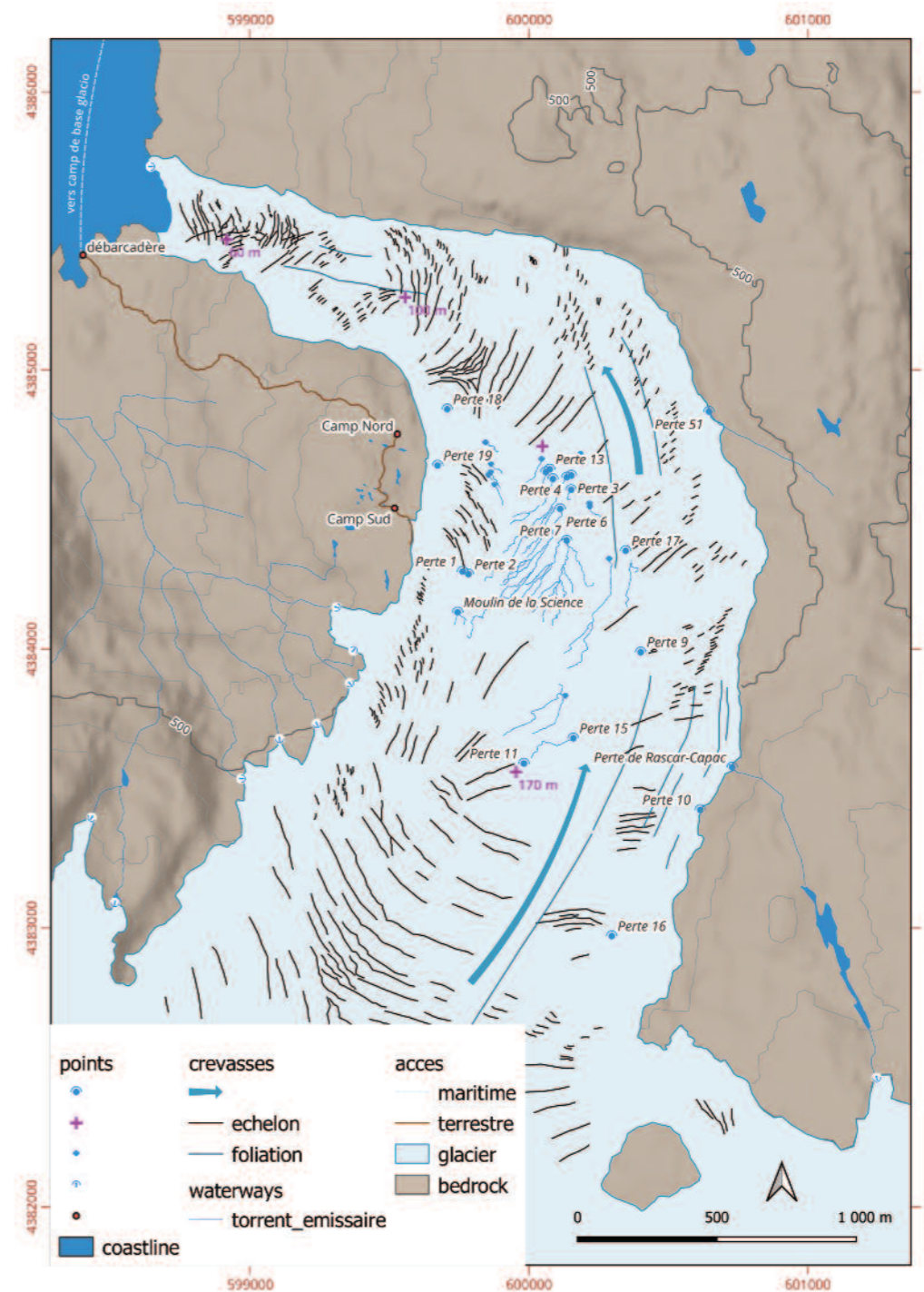
Le HPS-35 est un glacier à terminaison maritime du HPS, centré sur 50°42'S / 73°35'W, se jetant dans une anse en bordure sud de l'Estero Calvo (Figure 1 & 2). L'emprise du glacier en l'an 2000 dépassait 17,7 km² selon la base de données Randolph Glacier Inventory (RGI, 2023). Son altitude médiane était de 815 m, pour une altitude maximale de 1 569 m. Une partie de la glace diffuse vers l'ouest pour se jeter dans une vallée auxiliaire, dans laquelle un lac pro-glaciaire s'est formé. Le glacier est bordé à l'est par un éperon rocheux le séparant du glacier voisin HPS-34. Vers l'ouest, le glacier longe un cirque glaciaire et y lance quelques digitations sans s'y jeter totalement (Figure 2). Le glacier flue d'abord vers le nord en pente douce et puis fait un coude marqué vers l'ouest où il

se rétrécit considérablement, passant de 1 km de large à 300 m. Il plonge ensuite abruptement vers le fjord de l'Estero Calvo formant une langue terminale de 300 m de large, très densément crevassée qui vèle directement dans la mer.

Méthodes

Réalisation d'une orthophotographie par photogrammétrie

Six survols de la zone aval du glacier HPS-35 ont été programmés durant l'expédition UP2023, totalisant 1085 prises de vues avec un drone Mavic Mini2 (Tableau 1). L'appareil a été piloté de manière manuelle, mais suivant un tracé prédéfini en serpents pour quadriller la zone au mieux. Au total 1077 prises de vue ont été assemblées. La hauteur de vol est comprise entre 100 à 150 m et l'angle de vue choisi a été de 80°. La procédure de reconstruction du modèle numérique



<1 Figure 2 Morphologie et hydrologie de surface du glacier HPS-35.

© Tanguy Racine, Centre Terre.

de terrain est effectuée grâce à la librairie ODM. Les modèles des six zones ont ensuite été fusionnés grâce à un algorithme de minimisation de distances entre nuages denses de points. Des cibles placées au sol ont été localisées grâce à un GPS de

type Garmin, avec une erreur affichée d'un peu plus de 3 m. La procédure de géoréférencement dans ODM donne quant à elle une erreur moyenne de 5 m entre les points de références GPS et la position des cibles photographiées dans le modèle.

L'orthophotographie ainsi produite a une résolution comprise entre 3,8 et 8,3 cm par pixel (Tableau 1). Le modèle numérique de terrain reconstruit par photogrammétrie a, quant à lui, une résolution de 20 cm par pixel.

vol	date	Superficie du modèle (km ²)	nombre de photos utilisées	Erreur (GPS)	Distance d'échantillonnage au sol (cm / pixel)	Nombre points dans nuage
1	26/01/2023	0,53	73	3,28	8,3	6,9 10 ⁶
2	28/01/2023	0,64	12	3,17	5,5	14,0 10 ⁶
3	28/01/2023	1,23	243	2,91	4,1	29,0 10 ⁶
4	28/01/2023	0,68	153	2,44	3,8	19,2 10 ⁶
5	02/02/2023	1,01	222	3,00	5,2	27,3 10 ⁶
6	03/02/2023	0,54	154	4,32	6,3	14,5 10 ⁶

<1 Tableau 1 Statistiques des modèles photogramétriques des 6 survols du glacier HPS35.

© Tanguy Racine, Centre Terre.

Calculs des champs de vitesse

Plusieurs entrées de moulins et intersections de plans de fracture identifiés sur l'image satellite Airbus ont pu être retrouvées sur l'image acquise au drone la saison suivante. La date de l'image satellite Airbus est estimée au plus tôt le 22/02/2022 (selon les métadonnées mises à disposition sur Google Earth Web). Compte tenu de l'absence de neige jusqu'à une altitude de 700 m environ, ainsi que l'activité des exutoires sous-glaciaires en marge du glacier HPS-35, on peut conclure qu'elle a été également prise avant quelque chute de neige hivernale des mois de juin, juillet et août 2022. On place donc la date d'acquisition entre le 22/02/2022 et le 01/06/2022. Le laps de temps entre cette image et l'orthophoto acquise lors de l'expédition UP2023 est donc compris entre 245 et 344 jours. Les points de repère entre deux acquisitions d'image ont été utilisés pour reconstruire un champ de vitesse à la surface du glacier.

Modélisation et prédictions des écoulements avec OGGM

Le glacier HPS-35 (RGI-17.15792) a été modélisé grâce à l'Open Global Glacier Model (OGGM, Maussion et al. 2019). Cette suite de modèles permet de simuler l'évolution de glaciers selon différents scénarios climatiques passés et futurs. Sont nécessaires: l'emprise de chaque glacier, les données climatiques et des modèles numériques de terrain et permet de calculer i) l'hypsométrie du glacier, ii) de proposer un modèle de topographie sous-glaciaire et donc d'en estimer le volume et enfin iii) renvoyer son bilan de masse.

En pratique, l'emprise du glacier est projetée sur un modèle numérique de terrain par exemple, le jeu de données SRTM (Shuttle Radar and Topography Mission). Les lignes de flux sont calculées selon un algorithme de cheminement adapté d'après Kienholz 2014. S'ensuit un calcul des bassins versants de chaque ligne de flux. Les données climatiques sont alors interpolées sur chacun des points de la ligne centrale. Un modèle prédit la répartition entre précipitation

solide et liquide à partir de courbes de température et calcule alors un bilan de masse mensuel à chaque point de la ligne centrale (Hugonnet et al, 2021). Par défaut sur OGGM, le modèle d'évolution de la géométrie du glacier résout une équation de diffusion pour calculer l'épaisseur de la glace (Oerlemans, 1997). L'épaisseur de la glace est calculée selon un principe géométrique de conservation de la masse de glace en variant la géométrie entre un profil rectangulaire, trapézoïdal ou parabolique.

Les vitesses à la surface prédites par le modèle OGGM ont été confrontées aux estimations par correspondance de points, calculées à partir du modèle photogrammétrique. Enfin le modèle OGGM a été utilisé pour simuler la dynamique du glacier HPS-35 sous un scénario climatique le plus optimiste pour le XXI^e siècle (SSP126, IPCC 6th Assessment Report).

Les crevasses et la topographie sous-glaciaire

Crevasse transversales: les crevasse d'extensions sont visibles là où le glacier accélère dans l'axe longitudinal. Elles sont particulièrement bien visibles en amont et en aval de la zone des moulins, et elles sont orientées perpendiculairement au déplacement du glacier. En amont des pertes 11 et 16 par exemple, elles sont orientées vers le NO, tandis que le glacier s'écoule vers le NE. Juste en aval de la perte 13, qui marque la fin de la zone des moulins. La plupart atteignent une longueur de quelques centaines de mètres. Selon le modèle photogrammétrique, elles atteignent une profondeur d'au moins 10 m (Figure 3).

Crevasse en échelon: On trouve ces crevasse groupées en majorité sur les marges du glacier, et au niveau du coude. Celles-ci se forment au départ perpendiculairement à la direction maximale de tension puis subissent une rotation due à l'influence de la marge du glacier sur les axes de déformation. Sur le HPS-35, les zones à crevasse en échelon sont particulièrement denses autour de la bordure extérieure du coude (Figure 3C & D). On en trouve aussi en rive gauche au-dessus du cirque non englacé

où se jettent de multiples exutoires.

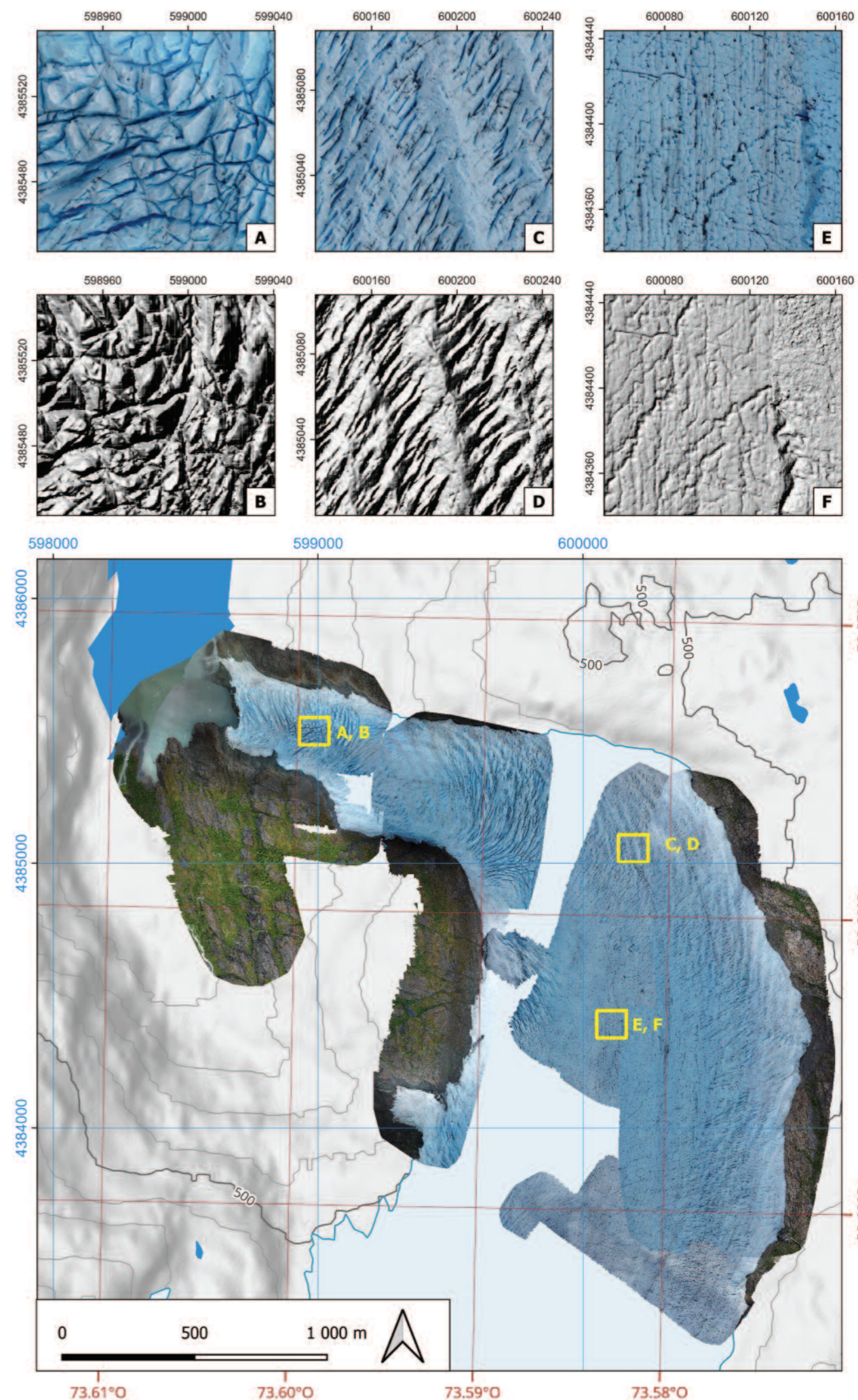
Chaos: On trouve une zone intensément crevascée à l'extrême aval du glacier HPS35. Les effets concomitants d'une friction latérale élevée due au rétrécissement des parois de la vallée ainsi à la raideur de la pente se traduisent par le développement d'un réseau de fractures chaotiques. L'interférence des multiples contraintes donne lieu à plusieurs orientations préférentielles qui cisailent la surface du glacier en blocs polygonaux décimétriques.

Topographie sous-glaciaire

La topographie sous-glaciaire est calculée selon des critères géométriques et des considérations physiques de conservation de masse d'une section à l'autre. En soustrayant l'épaisseur de glace de la topographie de la surface du glacier, on retrouve l'altitude du contact glace / roche. On voit que depuis le terminus, le glacier passe au-dessus de deux verrous qui viennent ralentir l'écoulement du glacier, le premier se situant à 1 km du terminus (au niveau du coude), le second entre 3,5 et 4 km du terminus, c'est-à-dire, juste en amont des pertes 11 et 16. Chacun des ombilics respectifs atteint une profondeur d'environ 100 m (Figure 4). Deux affluents ont été identifiés durant l'inversion d'emprise du glacier. Le premier correspond à une zone d'accumulation située au sud-est du glacier. Le second, situé au nord-ouest ne contribue pas de manière significative au bilan de masse du HPS-35 car il s'agit d'une langue glaciaire qui n'est limitrophe du glacier que sur une bande d'une centaine de mètres. Le reste de l'affluent est séparé du HPS-35 par une barrière rocheuse orientée nord-sud.

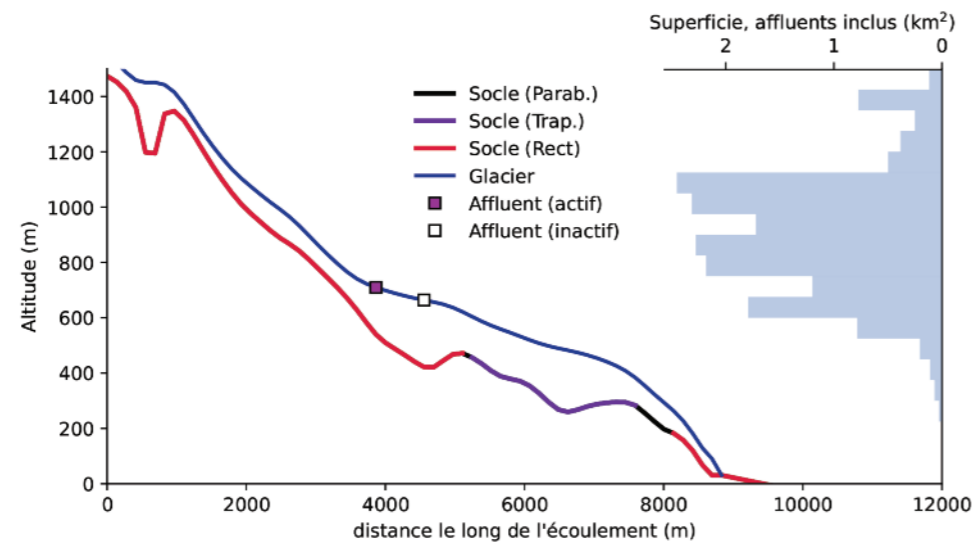
Morphologie et localisation des moulins

Les membres de l'expédition UP2023 localisent pas moins de 19 moulins à la surface du glacier, d'autres encore sont visibles sur l'orthophotographie générée par photogrammétrie (Figure 2, 3). Les moulins sont localisés pour la plupart dans une zone précise du glacier, à savoir entre les zones impactées par les crevasse. Toute la zone d'altitude autour de 400 à 500 m



▷▷ Figure 3 : Orthophotographie et modèle photogrammétrique de terrain du glacier HPS-35.

© Tanguy Racine, Centre Terre.



▷ Figure 4 : résultat d'inversion de la topographie du glacier HPS-35 grâce au modèle OGGM (Maussion et al., 2016).
© Tanguy Racine, Centre Terre.

est recouverte d'un dense réseau hydrographique de surface qui suit à la fois les traces d'anciennes crevasses formées en amont et désormais colmatées ainsi que l'orientation des foliations glaciaires. Cette zone de moulin délimitée par les crevasses coïncide donc grossièrement avec le premier ombilic. Le réseau de bédrières de surface se développe dans l'aval immédiat des zones crevassées, puis se perd en bordure amont de la prochaine zone.

Les moulins glaciaires qui s'y sont développés atteignent une profondeur explorée de 70 m et semblent continuer de manière infranchissable pour cause d'étranglements ou de trop grande quantité d'eau. Les moulins se forment principalement à

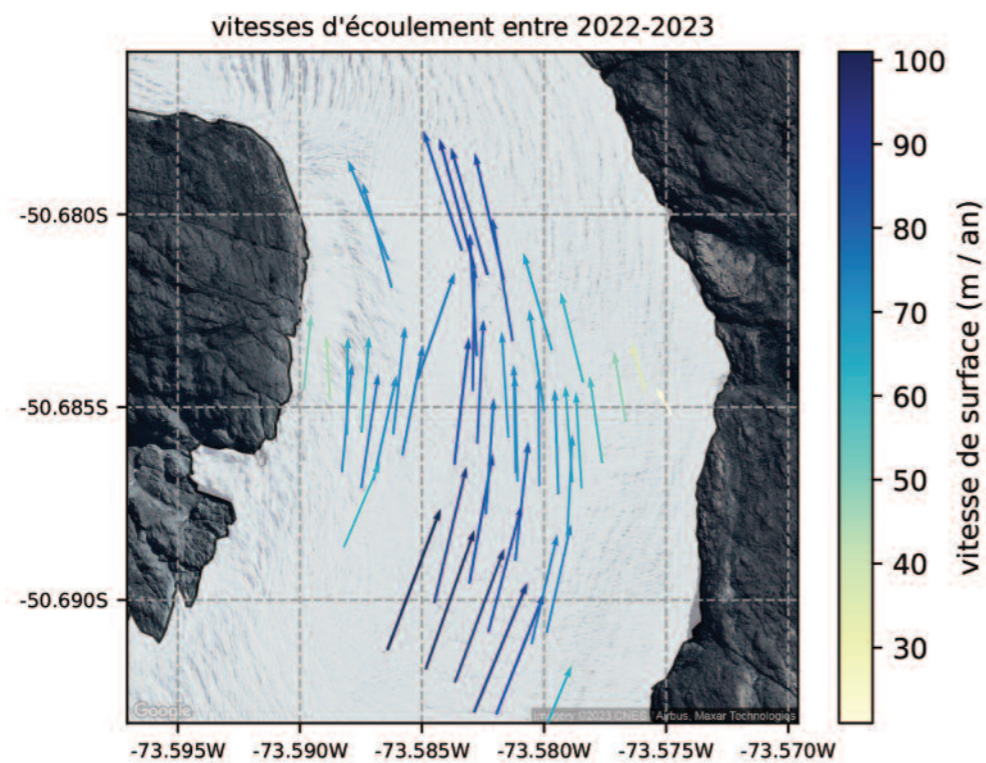
l'intersection de plusieurs plans de fracture dans la glace.

Plusieurs pertes au contact entre glacier et substrat rocheux ont été explorées par les membres d'UP2023. Parmi ces cavités dites marginales (Piccini, 2002), la perte majeure de Rascar-Capac doit son caractère à une situation peu anodine. Une partie des eaux de fontes de la zone amont du glacier sort du système grâce à un exutoire perché à une altitude de plus de 700 m. Ces eaux alimentent un lac de surface qui se déverse ensuite en cascade de nouveau au contact du glacier HPS35 (Figure 2). C'est ce raccourci de surface qui permet notamment à la cascade de déverser un débit proche du mètre cube à la seconde en période de fonte, et

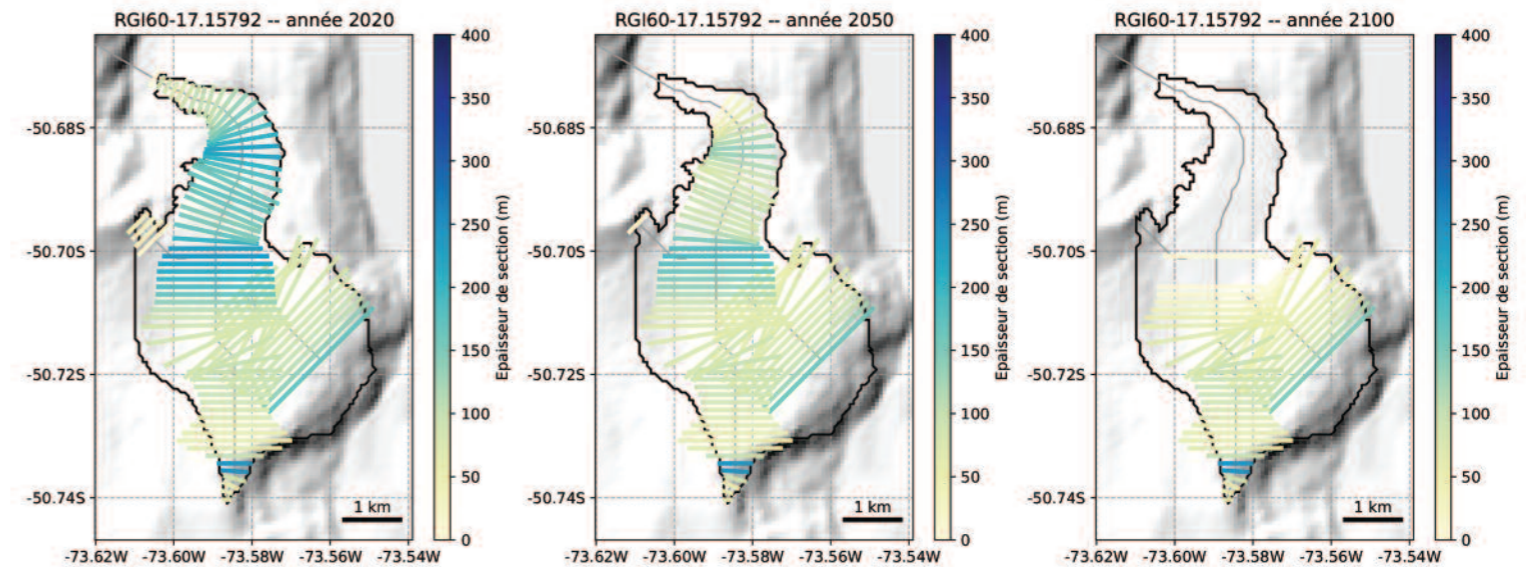
en l'absence de précipitations. La cavité se développe au contact du glacier, atteignant une profondeur de 65 m au moins.

Dynamique du glacier présente et future

La dynamique présente du glacier HPS35 peut être approximée par le champ des vitesses d'écoulement en surface. La comparaison de deux orthophotographies prises avec un an d'écart permet de retrouver la direction et la magnitude du mouvement du glacier en surface. On peut alors confronter les résultats de la modélisation avec OGGM avec vecteurs de vitesse dérivés par identification de points communs entre les deux prises de vues. Grâce aux orthophotographies, on voit



▷ Figure 5 : calcul des vecteurs d'écoulement de la surface du glacier HPS-35 par correspondance de points.
© Tanguy Racine, Centre Terre.



△ Figure 6 : prédiction des épaisseurs de glace pour le HPS-35 à plusieurs échéances sous le scénario climatique SSP126.
© Tanguy Racine, Centre Terre.

que la vitesse de surface croît des extrémités vers le centre du glacier, variant ainsi de 20 ± 10 m par an pour atteindre jusqu'à 100 ± 10 m à 2000 m du terminus (Figure 5). On note aussi un ralentissement à l'approche du coude le long de l'axe longitudinal du glacier – du sud au nord – dans une zone en pente plus douce. C'est également là que le réseau hydrographique de surface est le plus dense. Le modèle OGGM donne pour la même zone, une vitesse de surface allant de 50 à 70 m par an en moyenne.

L'inversion de la topographie sous le glacier HPS-35 permet d'estimer une épaisseur de glace allant de quelques dizaines de mètres au terminus glaciaire, jusqu'à près de 250 m sous la zone des moulins explorée durant l'expédition. La vitesse du mouvement du glacier le long de la ligne centrale varie entre 30 et 80 m par an en moyenne.

Futur : Les simulations de l'évolution du glacier HPS-35 sont réalisées dans le contexte du scénario climatique SSP126 jusqu'à l'an 2100. Ce scénario est le plus optimiste, car limité à un forçage anthropique de $2,6 \text{ W/m}^2$, et correspond à une hausse des températures globales de 2 °C pour la fin du siècle. Dans ce scénario, la zone des moulins explorée en 2023 sera encore couverte de glace en 2050, mais avec une épaisseur divisée par deux (Figure 6). Le terminus glaciaire se situerait probablement au niveau du camp nord, c'est-à-dire à presque 300 m d'altitude. Il est

notoire qu'en 2100, même dans un scénario climatique des plus optimistes, la totalité de la zone de prospection sera probablement dénuée de glace.

Conclusions

Le modèle photogrammétrique assemblé grâce aux prises de vue en drone durant l'expédition UP2023 a permis de calculer un champ de vitesses d'écoulement par correspondance de points entre février 2022 et février 2023. Dans la zone propice aux moulins, le glacier HPS-35 s'est écoulé avec

une vitesse allant de 30 à 100 m par an des marges vers le centre. La modélisation numérique du glacier par le biais de l'OGGM donne des vitesses d'écoulement dans le même ordre de grandeur (entre 30 et 80 m par an) et permet de recalculer une épaisseur probable de glace par inversion, qui atteint 200 m dans la zone des moulins. La modélisation du glacier dans un scénario climatique même optimiste laisse entrevoir un très large repli du terminus du glacier en amont de la zone d'exploration UP2023 d'ici à la fin du siècle.

Bibliographie

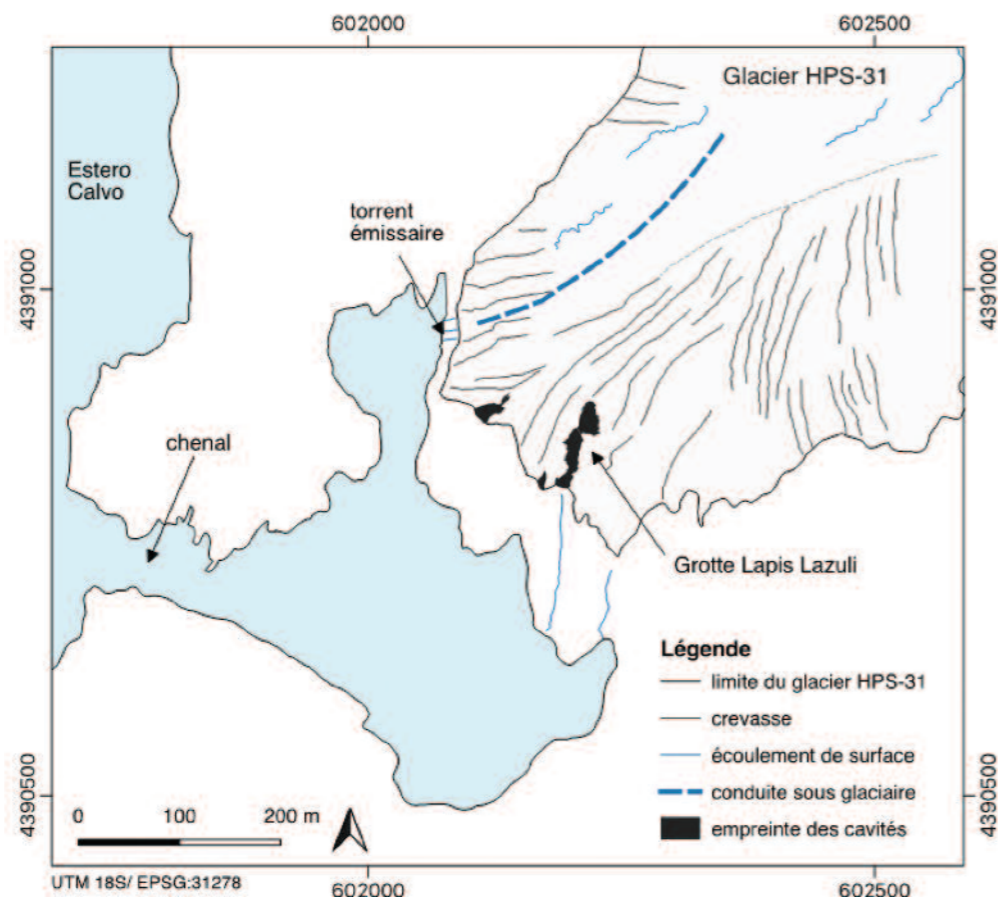
- Benn, D. I., & Evans, D. J. A. (2010). *Glaciers and Glaciation*. Hodder Education. London, UK, 802.
- Herzfeld, U. C., Clarke, G. K., Mayer, H., & Greve, R. (2004). Derivation of deformation characteristics in fast-moving glaciers. *Computers & Geosciences*, 30 (3), 291-302.
- Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, et al. (2021). Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*, 592 (7856), 726-731. Doi: 10.1038/s41586-021-03436-z
- Hutter K. (1983) *Theoretical Glaciology: Material Science of Ice and the Mechanics of Glaciers and Ice Sheets*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Marzeion, B., Jarosch, A. H., & Hofer, M. (2012). Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere*, 6 (6), 1295-1322. Doi: 10.5194/tc-6-1295-2012.
- Meier, Wolfgang Jens-Henrik (2018): *Glacier inventory for the Patagonian Andes, link to shape files*. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.891211>
- Oerlemans, J. (1997). A flowline model for Nigardsbreen, Norway: projection of future glacier length based on dynamic calibration with the historic record. *Journal of Glaciology*, 24, 382–389. Doi: 10.3189/S0260305500012489
- RGI 7.0 Consortium, 2023. *Randolph Glacier Inventory - A Dataset of Global Glacier Outlines, Version 7.0*. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. Doi: 10.5067/f6jmovy5navz
- Schwikowski, M., Brüttsch, S., Casassa, G., & Rivera, A. (2006). A potential high-elevation ice-core site at Hielo Patagónico Sur. *Annals of Glaciology*, 43, 8-13. Doi: 10.3189/172756406781812014

Relevé 3D de la grotte Lapis Lazuli

Tanguy RACINE

Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie
Université de Neuchâtel

▷ Figure 1 : Situation des cavités sous-glaciaires explorées au glacier HPS-31.
© Tanguy Racine, Centre Terre.



Introduction

L'organisation des réseaux de conduits sous-glaciaires, en particulier ceux qui se développent à l'interface entre la glace et la roche sous-jacente, module la dynamique d'écoulement de nombreux glaciers (Hewitt, 2013). La perméabilité de la glace intacte est si faible que le transport des eaux de fontes au travers d'un glacier pour rejoindre un exutoire se fait au gré des crevasses et des fractures préexistantes, formant un réseau hydrologique au sein même du glacier (Liboutry, 1996; Gulley et al., 2009).

L'organisation et la connectivité du système hydrologique sous-glaciaire évoluent au cours de la saison. En hiver, le système est à l'étiage et la déformation de la glace ferme les conduits existants. À l'arrivée du printemps et de la fonte des glaces, les quantités d'eaux grandissantes élargissent les conduits et évacuent l'eau de fonte par un réseau de plus en plus canalisé qui module les vitesses de glissement de base (Moon et al., 2014; Church et al., 2020).

L'exploration des cavités en

bordure de glaciers maritimes pendant la période estivale menée par UP2023 permet de mieux comprendre l'organisation hydrologique d'un glacier type alors qu'il est mis en charge, d'en identifier les différents exutoires, présents et passés et de les caractériser d'un point de vue morphologique.

Description

Dans la baie de l'Estero Calvo vèle une multitude de glaciers qui déversent les glaces de la calotte patagonne sud vers le Pacifique. On y trouve aussi plusieurs langues glaciaires descendant jusqu'à quelques dizaines de mètres d'altitude. L'une d'elles, dénommée HPS-31, a été explorée pendant l'été austral 2023. Le terminus du glacier HPS-31 se situe en marge d'un ancien ombilic glaciaire qui forme une crique protégée, accessible par un chenal d'une cinquantaine de mètres de largeur. L'impressionnant torrent émissaire qui émerge de la base du glacier cascade sur une dizaine de mètres avant de rejoindre cette crique.

En bordure sud-est de cette langue glaciaire, et à une altitude d'environ 20 m

s'ouvrent plusieurs cavités, formées au contact entre glace et roche (Figure 1). L'un des porches donne dans la **grotte Lapis-Lazuli**, une cavité développant 80 m de cheminement en remontant légèrement, et qui comprend en amont une deuxième entrée devant son origine à l'arrivée d'eau d'une des nombreuses bédrières du glacier HPS-31. Les volumes présents, ainsi que les morphologies d'érosion et de fonte sous-glaciaires qui y sont en évidence suggèrent alors un rôle d'exutoire antérieur du glacier. Pour vérifier ces observations préliminaires, une équipe de l'expédition Centre Terre a procédé à un relevé photogrammétrique détaillé de la cavité, croisé avec des observations morphologiques à diverses échelles.

Méthode

Le relevé photogrammétrique a été conduit en quatre temps. Les positions 3D d'une vingtaine de cibles imprimées au préalable ont été recalées au moyen du distoX par une première équipe. Les positions des cibles dans le référentiel de la reconstruction photogrammétrique ont été alignées avec

les premières par translation et rotation, ceci afin de pouvoir orienter un futur modèle photogrammétrique.

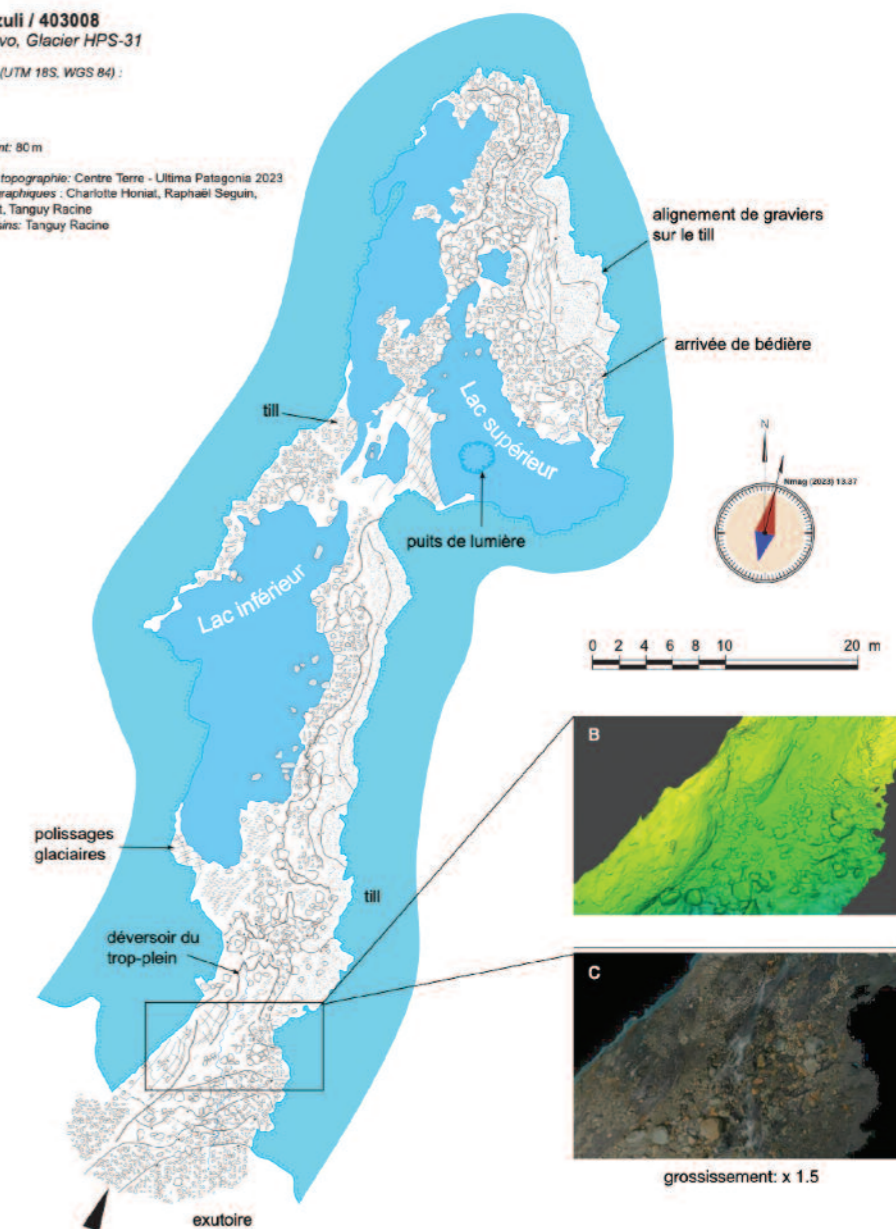
Une deuxième équipe a commencé le relevé photographique dense avec un appareil Nikon-Z5 (focal fixe de 20 mm) et un flash Yongnuo-560-III déporté de 30 cm horizontalement sur une armature. Un diffuseur, ainsi qu'un filtre polarisant à la fois sur le flash et sur l'objectif ont été ajoutés pour minimiser les reflets indésirables des parois de glace de la cavité. La séance a nécessité finalement un peu plus de 4 heures, avec 1058 clichés retenus pour le calcul du modèle 3D. Le modèle a été reconstruit par corrélation d'images en utilisant l'algorithme SfM (structure from motion) du logiciel Agisoft Metashape. Le modèle a ensuite été orienté et mis à l'échelle en appliquant la transformation spatiale qui minimise les erreurs résiduelles entre la position des cibles et les valeurs mesurées avec le DistoX.

En raison de ses 80 m de développement et du nombre important de clichés, le traitement des données de la grotte Lapis Lazuli a été divisé en trois zones: entrée (357 images), 1er lac (380 images), salle terminale (348 images) afin de produire trois modèles à haute résolution comprenant plus de 450 000 faces chacun. Les coordonnées géographiques des points de contrôle ont été calculées grâce au

Lapis Lazuli / 403008 Estero Calvo, Glacier HPS-31

Coordonnées (UTM 18S, WGS 84) :
X : 602192
Y : 4390893
Z : 27 m

Développement: 80 m
Développé: 5 m
Exploration et topographie: Centre Terre - Ultima Patagonia 2023
Relevés topographiques: Charlotte Horiati, Raphaël Seguin,
Serge Caillaud, Tanguy Racine
Report et dessins: Tanguy Racine



logiciel Therion à partir du report de la topographie au distoX pour aligner les nuages de points denses et les modèles. L'erreur moyenne respective (RMS) de l'alignement est de



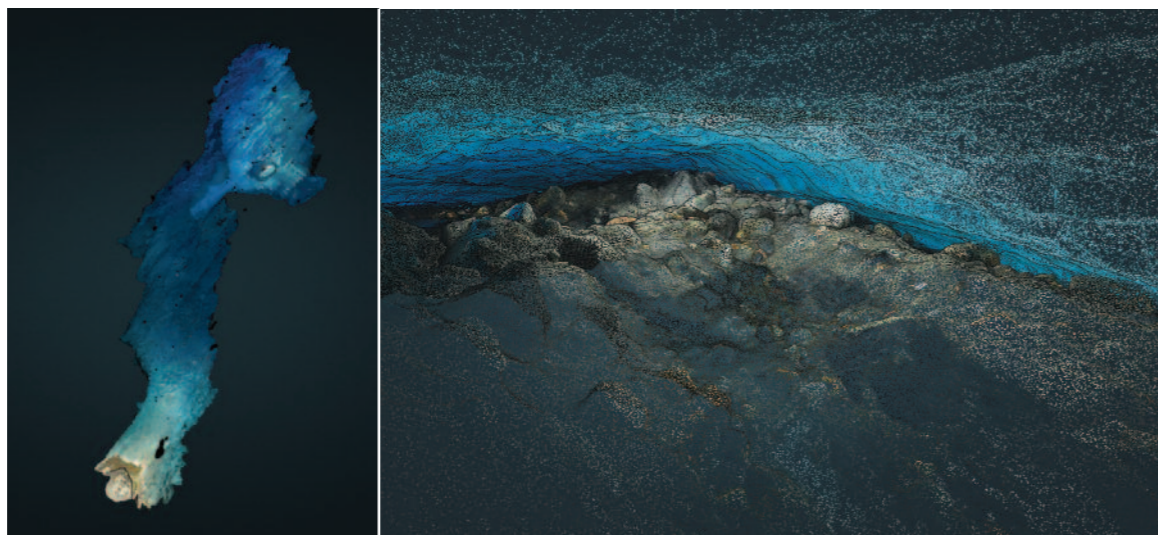
△ Figure 2 : (a) Carte géométrique détaillée de la grotte Lapis Lazuli (b) modèle numérique de surface, (c) Orthophotographie du sol de la cavité.

© Tanguy Racine, Centre Terre.

<1 Tanguy effectuant de nombreux clichés dans la grotte Lapis Lazuli.

Photo ©Serge Caillaud, Centre Terre

▷ Figure 3 : Vue du nuage de point de la grotte Lapis Lazuli (a) Vue en plan, (b) Zone d'entrée en aval du lac inférieur.
© Tanguy Racine, Centre Terre.



0,05 m (5 points), 0,06 m (8 points) et 0,09 m (6 points) pour la zone d'entrée, celle du lac et la salle terminale.

L'alignement des photos comprenant en grande partie une surface plane et transparente comme celle des petits lacs est un obstacle majeur aux reconstructions de modèles 3D par photogrammétrie, car il y a peu de points de corrélations. Cependant la reconstruction des parois de glace de la grotte Lapis Lazuli a été possible, notamment à cause d'éclaboussures de farine glaciaire sur les parois de glace. Le nuage de points dense ainsi calculé (Figure 3) permet d'interroger la répartition spatiale des différents remplissages.

Avec CloudCompare, un logiciel de traitement de nuages de points et de maillages dénommé, l'utilisateur vient segmenter le modèle, et séparer

le sol du plafond de la cavité. Ceci permet alors de projeter la vue en plan du sol de la cavité, et d'en extraire non seulement un modèle numérique de terrain (Figure 2B), mais aussi une orthophotographie (Figure 2C). L'image en couleurs naturelles est alors décalquée sur le report topographique afin d'aider au dessin d'un plan détaillé (Figure 2).

Résultats

La grotte Lapis Lazuli s'ouvre sur un porche de 8 m de large pour 4 m de haut. Une pente de graviers barre le premier lac, d'une profondeur allant jusqu'à 2 m, qu'il est possible de contourner par la droite. En amont, on passe sur une série de roches affleurantes polies par le glacier, qui forment le barrage du second lac. Un puits de lumière perce le plafond de la salle terminale, dont les dimensions atteignent jusqu'à 20 m par 20 m pour une hauteur de

3 m. Tous les amonts sont, soit bouchés par un épais dépôt de till contenant des blocs pluridécimétriques, soit des arrivées d'eau infranchissables. Le plafond de la cavité étant quasi-plan, on considère alors que la cavité est un canal de Nye, principalement formé par l'érosion du till sous-glaciaire (Alley et al., 1997).

Morphologies

La grotte de glace Lapis Lazuli est particulièrement marquée par des morphologies d'ablation, notamment les cupules qui atteignent entre 30 et 70 cm de longueur tout au long de la cavité (Figure 4). Ces cupules se forment par ablation due aux circulations d'air. La présence d'un puits supérieur percé par une bédrière permet l'établissement d'un écoulement d'air unidirectionnel.

Hydrologie

Les conduites sous-glaciaires,

▷ Figure 4 : Cupules d'ablation pluridécimétriques dues aux écoulements d'air dans la cavité.
© Tanguy Racine, Centre Terre.



◁ Figure 5 : Polissages stries glaciaires sur la roche métamorphique formant le lit du glacier.
© Tanguy Racine, Centre Terre.

par leur pente élevée et hauts débits lors de leur mise en charge, sont des agents de transports extrêmement efficaces. La relation plus que linéaire entre la capacité de charriage et le débit favorise des écoulements à débits variables. Or les écoulements sous-glaciaires ont un débit saisonnier aussi contrôlé par les variations de températures journalières, les conduits sous-glaciaires se mettant en charge en fin de journée après la fonte de la glace de surface (Hubbard et al. 1995).

Les dépôts de graviers et de blocs, atteignant le mètre dans la grotte Lapis Lazuli témoignent du fait qu'elle a certainement jadis été l'exutoire principal du glacier HPS-31.

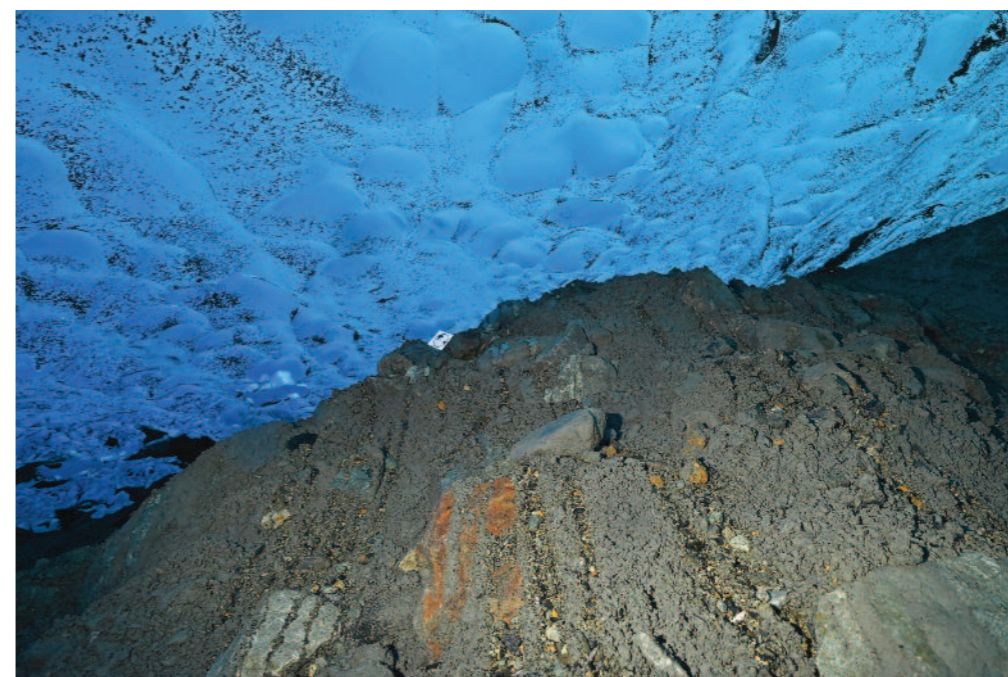
Aujourd'hui, l'exutoire principal est situé une centaine de mètres plus à l'ouest, avec un débit de plusieurs m³ par seconde, à contraster avec les quelques litres par seconde de la grotte Lapis Lazuli. Par le passé, lorsque le système de conduits sous-glaciaires était mis en charge, il y circulait un débit assez fort pour permettre de vidanger le till charrié à la base du glacier. Le conduit de la grotte Lapis Lazuli est à présent orphelin du réseau sous-glaciaire qui alimente le torrent émissaire actuel. Celui-ci émerge en bordure ouest du terminus glaciaire. La grotte est maintenant alimentée en partie par la bédrière qui se jette dans le puits de lumière, et en partie par une source sous-glaciaire en amont du deuxième lac. Cependant, même en période

de fonte, ces écoulements n'ont plus la puissance nécessaire pour vidanger les remplissages de till, ce qui conduit à la formation de petits lacs qui déversent leur trop-plein à l'entrée de la grotte. Ces dépôts forment alors un proto-esker.

S'ajoute également un alignement pour le moins surprenant des clastes grossiers au-dessus du till dans le même axe du fluage du glacier, comme on peut le voir à l'affleurement de la salle terminale. Il peut s'agir ici du résultat d'écoulements sous-glaciaires canalisés (Figure 5).

Conclusion

La grotte Lapis Lazuli est un exemple d'ancien exutoire de glacier tempéré, qui a été rendu orphelin de son conduit d'ali-



◁ Figure 6 : Alignement de graviers au-dessus du till postdatant le mouvement des blocs plus larges.
© Tanguy Racine, Centre Terre.



△ & ▽ La grotte Lapis Lazuli.
Photos ©Serge Caillault, Centre Terre.

mentation par une réorganisation du réseau hydrologique sous-glaciaire. Elle apporte la preuve qu'en période estivale, le glacier HPS-31 développe un réseau hydrologique efficace, connecté et dynamique. La réorganisation hydrologique est probablement due au dévelop-

pement de crevasses en amont, qui ont recanalisé le drain majeur du glacier vers l'exutoire actuel, et réduit la puissance de charriage du cours d'eau parcourant la cavité. Ceci a permis la préservation de barrages sédimentaires de till et la formation des différents lacs.

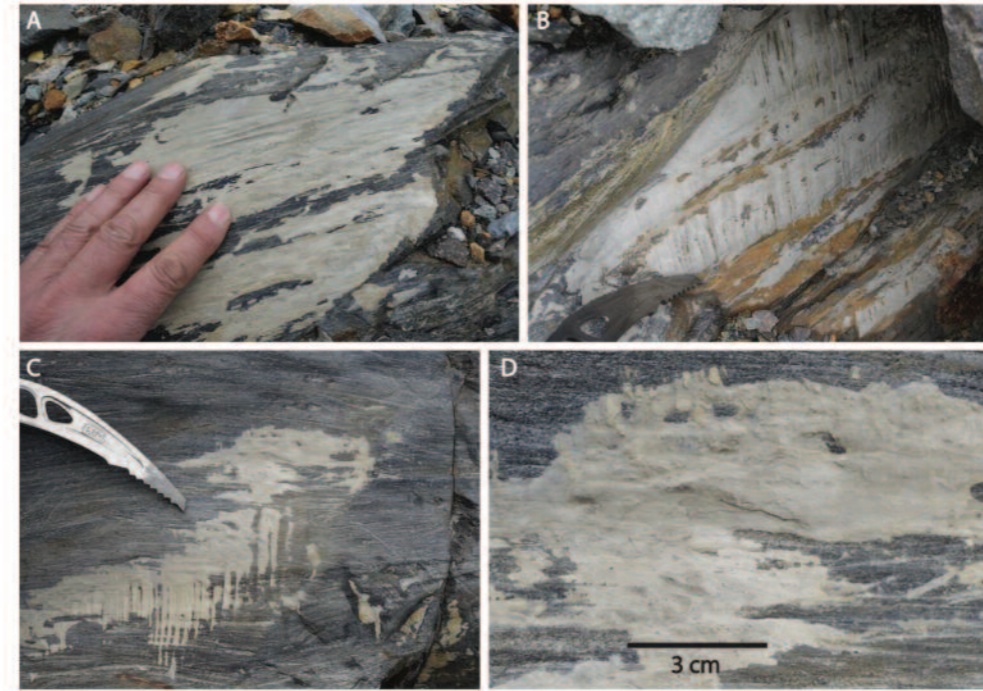
La grotte est vouée à disparaître sous l'opération de deux processus principaux : la déformation plastique de la glace sous son poids qui vient aplatir le profil de la cavité et la retraite du terminus glaciaire due à la fonte des glaces.

Bibliographie

- Alley, R. B., Cuffey, K. M., Evenson, et al. (1997). How glaciers entrain and transport basal sediment: physical constraints. *Quaternary Science Reviews*, 16 (9), 1017-1038. Doi: 10.1016/S0277-3791(97)00034-6
- Church, G., Grab, M., Schmelzbach, Et al. (2020). Monitoring the seasonal changes of an englacial conduit network using repeated ground-penetrating radar measurements. *The Cryosphere*, 14 (10), 3269-3286. Doi: 10.5194/tc-14-3269-2020
- Gulley, J. D., Benn, D. I., Screaton, E., & Martin, J. (2009). Mechanisms of englacial conduit formation and their implications for subglacial recharge. *Quaternary Science Reviews*, 28 (19-20), 1984-1999. Doi: 10.1016/j.quascirev.2009.04.002
- Hewitt, I. J. (2013). Seasonal changes in ice sheet motion due to melt water lubrication. *Earth and Planetary Science Letters*, 371, 16-25. Doi: 10.1016/j.epsl.2013.04.022
- Hubbard, B. P., Sharp, M. J., Willis, I. C., et al. (1995). Borehole water-level variations and the structure of the subglacial hydrological system of Haut Glacier d'Arolla, Valais, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 41 (139), 572-583. Doi: 10.3189/S0022143000034894
- Lliboutry, L. (1996). Temperate ice permeability, stability of water veins and percolation of internal meltwater. *Journal of Glaciology*, 42 (141), 201-211. Doi: 10.3189/S0022143000004068
- Moon, Twila, et al. (2014) Distinct patterns of seasonal Greenland glacier velocity. *Geophysical research letters* 41.20: 7209-7216. Doi: 10.1002/2014GL061836
- Piccini, L., Romeo, A., & Badino, G. (2000). Moulins and marginal contact caves in the Gornergletscher, Switzerland. *Nimbus*, 23, 94-99.



Croûte calcaire sous-glaciaire du HPS31



Richard MAIRE

Références

- Hallet B., 1979. Subglacial regelation water film. *Journal of glaciology*, Cambridge, vol. 23, n° 89, p. 321-334.
- Maire R., 1990. La haute montagne calcaire. *Karstologia-Mémoires*, 731 p. (cf. p. 366-370).

Les croûtes carbonatées sous-glaciaires sont typiques des glaciers évoluant sur un plancher calcaire ou dolomitique comme dans les Alpes suisses du Valais, par exemple sur le front du glacier de Tsanfleuron (Maire, 1990). Or ce type particulier de concrétionnement a été découvert sur le front du glacier de l'HPS31, dans un contexte de roches silico-clastiques métamorphosées, donc non calcaires (figures A-B-C-D). Néanmoins l'élément calcium

étant présent à faible dose dans la roche, le film d'eau situé au contact glace/rocher s'enrichit progressivement en bicarbonates $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Il se produit ensuite une précipitation de la calcite par le processus de regel du film d'eau par augmentation de la concentration en bicarbonates (Hallet, 1979).

Ce type de concrétionnement, épais de 2 à 3 mm, est caractérisé par de très fines lamines de calcite de teinte beige qui peuvent piéger également des

particules de la farine glaciaire issue de l'abrasion glaciaire du plancher. On peut avoir aussi des croûtes fibreuses à spicules orientées dans le sens d'écoulement du glacier (figure A). En raison de la dissolution rapide de ces dépôts par les eaux de fonte et de pluie, ces croûtes, rares dans ce contexte rocheux, sont en outre visibles uniquement au niveau du front du glacier en cours de recul. Leur découverte témoigne en plus de la fonte rapide des glaciers.

△ Front du glacier HPS31
Photo ©Serge Caillault, Centre Terre.



Géomorphologie de Madre de Dios Nord (Estero EGG)

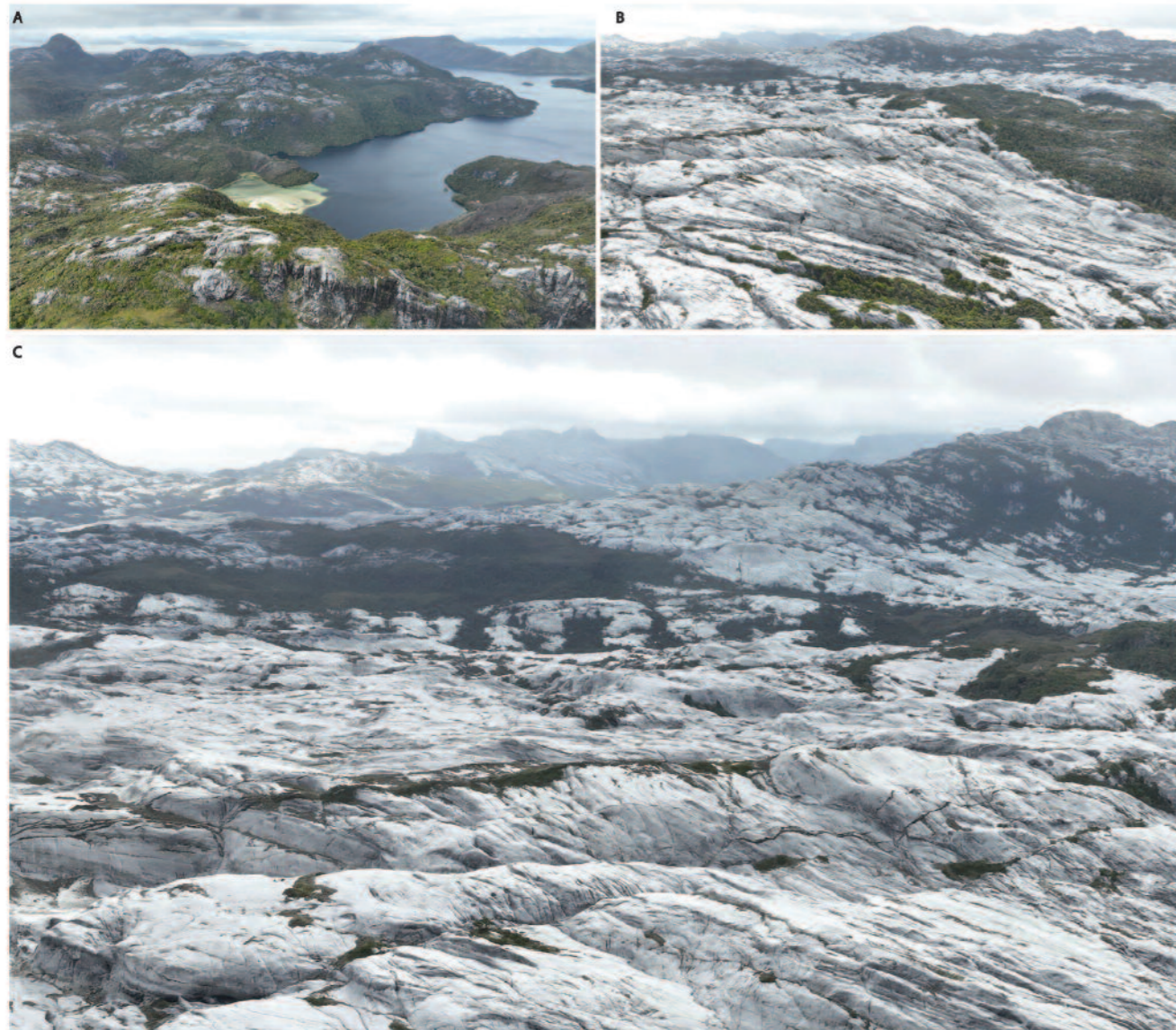
Processus de dissolution-désagrégation des marbres dolomitiques

Richard MAIRE

Le karst nord de Madre de Dios (secteur Egg) est d'une grande originalité. Depuis le fond de l'estero Egg, la première vision du paysage interpelle surtout si l'on visionne celui-ci à partir d'un drone filmant depuis le niveau de la mer jusqu'à 400 m

d'altitude (Figure 1 A-B-C). Ce point de vue permet d'entrer en résonance avec la globalité de ce paysage qui diffère du karst méridional et central de l'archipel, et de la zone du Barros Luco. Avec l'expérience acquise depuis 1995 au cours des précédentes expéditions,

on comprend qu'il se passe ici des phénomènes qui méritent une attention scientifique soutenue d'abord par les nombreuses observations, explorations et descriptions de terrain à différentes échelles, puis par les observations micro-morphologiques.



◀ Figure 1 : Vues aériennes (drone) du karst de l'estero Egg. A. L'estero Egg et le delta sableux de la grande résurgence de Golondrina. B. Le karst ouest avec son pendage caractéristique. C. Partie supérieure du karst ouest avec en arrière-plan le bassin du karst nord-ouest.

© Richard Maire, Centre Terre.

En effet, on assiste ici à une dissolution-désagrégation en partie de même type que celle que l'on rencontre dans l'érosion des dolomies et calcaires dolomitiques à l'origine des sables dolomitiques. Mais ici les morphologies associées sont différentes. Au lieu d'avoir des reliefs ruiniformes classiques par exemple à Montpellier-le-Vieux (Causse Noir, Aveyron) (Bruxelles et Camus, 2010), on observe une association de cannelures de dissolution, de systèmes

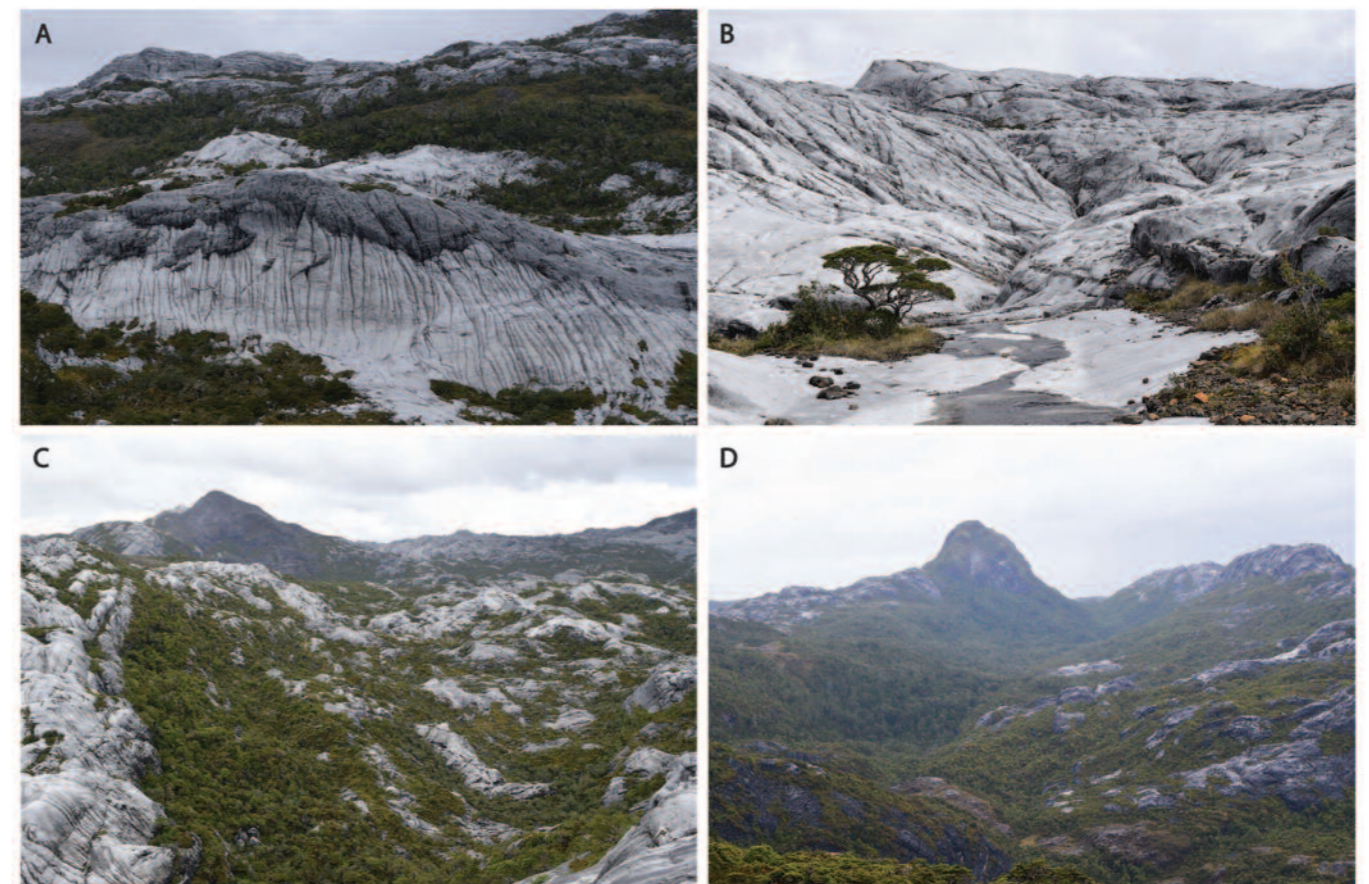
hydrographiques pouvant dépasser plusieurs hectares chacun, une desquamation de la surface et des dépôts sableux présents de l'amont à l'aval du karst et de l'endokarst jusqu'aux résurgences (Figure 1A).

1. Spécificités du karst de l'estero Egg

Le réseau hydrographique de surface :

Il est constitué par des circulations pouvant s'étirer sur plusieurs centaines de mètres

d'extension et présenter des débits de crue importants (plus de 100 l/s). Ces circulations forment de petites vallées et petits canyons en méandre se terminant par des puits-perdes. Le bassin hydrographique superficiel le plus remarquable est localisé à 1 km à l'ouest de la résurgence (Figure 2B). Les parties amont et aval plus ou moins encaissées sont séparées par une partie médiane semi-horizontale ayant favorisé le développement de quelques



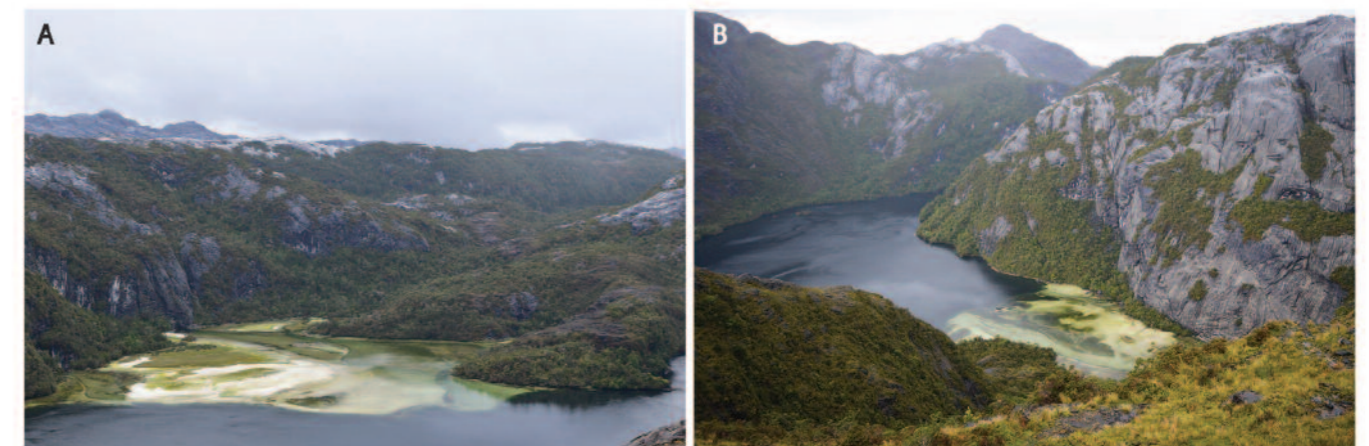
biotopes à *Nothofagus* sur des dépôts siliceux et silicatés issus de l'érosion des dykes. En dehors de ces axes majeurs de drainage superficiel orientés en fonction d'un pendage NNE de 25-30°, les lapiés de ruissellement sont peu nombreux sauf

nant situé quelques mètres sous le niveau de la mer, la rivière mesure 15 m de large, 3 m de profondeur et présente une vitesse de 1 à 2 m/s. Ce bassin karstique présente plusieurs sous-systèmes, donc plusieurs collecteurs principaux. Les

l'on considère les parties invisibles confirmées par les plongées (Figure 3A). Le volume de sables du delta de Golondrina pourrait dépasser plusieurs centaines de milliers de m³, sachant qu'un tel dépôt est uniquement postglaciaire.

▷ Figure 2 : Les grandes morphologies du karst de l'estero Egg. A. Amont du bassin du karst ouest avec cannelures et chapeau gris dolomitique. B. Petite vallée avec circulation superficielle sur le karst ouest. C. Grande dépression glacio-karstique alimentant la seconde résurgence. D. Le bassin Nord et ses dépressions forestières alignées.

© Richard Maire, Centre Terre.



sur les escarpements plus inclinés (Figure 2A).

Bassins d'alimentation et résurgences à deltas sableux : L'ensemble du bassin versant complexe du fjord Egg est drainé principalement par la grande résurgence de Golondrina (Figure 1A, 3A). Son débit minimum est de plusieurs m³/s pour un débit de crue variable estimé entre 15 et 30 m³/s, voire plus. En forte crue, au niveau de l'exutoire siphon-

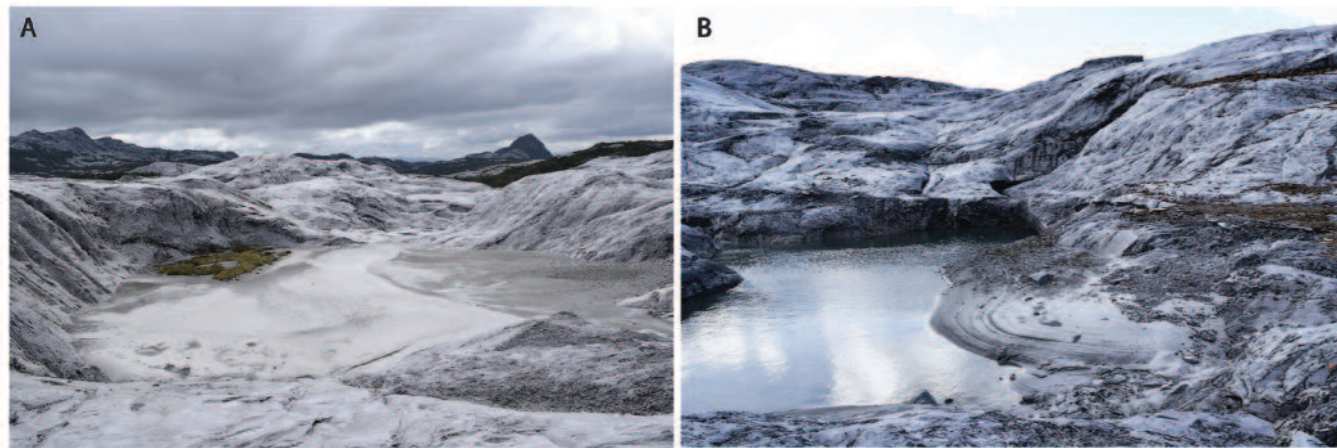
explorations spéléologiques et les observations suggèrent l'existence de trois bassins convergents : le bassin ouest (Figure 1B, 1C), le bassin nord-ouest (Figure 1C, arrière-plan) et le bassin nord en forme de vallée forestière transformé en plusieurs dépressions allongées orientées nord-sud (Figure 2D).

Phénomène remarquable, la résurgence littorale présente un delta sableux mesurant plusieurs hectares, voire plus si

Un autre delta sableux est visible 3 km au sud au fond d'un fjord adjacent (Figure 3B), en lien direct avec un autre bassin karstique localisé au sud du précédent. Il est caractérisé notamment par une grande dépression glacio-karstique de plusieurs centaines de mètres de large en partie végétalisée par des *Nothofagus* (Figure 3B). On comprend que ces sables proviennent de l'érosion-dissolution du karst superficiel et souterrain.

▷ Figure 3 : Les deux résurgences avec deltas sableux de l'estero Egg. A. La résurgence principale de Golondrina. B. La résurgence de la branche sud-ouest.

© Richard Maire, Centre Terre.



Les dépressions sableuses :

En parcourant le plateau karstique, ce qui frappe d'emblée, c'est la présence de dépôts sableux importants dans des dépressions plurimétriques à pluridécamétriques et dans des couloirs rocheux. La figure 1C montre la partie amont du bassin ouest où se situe la principale doline sableuse. De forme circulaire (Figure 4A), elle correspond à une dépression rocheuse anciennement lacustre qui a été totalement remblayée par les sables dolomitiques, sans doute sur plusieurs mètres d'épaisseur, en provenance des zones situées

plus en amont en direction du camp des Champignons. Cet aspect lacustre est confirmé par la grande doline-lac située plus en aval (Figure 4B). Elle présente un puits-perde de débordement, mais également un important dépôt sableux souligné par les fluctuations du niveau lacustre. Ces dépôts sableux sont présents également dans des couloirs rocheux.

Les formes de desquamation à l'origine des sables :

Un examen attentif montre que la surface karstique présente des formes d'érosion caractéristiques représentées par des

plaques courbes présentant des bordures granuleuses. Ces plaques de desquamation sont visibles sur des mamelons et des surfaces semi-horizontales ou plus ou moins inclinées (5-30°). Les plaques mesurent chacune quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur. Leur recul par érosion donne des morphologies semi-circulaires (Figure 5A) et circulaires (Figure 5C). Sur les flancs plus inclinés, on observe des petites écailles (Figure 5B). Sur les versants, on observe localement des formes plus importantes en petits cirques de plusieurs dizaines de mètres de large (Figure 5D).

▽ Figure 4 : Dolines sableuses sur le karst ouest supérieur. A. Grande doline sableuse. B. Dépression temporairement lacustre avec remplissage sableux.

△ Figure 5 : Formes typiques de desquamation sur le karst ouest. A. Plaques courbes. B. Écailles sur flanc incliné. C. Morphologies circulaires en creux. D. Cirque de desquamation.

© Richard Maire, Centre Terre.



Les bordures de ces plaques sont souvent granuleuses à cause de la libération de petits grains de roche et des petits dépôts sableux blancs sont souvent présents à proximité et dans des parties en creux (Figure 6A-B-C). Une première observation des sables à la loupe binoculaire et au microscope montre qu'on est en présence de grains blancs plus ou moins anguleux ou arrondis mesurant généralement 0,5 à 2 mm de diamètre (Fig. 6D).

Les formes d'altération résiduelles: « arches » et « lobos » :

Les observations de terrain montrent qu'on est en présence d'un processus d'exfoliation-desquamation que l'on n'avait pas encore observé sur Madre de Dios. Ce processus lié à la désagrégation fait penser au rôle joué par la dolomie. Mais ici les formes résiduelles d'altération-désagrégation sont très originales. Il s'agit notamment des « arches » et des « lobos ». Les premières ont une morphologie typiquement en arche de tailles plurimétriques à centimétriques. La forme majeure observée près du gouffre de l'Arche Perdue mesure une vingtaine de mètres de long et 1 m à 2 m de large (Figure 7A). La partie inférieure forme une sorte de cavité et présente des écailles tandis

que du sable recouvre le plancher rocheux. Des arches alignées de plusieurs mètres de long ont également été observées. Il peut subsister des arches suspendues au-dessus de profonds couloirs karstiques, mais également dans des microdépressions de surface (Figure 7B). Des dépôts sableux sont souvent associés comme pour la grande arche.

Les « lobos », notamment ceux observés sur la bordure sud-est du bassin karstique ouest, constituent des témoins rocheux résiduels, de forme animale (otaries, loups de mer) ou en champignons rocheux (Figure 7C, 7D). Elles sont de tailles décimétriques à métriques, comme si elles étaient posées à la surface karstique. Le rôle du vent et de l'écoulement laminaire permet de mettre en valeur ces morphologies résiduelles.

Un endokarst très développé :

L'état des explorations spéléologiques à la fin de l'expédition montre une grande variété de cavités allant de 4 km de développement (grotte des Pirates) à plus de 300 m de profondeur (gouffre des Arches Perdues). Les remplissages détritiques souterrains du bassin karstique du Egg sont assez riches. Le vaste réseau

labyrinthique des Pirates présente des varves grises, dont des placages, qui ressemblent à celles du réseau de Punta Blanca (Barros Luco) avec une succession de niveaux sableux plus ou moins fins (Figure 8A-B).

Au microscope, on observe un ensemble essentiellement carbonaté (> 95 %) composé d'une farine glaciaire (< 15 %) avec des particules inférieures à 3 µm et surtout par des sables fins de calcite-dolomite (> 80 %) de 30-50 à 150 µm de diamètre. Certains grains sont recouverts par un enduit ferrugineux orange résiduel. Il existe aussi un petit cortège de minéraux siliceux et silicatés de type quartz, verre, mica, zircon... Ces varves datent de la dernière période glaciaire (stade isotopique 2). Elles ont été en grande partie érodées durant la transition glaciaire-interglaciaire il y a 10 000 – 15 000 ans. Elles sont recouvertes localement par des dépôts associant sables et matière organique de teinte foncée (tourbe probable) et localisées notamment après le ressaut de 7 m (zone de dessiccation). Au microscope, on observe des grains sombres, marron foncé, de matière organique et d'oxyde de fer ainsi que des sables fins remobilisés (varves). On discerne aussi un petit cortège silicaté.

▽ Figure 6 : Dissolution-désagrégation des marbres dolomitiques. A. Surface en désagrégation. B. Bordure en voie de désagrégation. C. Accumulation sableuse. D. Micromorphologie des sables au microscope.

© Richard Maire, Centre Terre.

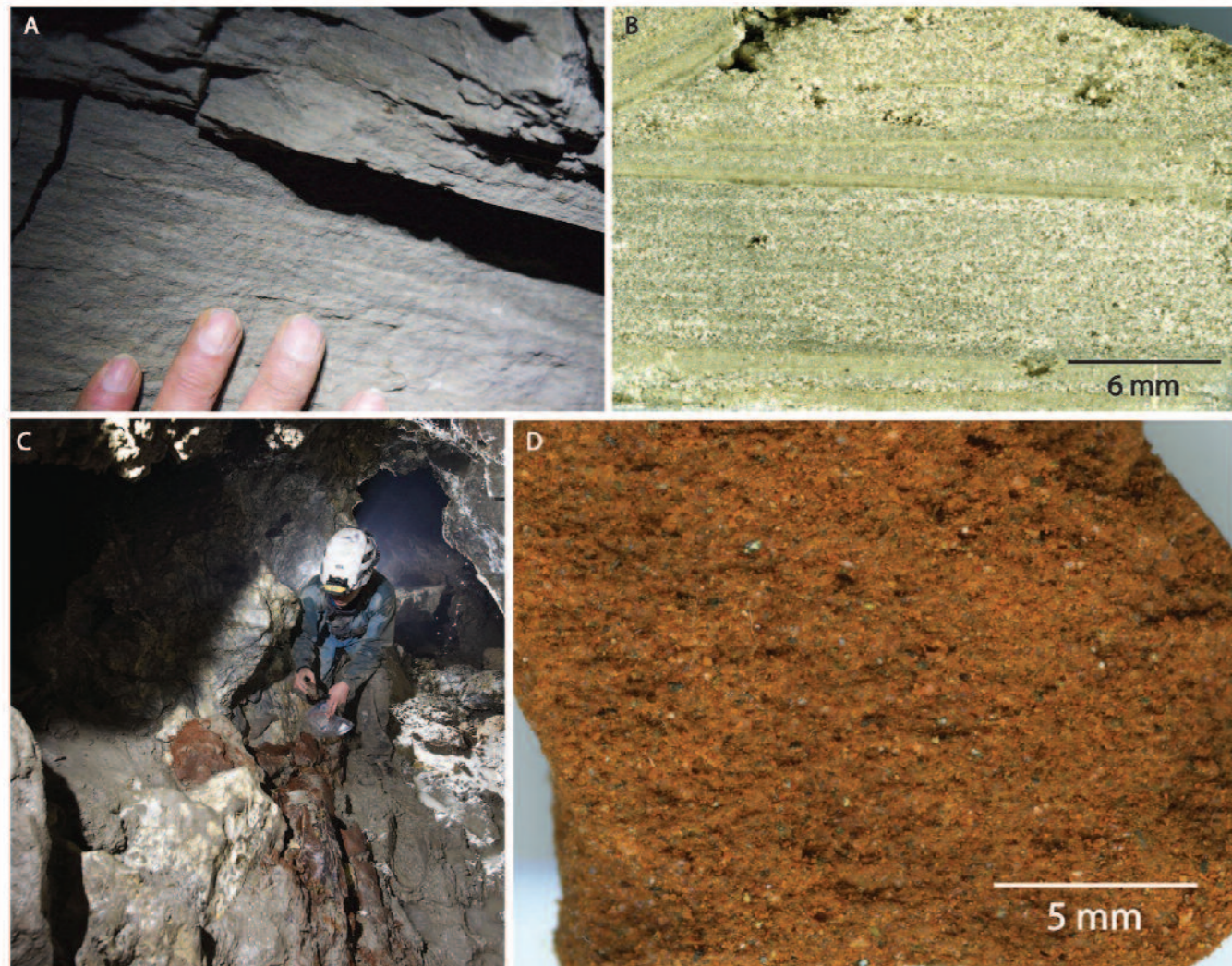


colorée en orange, de type argilo-ferrugineuse, ne dépasse pas quelques %. Comme on le verra, les seuls paléosols rouges de type tropical n'ont pu se former qu'à la fin du Primaire, lors de la croissance des atolls. Il

qualifie de dolosparites, typiques d'une transformation en marbre, car les cristaux présentent des macles fréquentes, et surtout une courbure de ces macles sous l'effet de la déformation

qualifie de dolosparites, typiques d'une transformation en marbre, car les cristaux présentent des macles fréquentes, et surtout une courbure de ces macles sous l'effet de la déformation

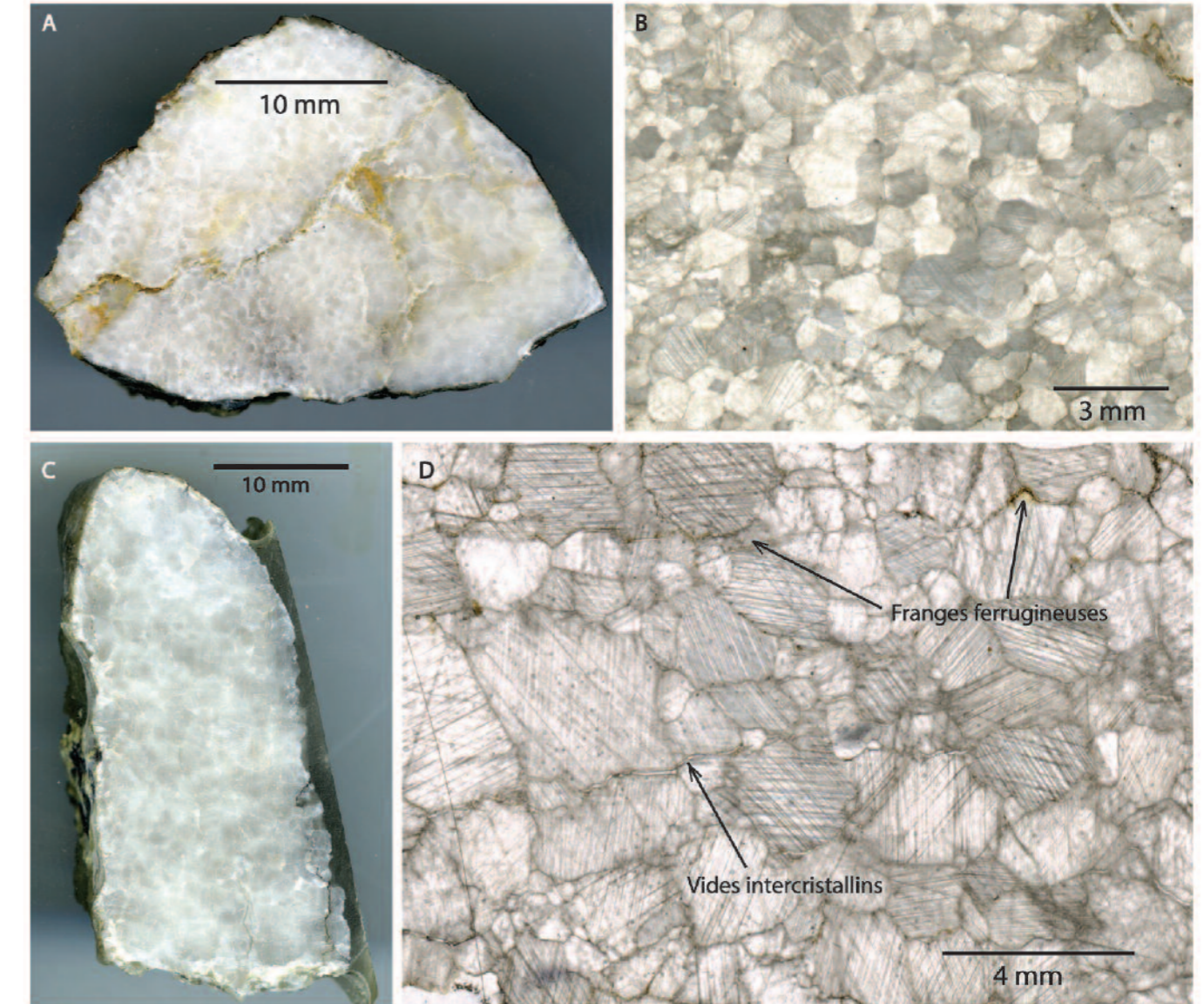
<< Figure 7 : Exemples de formes résiduelles d'altération : les « arches » et « lobos ». A. Grande arche localisée à proximité du gouffre de l'Arche Perdue (Com. C. Honiat). B. Petites arches décimétriques. C et D. « Lobos » résiduels sur la surface karstique. © Richard Maire, Centre Terre.



Un autre type de dépôt, très original, a été découvert (C. Honiat, S. Caillault). Il s'agit d'un remplissage rouge, non induré, de consistance sablo-limoneuse,

non plastique (Figure 8C-D). Au microscope, la fraction fine et plus grossière est constituée à plus de 80 % par des grains ferrugineux (20-30 à 50 µm) et des

grains de calcite-dolomite enrobés d'oxyde de fer mesurant 100 à 600 µm. La fraction très fine (< 2-3 µm),



pourrait donc s'agir d'une contamination provenant éventuellement de poches paléokarstiques anciennes. Comme pour les varves, on observe un petit cortège silicaté composé de mica (jaune à verdâtre), quartz, verre volcanique (vert à brun-vert), zircon...

Pyrénées-Atlantiques, notamment au niveau du cavernement et donc du potentiel spéléologique qui devrait révéler dans le futur plusieurs dizaines de kilomètres de conduits.

2. Pétrigraphie et rôle de la nature de la roche

Micromorphologie des marbres dolomitiques :

L'examen microscopique des lames minces révèle différents faciès, dont les plus remarquables sont des marbres à grands cristaux bien visibles à l'œil nu sur section polie comme sur les échantillons 35 et 41 (Figure 9A, B, C, D), mais aussi directement sur le terrain lorsque la surface de désagrège en grains de 1 à 3-4 mm. Au microscope, on les

plastique. Sur le plateau, on observe aussi des calcaires microsparitiques et micritiques plus ou moins marmorisés.

Des fossiles de foraminifères, des fusulines de 2 à 4 mm de long, sont parfois visibles comme dans l'échantillon 42, dans un niveau gris présentant aussi de nombreuses petites veines de calcite (Figure 10). Un petit annélide est également visible.

Dans les marbres dolomitiques du porche d'entrée de la grotte des Pirates (échantillon 14), le faciès dolosparitique montre des grands cristaux très macclés, avec une dissolution-recristallisation visible au niveau des

> Figure 9 : Pétrigraphie et micromorphologie des marbres dolomitiques. A-B : dolosparite de l'échantillon 35 (dyke de marbre), section polie et observation du faciès sparitique au microscope. C-D : Dolosparite de l'échantillon 41, section polie et surface non polie, et observation au microscope des grands cristaux sparitiques présentant des vides intercrystallins et des franges ferrugineuses (Fe₂O₃). << Figure 8 : Types de dépôts détritiques dans la grotte des Pirates. A-B : Varves. C-D : Remplissage rouge, sableux, riche en oxyde de fer (photo Serge Caillault). © Richard Maire, Centre Terre.

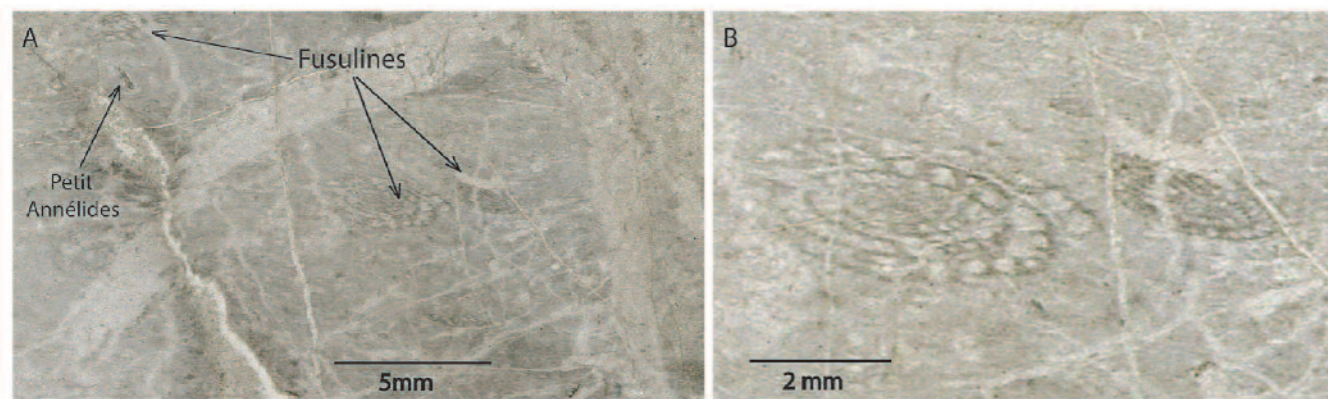


Figure 10 : Fossiles de foraminifères de type fusulines. A. 3 fusulines + 1 petit annélide. B. Zoom sur 2 fusulines.

© Richard Maire, Centre Terre.

rebords irréguliers qui présentent des micrograins de calcite résiduelle. Une calcite filonienne traverse l'échantillon, témoignant du rôle de la tectonique. Dans l'échantillon 21, on est en présence d'une dolosparite altérée à cristaux bien maclés montrant aussi une phase partielle de dissolution-recristallisation bien visible en lumière polarisée (LPA), avec notamment de petits golfes de corrosion et des micrograins résiduels de calcite.

Dans les marbres dolomitiques du porche d'entrée de la grotte des Pirates (échantillon 14), le faciès dolosparitique montre des grands cristaux très maclés, avec une dissolution-recristallisation visible au niveau des rebords irréguliers qui présentent des micrograins de calcite résiduelle. Une calcite filonienne traverse l'échantillon, témoignant du rôle de la tectonique. Dans l'échantillon 21, on est en présence d'une dolosparite altérée à cristaux bien maclés montrant aussi une phase partielle de dissolution-recristallisation bien visible en lumière polarisée (LPA), avec notamment de petits golfes de corrosion et des micrograins résiduels de calcite.

La métamorphisation des dolomies en marbres :

Comme on vient de le voir dans plusieurs échantillons, la métamorphisation partielle des dolo-

mies s'accompagne d'une certaine plasticité des cristaux. Dans les marbres dolomitiques très tectonisés, comme dans l'échantillon 37, la grande sparite présente des cristaux et macles déformés avec en outre une recrystallisation en microsparite. La dissolution-recristallisation liée à la marmorisation peut entraîner localement des pseudomorphoses –le cristal garde sa forme, mais change de nature– avec une transformation de la dolomite en calcite, phénomène très visible en lumière polarisée (LPA). On observe également une forte coloration orangée qui imprègne la dolosparite.

3. Origine paléogéographique du processus de dissolution-désagrégation

La paléogéographie de cette région exceptionnelle de l'hémisphère austral depuis la fin de l'ère primaire est indispensable pour comprendre l'évolution des paysages actuels et les modalités de leur érosion-désagrégation (Tableau 1).

Rétrospective du processus :

L'observation microscopique des lames minces, notamment dans les échantillons 41 et 35, montre plusieurs faits importants. La dissolution-désagrégation des marbres dolomitiques s'effectue d'abord par une dissolution différentielle qui exploite les joints et micro-

espaces situés entre les cristaux de dolosparite. En effet, il existe des petits espaces (3-5 µm) entre les cristaux sparitiques, espaces qui sont souvent occupés par des hydroxydes de fer orangés Fe₂O₃ qui sont évacués par l'eau. Ces espaces ainsi libérés favorisent une dissolution, donc un agrandissement pouvant atteindre 20-25 µm de large, et par voie de conséquence une accélération de la circulation de l'eau, et donc une dissociation des cristaux conduisant à une désagrégation de la roche. On peut donc parler d'un processus de dissolution-désagrégation associant corrosion chimique et érosion mécanique.

L'observation des sables de l'échantillon 18, issus de la grande dépression sableuse du plateau supérieur (Figure 4A) montre un autre phénomène caractéristique du processus de dissolution-désagrégation. Tous les éléments sableux présentent à leur surface des petites particules sombres (5-10 µm) correspondant à des résidus des infiltrations ferrugineuses situées entre les cristaux de sparite. Localement on observe des témoins de plaques de Fe₂O₃ de 50 µm de large. On observe les mêmes petits grains résiduels sur d'autres sables, comme ceux prélevés dans le siphon de la grotte des Pirates

(échantillon 16 bis, F. Bréhier). Avec l'érosion fluviale liée au transport, ces grains résiduels disparaissent.

Pour comprendre l'origine du processus, il faut remonter à la fin de l'ère primaire, au Carbonifère supérieur et Permien inférieur, lorsque les atolls coralliens se forment sur des monts volcaniques sous-marins situés loin du palécontinent Gondwana. Les carbonates sont alors de l'aragonite (métastable) et de la calcite. Mais une dolomitisation se produit au contact de l'eau de mer par pénétration des ions magnésium et recombinaison du système minéral en carbonate double de Ca et Mg, soit CaMg(CO₃)₂. Les cristaux changent de forme et deviennent ici des sparites de 0,2-0,5 à 3-4 mm de diamètre. À proximité de la surface de l'atoll, il se produit aussi une pédogenèse à l'origine de sols rouges tropicaux typiques, riches en Fe₂O₃.

Des « jus » ferrugineux pénètrent ainsi dans la roche en s'infiltrant notamment entre les cristaux. Ils donnent également lieu à des anneaux de Liesegang (tectonisés par la suite), mais aussi à des contaminations plus diffuses. Au cours des millions d'années, les couches carbonatées s'accumulent ainsi sur plusieurs centaines de mètres tandis que le transfert des îles vers l'Est s'effectue durant des dizaines de millions d'années pour s'enfoncer finalement par subduction sous la cordillère volcanique selon un processus comparable à un tapis roulant et former ainsi un « prisme d'accrétion ».

Anneaux de Liesegang et dykes de marbre :

Ce voyage en profondeur, sous l'effet des pressions et de l'accroissement de la température, explique la métamorphisation des calcaires et notamment des dolomies en marbres

dolomitiques. Ce processus s'accompagne aussi d'une microtectonisation se traduisant par des réseaux de microveines de calcite ± entrecroisées, mais aussi par des anneaux de Liesegang orangés fortement plissotés et convolutés en lien direct avec un comportement plastique accentué (Figure 11A-B).

Au cours du Crétacé, la montée des granites (batholite) permet la genèse de dykes subvolcaniques, mais aussi de dykes de marbre dolomitique (échantillon 35), ce qui n'avait jamais été observé auparavant à Madre de Dios (Figure 11D). Au Tertiaire et au Quaternaire, la surrection de la cordillère des Andes a permis une forte érosion de la couverture sédimentaire et donc l'apparition en surface des calcaires et marbres. À partir de ce moment, l'érosion-dissolution des terrains carbonatés a pu se réaliser, notamment le

Figure 11 : Contamination ferrugineuse et tectonisation des dolomies. A. Anneaux de Liesegang (Fe₂O₃) fortement convolutés. B. Zoom sur les anneaux de Liesegang (Photos Serge Caillault). C. Échantillon 37, marbre contaminé par des paléosols rouges ferrugineux repris par la métamorphisation. D. Dyke de marbre sur le karst ouest.

© Richard Maire, Centre Terre.

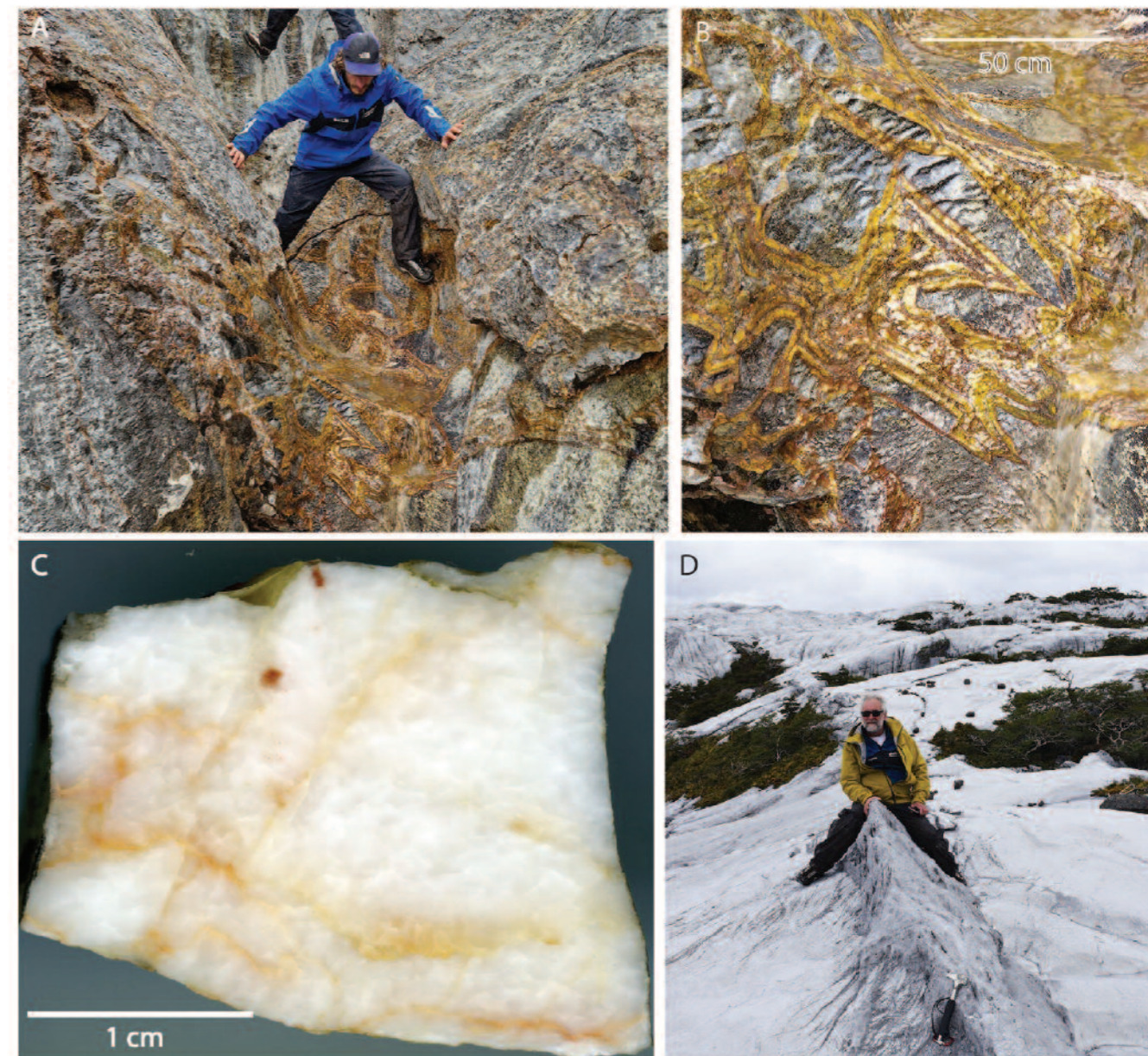


Tableau 1 : Rétrospective paléogéographique de l'évolution des formations carbonatées de Madre de Dios depuis la fin du Primaire.

© Richard Maire, Centre Terre.

Périodes	Phénomènes géologiques	Processus tectoniques et érosifs, climat
Permien inférieur (270-300 Ma)	Formation atolls coralliens	Dolomitisation locale au contact de l'eau de mer, pédogenèse en surface (sols rouges) sous climat tropical
Trias-Jurassique 270-230 Ma	Mouvement des atolls vers l'Est (plaque pacifique) et enfoncement dans le palécontinent Gondwana	Métamorphisation des calcaires et des dolomies dans le prisme d'accrétion
Crétacé (140-100 Ma)	Montée du batholite granitique patagon	Formation de dykes dans les Formations carbonatées
Tertiaire-Pléistocène (30 Ma à aujourd'hui)	Surrection des Andes, érosion de la couverture sédimentaire et mise au jour des calcaires-dolomies	Début de la dissolution-désagrégation Succession des phases glaciaires-interglaciaires



◁ Figure 12 : Gros champignon sur les marbres dolomitiques du karst ouest. Le pied mesure 45 cm de haut.
Photo © Richard Maire, Centre Terre.

processus de dissolution-désagrégation, en particulier pendant les périodes interglaciaires. Observation fondamentale effectuée sur l'échantillon 37, la limite des cristaux est marquée par un jus ferrugineux rouge-orange qui présente des formes très découpées mimant des stylolites, en lien direct avec les phases complexes de marmorisation dans le prisme d'accrétion, preuve aussi que ces minces dépôts ferrugineux datent de la période pédologique primaire à la surface des atolls.

L'observation microscopique en lumière réfléchie de la surface polie de l'échantillon 37 (Figure 11C) montre une imprégnation du jus ferrugineux dans la masse, mais aussi une sorte de poussière orangée accompagnée localement par de petits amas ferrugineux de 1 mm de diamètre composés de micro-grains de Fe_2O_3 de 5-10 μm à < 1 μm .

Estimation du bilan dissolution-désagrégation :

Actuellement aucun bilan quantitatif n'a pu être effectué entre la masse dissoute de carbonates et la masse granu-

leuse transportée jusqu'aux résurgences. Cependant le processus de dissolution-désagrégation semble s'ajouter à la corrosion. Mais il est important de rappeler que la dolomite se dissout plus lentement que la calcite de sorte que la tranche érodée depuis la fonte des glaciers il y a plus de 12 000 ans semble un peu plus faible que dans la partie sud et centrale de l'archipel. En témoignent la dimension des pieds résiduels des champignons de roche (Figure 12), qui sont de l'ordre de 40-50 cm maximum, donc moins hauts que ceux observés et mesurés dans la partie centrale de l'archipel (de 50 à plus de 150 cm). En revanche, le volume des dépôts sableux postglaciaires du delta de la résurgence de Golondrina témoigne que l'érosion granulaire dépasse plusieurs dizaines de pour cent de l'érosion-dissolution totale.

Conclusion

La lecture des paysages minéraux karstifiés effectuée à différentes échelles spatiales et temporelles permet une compréhension de la succession des processus depuis 300 millions d'années. L'exemple du karst de l'estero Egg est révélateur. L'observation microscopique montre précisément cette succession des temporalités par des signatures micromorphologiques à travers l'évolution cristalline des minéraux carbonatés et leur altération, ainsi que des signatures morphologiques et sédimentaires observées sur le terrain comme les arches et dépressions sableuses en amont, et deltas sableux en aval. Le bilan érosion granulaire + dissolution constitue une piste de recherche à privilégier dans le futur.

Références :

- Bruxelles L. et Camus H., 2010. Géodynamique et évolution morphologique des Grands Causses. In Audra Ph., 2010, Grottes et Karsts de France, Karstologia Mémoires, n°19, p. 312-314, Ass. Fr. de Karstologie.
- Nicod J., 1974. Porosité, dissolution et formes de relief dans les dolomies. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, n°17, p. 51-60.



Spéléothèmes et observation en grotte pour l'étude climatique passée et présente

Charlotte HONIAT

Institute of Geology
University of Innsbruck
Innrain 52
6020 Innsbruck

Introduction :

Afin de reconstituer les variations climatiques dans le passé, plusieurs archives sont à notre disposition telles que les carottes lacustres, marines ou de glace... Lors de la dernière glaciation la calotte Patagonne a largement érodé les archives sédimentaires continentales de surface (Kilian and Lamy, 2012). À 50°S, la majorité des enregistrements disponibles à ce jour (tels que les carottes lacustres) ne remontent pas au-delà de 16000 ans (Moreno et al., 2010, 2009). Les spéléothèmes que l'on trouve dans les grottes sont les archives terrestres présentant la plus haute résolution connue pour l'enregistrement de l'évolution du climat et se situent à l'abri de l'érosion externe. Il est donc possible de reconstruire les variations climatiques en Patagonie à plus longue échelle grâce à leur étude et d'étendre les enregistrements déjà disponibles pour cette région du monde.

Pourquoi reconstituer les climats passés en Patagonie ?

La position et l'intensité de la ceinture des vents d'Ouest méridionaux (Westerlies) qui balaye Madre de Dios sont des paramètres climatiques très importants dans l'hémisphère

sud (Thompson, 2002; Toggweiler et al., 2006) et leurs variations ont un impact sur le climat mondial en raison de leur relation avec les échanges de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan (Toggweiler, 2009). L'évolution climatique à long terme des vents d'Ouest reste en partie inconnue en raison de l'absence de données paléoclimatiques à haute résolution directement liées à la variabilité des précipitations, de la température et/ou du vent. La reconstitution des changements passés des Westerlies au cours de l'Holocène et de la période glaciaire tardive permettra d'améliorer notre compréhension des mécanismes contrôlant le climat global avant les modifications anthropogéniques, en plaçant les changements climatiques actuels dans une perspective à long terme.

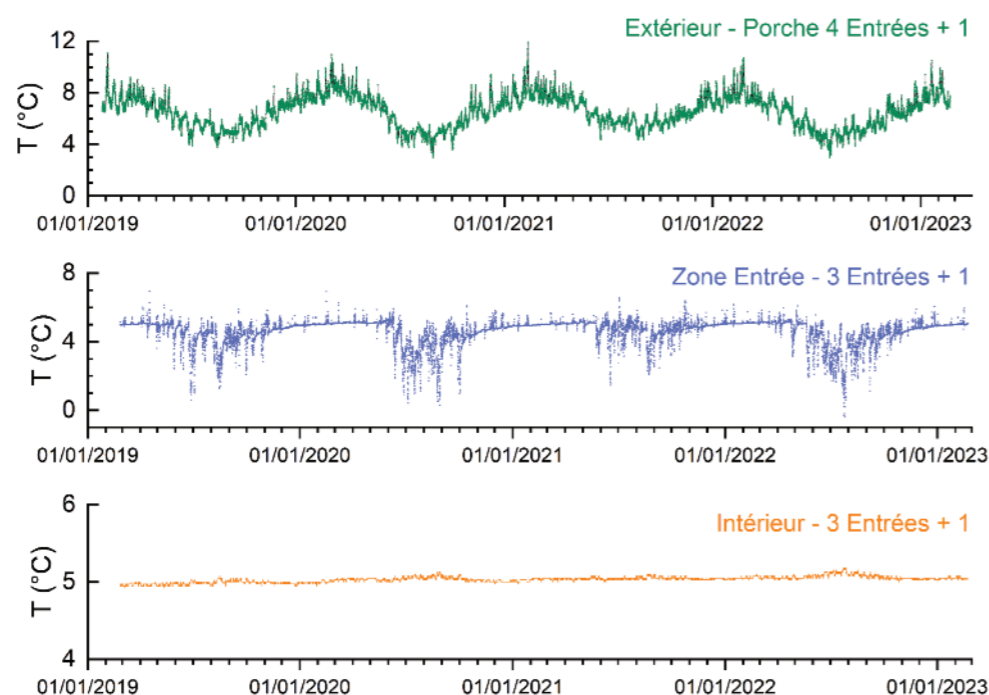
Résultats et discussion :

1. Enregistrement des températures :

Lors de l'expédition UP2019, des stalagmites (une catégorie de spéléothèmes) ont été récoltées et leurs analyses géochimiques ont révélé leur potentiel comme archives climatiques. Afin d'avoir des clés pour l'interprétation de ces données paléoclimatiques, un suivi environnemental des grottes

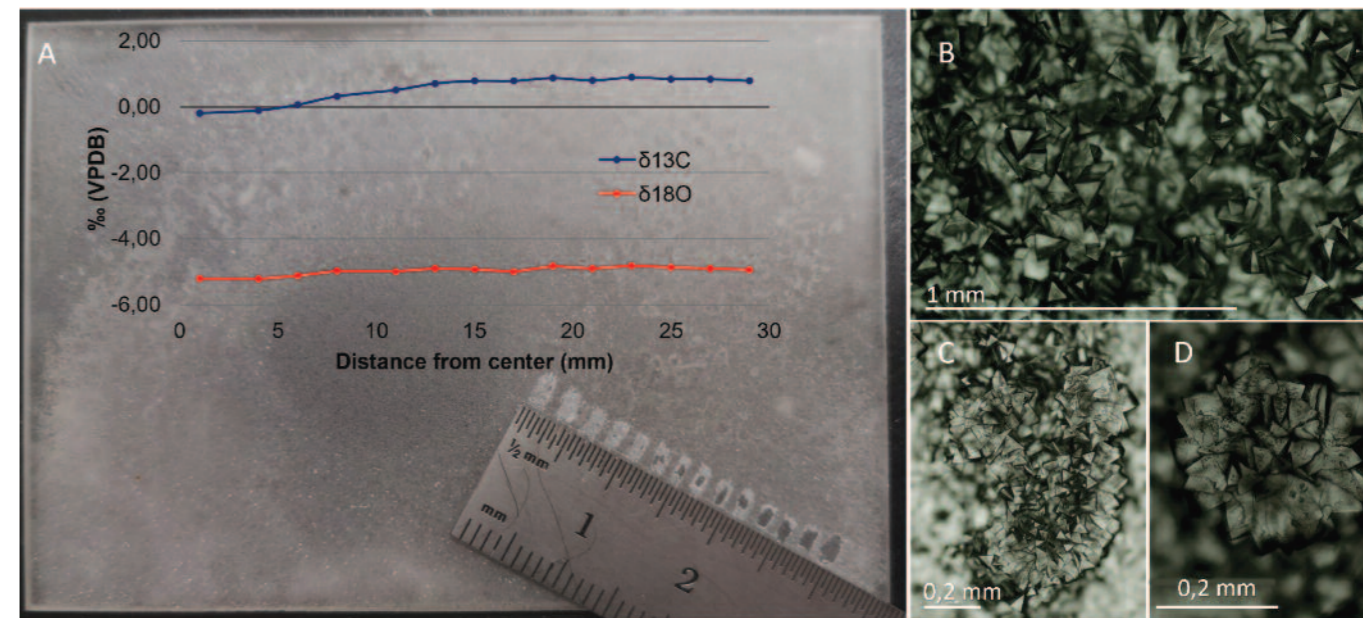
concernées a été mis en place. Plusieurs capteurs-enregistreurs de température ont été laissés sur place dans le secteur de la grotte des 3 Entrées + 1 (un à l'extérieur, un dans la zone d'entrée et un dans la salle où une stalagmite avait été prélevée). Des plaques de verre ont également été disposées à l'emplacement des prélèvements pour potentiellement pouvoir observer la précipitation contemporaine de calcite.

Tous les capteurs-enregistreurs de température ont pu être récupérés en 2023, la totalité ayant fonctionné entre UP2019 et UP2023 (Figure 1). Le capteur extérieur (en vert sur la figure 1), laissé à l'abri du vent et des précipitations dans une alcôve des 4 entrées + 1, à une altitude d'environ 50 m par rapport au niveau de la mer, est un bon enregistreur des variations de température moyenne (car tamponnée) le long de l'année sur Madre de Dios qui oscillent entre ~4°C (minimum entre juillet et septembre) et ~12°C (maximum entre février et mars). La température moyenne annuelle observée au fond des 3 Entrées + 1 (en orange sur la figure 1) est de ~5°C, soit 1,5°C de moins que la température extérieure annuelle moyenne sur la même période. Enfin le



▷ Figure 1 : Variations de la température en fonction du temps à l'intérieur (orange) ; dans la zone d'entrée (bleu) et à l'extérieur (vert) de la grotte des 3 Entrées + 1.

© Charlotte Honiat, Centre Terre.



capteur placé dans la zone d'entrée (en bleu sur la figure 1) indique des températures stables similaires à la température moyenne de la grotte sauf pendant les périodes d'hiver pendant lesquelles des chutes de température sont observées, dues à de subites incursions d'air froid. Nous pouvons noter que l'hiver austral 2021 à Madre de Dios a été plus doux que ceux de 2019, 2020 et 2022, reflétant les importants écarts de température enregistrés sur le continent, où le mois de septembre 2021 a été le plus chaud jamais enregistré en Amérique du Sud, avec un écart de température de +1,86 °C par rapport à la moyenne de 1981-2010 (Données NOAA, 2021).

2. Calcite moderne

Deux plaques de verre avaient été déposées en 2019 à l'emplacement des stalagmites prélevées dans une alcôve de la grotte des 4 Entrées + 1 et dans la grotte des 3 Entrées + 1. La première plaque n'est malheureusement pas exploitable car elle a glissé de son socle. La seconde plaque quant à elle est bien recouverte d'une cristallisation moderne (voir figure 2A).

De retour en laboratoire, après observation microscopique, nous pouvons confirmer qu'il s'agit bien de calcite grâce aux formes caractéristiques en losange ou demi-losange des cristaux. Des prélèvements de calcite sous forme de poudre ont été effectués en grattant la surface de la plaque de verre avec un scalpel, du centre de l'impact de la goutte vers l'extérieur. Les résultats des 14

analyses isotopiques de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$ en rouge) et du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ en bleu) sont visibles sur la figure 2A. Les analyses isotopiques ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre de masse Delta V Plus relié à un Gasbench II (ThermoFisher) de l'université d'Innsbruck en Autriche.

Pour les isotopes du carbone nous observons un léger enrichissement (de -0,2 ‰ à 0,9 ‰) alors que les isotopes de l'oxygène ne varient presque pas en fonction de la distance par rapport au centre (de -4,9 ‰ à -5,1 ‰). Cette mesure, aussi appelée « Hendy test » dans la littérature propre aux spéléothèmes permet de vérifier si le dépôt minéral ce fait à l'équilibre dans les stalagmites (Hendy, 1971).

Le fractionnement cinétique varie en fonction du taux d'égouttement, de la pression partielle de CO₂ et de l'humidité lors du dépôt de la calcite, et peut donc causer de légères variations dans la composition isotopique de celle-ci. Un long temps de résidence du film d'eau dû à une vitesse d'égouttement lente augmente le risque de fractionnement en raison du dégazage important et/ou à l'évaporation, ce qui affecte principalement le $\delta^{13}\text{C}$ ou le $\delta^{18}\text{O}$, respectivement. Ici seule la composition du $\delta^{13}\text{C}$ varie légèrement; il faudra donc interpréter les données paléoclimatiques avec précaution pour cet indicateur. Le $\delta^{18}\text{O}$ quant à lui est stable et ce test permet de valider le fait que les isotopes de l'oxygène peuvent être utili-

sés comme un proxy climatique et non comme un indicateur de fractionnement isotopique.

3. Prélèvements de spéléothèmes :

Les stalagmites du gouffre Jackpot possèdent des quantités importantes d'uranium ce qui a permis leur datation à haute précision. Pour la première fois, des spéléothèmes de Madre de Dios ont été datés au-delà du dernier interglaciaire: la stalagmite JCK1 de 115 à 185 ka (Honiat et al. 2019). Il a donc été décidé de se focaliser sur la grotte du Jackpot pour l'expédition 2023. Un des objectifs était de carotter la grande stalagmite/coulée à la base du P28 du Jackpot à -185 m (Figure 3) avec un foret de 4 cm de diamètre, de son sommet jusqu'à sa base. Dans un esprit de conservation, il n'a été prélevé qu'une autre stalagmite (JCK3) en plus de la carotte effectuée (nommée Clémentine ou JCK2). Un capteur-enregistreur a été laissé sur place à l'emplacement de la stalagmite JCK1. La température moyenne mesurée au voisinage de la stalagmite JCK1 est de 5,4 °C entre le 18 février 2023 et le 26 février 2023. L'analyse et la datation de ces deux nouvelles concrétions sont prévues pour la fin de l'année 2024.

4. Prélèvements d'eau :

Une première recherche visant à étudier la dynamique et l'interaction des eaux météoriques et souterraines des systèmes karstiques du Barros Luco avait été menée en 2017 par Gonzalo Navarro, Francisco Fernandez et Sebastián Crespo (voir rapport

▷ Figure 2 : A : Plaque recouverte de calcite de la grotte des 3 entrées + 1 laissée à l'emplacement de la stalagmite DENI avec le résultat des analyses des isotopes stables de la calcite (le $\delta^{18}\text{O}$ de l'oxygène en rouge et le $\delta^{13}\text{C}$ du carbone en bleu). B, C et D : Observation au microscope optique de la cristallisation moderne (2021-2023) recouvrant la plaque de verre laissée dans la grotte des 3 Entrées + 1 à différents grossissements.

© Charlotte Honiat, Centre Terre.



Figure 3 : Carottage de la grande stalagmite au pied du P28 du Jackpot et scan longitudinal de l'intérieur de la carotte Clémentine (longueur totale = 50 cm).
Photos © Charlotte Honiat, Centre Terre.

UP2017). Ils avaient établi une courbe isotopique météorologique locale (LMWL pour "Local Mean Water Line") pour l'archipel de Madre de Dios dont la relation est la suivante : $\delta^2\text{H} = 7,58 * \delta^{18}\text{O} + 3,37$ ($R^2 = 0,95$; $N = 16$) mais dont la valeur est sûrement biaisée vers un signal saisonnier pour la période de l'été (février, dates des prélèvements); ce qui est aussi ici le cas, du moins pour les prélèvements d'eaux de surface. Les échantillons d'eaux prélevés de janvier à mars 2023 sont principalement des eaux souterraines (20 échantillons) et

seulement 2 échantillons de surface. L'eau a été prélevée à l'aide d'une petite seringue et directement injectée dans des fioles de 2 ml en veillant à ne laisser aucune bulle d'air. Les échantillons ont été analysés par spectrométrie laser (Picarro L2140-i CRDS à l'Université d'Innsbruck) pour obtenir leur composition isotopique respective en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$.

Dans la figure 4, nous avons comparé les compositions isotopiques moyenne de l'oxygène et de l'hydrogène dans l'eau de pluie de Madre de Dios avec la

moyenne mondiale (GMWL – « Global Mean Water Line » ou signal isotopique moyen de toutes les eaux pluviales du monde), et également avec la droite isotopique moyenne des eaux pluviales de Punta Arenas ($\sim 53^\circ \text{S}$) et de Puerto Montt ($\sim 41^\circ \text{S}$). Les données de ces deux dernières droites proviennent du CChEN (La Comisión Chilena de Energía Nuclear) et représentent une durée d'enregistrement de 24 ans; de 1991 à 2015 (Sanchez-Murillo et al., 2018).

Les compositions isotopiques

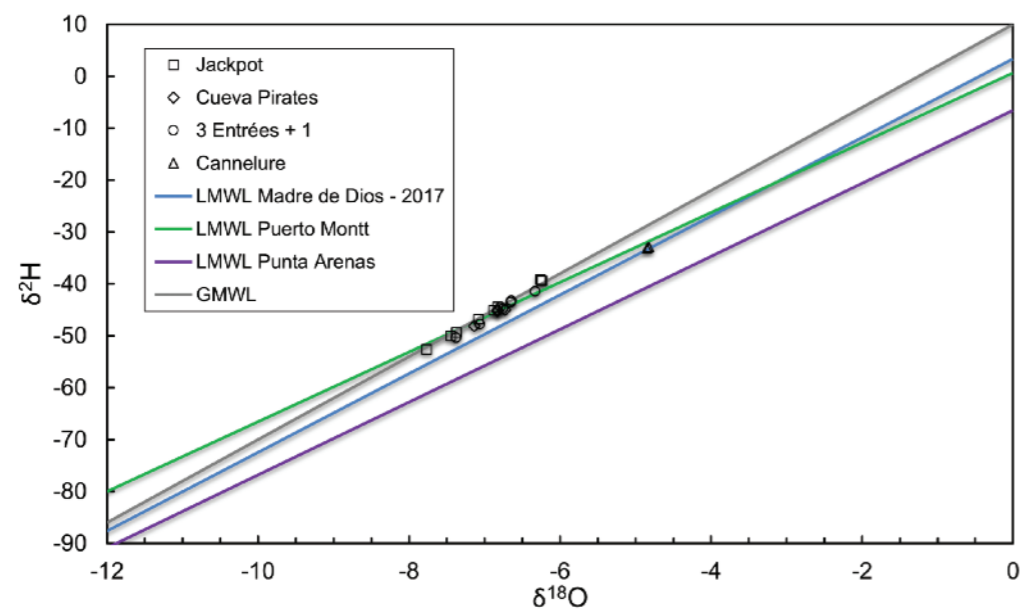


Figure 4 : Relation entre les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ pour les échantillons d'eau de Madre de Dios dans différentes cavités (Jackpot, 3 Entrées + 1, Cueva Pirates) et la composition isotopique de l'eau de pluie de la moyenne mondiale (GMWL) et des moyennes de Puerto Montt et Punta Arenas.
© Charlotte Honiat, Centre Terre.



Carottage lacustre dans le lac José Mulot, Barros Luco, UP 2019.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.

Références :

- Honiat, C., Jaillet, S., Maire, R., Spötl, C., Edwards, R. L., Mayr, C., & Morata, N. 2019 Extending the speleothem record from Madre de Dios Archipelago, Patagonia, beyond the Holocene. Conference Abstract, INQUA, Dublin.
- Kilian, R., Lamy, F., 2012. A review of Glacial and Holocene paleoclimate records from southernmost Patagonia ($49\text{--}55^\circ\text{S}$). *Quat. Sci. Rev.* 53, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.07.017>
- Moreno, P.I., Francois, J.-P., Moy, C.M., Villa-Martínez, R., 2010. Covariability of the Southern Westerlies and atmospheric CO_2 during the Holocene. *Geology* 38, 727–730. <https://doi.org/10.1130/G30962.1>
- Moreno, P.I., Kaplan, M.R., François, J.-P., Villa-Martínez, R., Moy, C.M., Stern, C.R., Kubik, P.W., 2009. Renewed glacial activity during the Antarctic cold reversal and persistence of cold conditions until 11,5 kA in southwestern Patagonia. *Geology* 37, 375–378. <https://doi.org/10.1130/G25399A.1>
- NOAA National Centers for Environmental Information, Monthly Global Climate Report for Annual 2021, published online January 2022, retrieved on January 10, 2024 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>.
- Sánchez-Murillo R., Aguirre-Dueñas E., Gallardo-Amestica M., Moya-Vega P., Birkel C., Esquivel-Hernández G. and Boll J., 2018. Isotopic Characterization of Waters Across Chile, ANDEAN HYDROLOGY, CHAPTER 9
- Schimpf, D., Kilian, R., Kronz, A., Simon, K., Spötl, C., Wörner, G., Deininger, M., Mangini, A., 2011. The significance of chemical, isotopic, and detrital components in three coeval stalagmites from the superhumid southernmost Andes (53°S) as high-resolution palaeo-climate proxies. *Quat. Sci. Rev.* 30, 443–459. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.12.006>
- Singh, H.A., Rasch, P.J., Rose, B.E.J., 2017. Increased Ocean Heat Convergence Into the High Latitudes With CO_2 Doubling Enhances Polar-Amplified Warming: OCEAN HEAT AND POLAR WARMING. *Geophys. Res. Lett.* 44, 10,583–10,591. <https://doi.org/10.1002/2017GL074561>
- Thompson, D.W.J., 2002. Interpretation of Recent Southern Hemisphere Climate Change. *Science* 296, 895–899. <https://doi.org/10.1126/science.1069270>
- Toggweiler, J.-R., Russell, J.-L., Carson, S.R., 2006. Midlatitude westerlies, atmospheric CO_2 , and climate change during the ice ages: WESTERLIES AND CO_2 DURING THE ICE AGES. *Paleoceanography* 21, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2005PA001154>
- Toggweiler, J.-R., 2009. CLIMATE CHANGE: Shifting Westerlies. *Science* 323, 1434–1435.

des échantillons se placent au-dessus de la droite LMWL de Punta Arenas et Madre de Dios (2017) et, pour la majorité, sous la droite GMWL. Les mesures se rapprochant le plus de la GMWL sont les eaux souterraines; seul un échantillon d'eau prélevé dans une cannelure en surface tombe sur la LMWL de Madre de Dios. La composition des eaux souterraines proche de la GMWL peut s'expliquer par un temps de séjour plus long, ou par des eaux souterraines plus vieilles pouvant être enrichies en deutérium (car ayant peut-être subi un peu d'évaporation). Les différences de valeurs isotopiques pour une même cavité s'expliquent selon si un affluent ou une rivière active a été échantillonnée, ou bien s'il s'agit d'eau de goutte à goutte provenant de stalactites et dont on suppose un temps de résidence plus long dans l'épikarst.

Perspectives :

Ce travail de suivi environnemental permet d'avoir une base solide pour l'interprétation des données paléoclimatiques et hydrologiques qui seront produites à partir des spéléothèmes de Madre de Dios. De nombreuses analyses sont prévues dans les 2 à 3 années à venir grâce à l'obtention d'un financement de la part du Fond Autrichien pour la recherche scientifique (FWF; <https://www.fwf.ac.at/en/research-radar/10.55776/J4788>). L'axe de recherche portera sur la reconstitution des changements passés des vents d'Ouest (Westerlies) en Patagonie à l'aide des spéléothèmes ainsi que de la carotte lacustre prélevée en 2019 dans le lac José Mulot.

Pluviométrie à l'Estero Egg

Alexandre HONIAT

Innsbruck quaternary research group
Institute of Geology
University of Innsbruck
Innrain 52
6020 Innsbruck, Austria

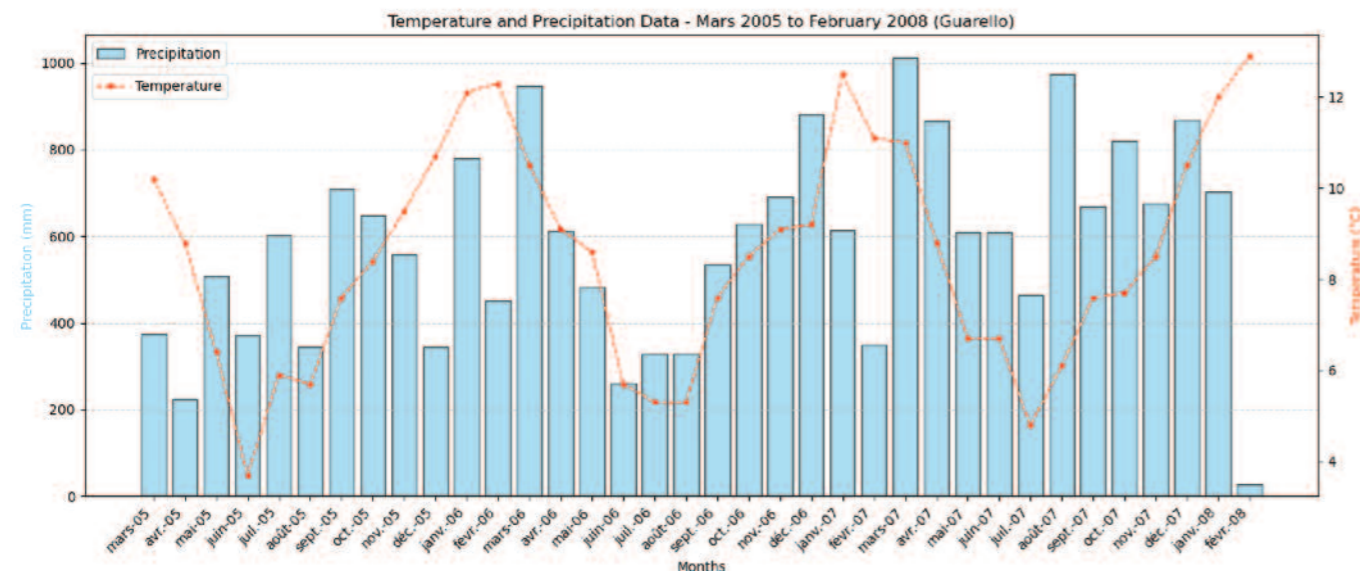


▷ Photo 1 : La pluie s'abat sur les reliefs de l'estero Egg, près du camp de base, journée de précipitation le 26 février (voir figure 2).
Photo © Serge Caillault, Centre Terre

Références :

Laurent MOREL, 2017, Un mois de suivi météorologique sur Madre de Dios, Centre Terre Ultima Patagonia 2017, Rapport d'expédition.

△ Figure 1 : Température et précipitation à Guarelo de Mars 2005 à Février 2008

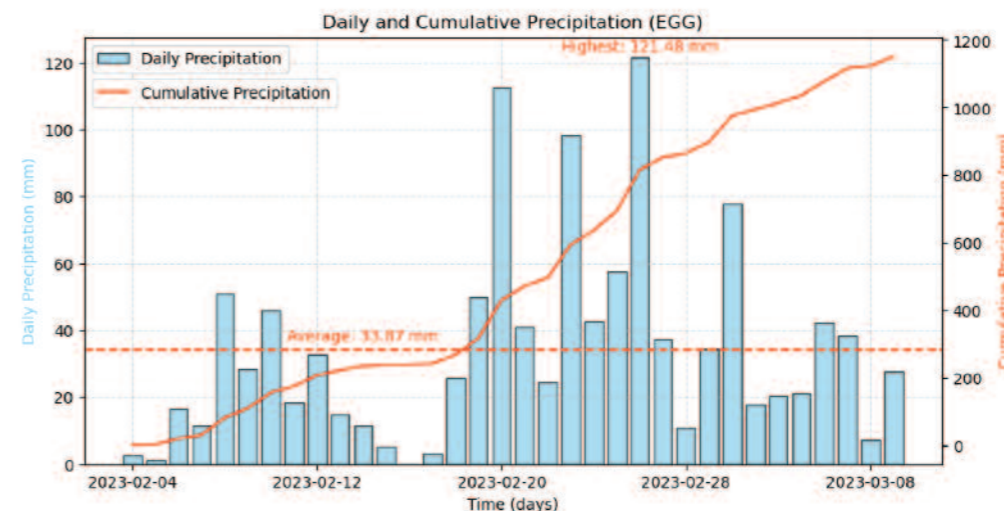


Lors de l'expédition 2023, notre suivi climatique à la base de vie de l'estero Egg a englobé des paramètres essentiels tels que la température, la pression atmosphérique et la pluviométrie. Ces mesures physiques fournissent un témoignage concret des impacts du changement climatique, particulièrement marqués dans le sud de la Patagonie. Les conséquences se manifestent de diverses manières, allant de la fonte des glaciers à une hétérogénéité croissante des précipitations au fil des années.

La Patagonie, vaste étendue

couvrant plus d'un million de kilomètres carrés, offre une diversité de microclimats selon les régions. La cordillère des Andes, située en Amérique du Sud, constitue la plus vaste chaîne de montagnes de la région. Son climat est de type montagnard, tandis que la région centrale, à l'Est de la cordillère, jouit plutôt d'un climat tempéré. Dans la province de la Terre de Feu, le climat présente des caractéristiques subpolaires océaniques, avec des conditions humides du côté pacifique (côté chilien) et des conditions sèches et venteuses du côté atlantique (côté argentin).

Madre de Dios, en particulier, bénéficie d'un climat tempéré froid, atténué par les influences océaniques du Pacifique Sud, et un apport important d'humidité/précipitation par les vents d'ouest. La figure 1 illustre la répartition annuelle des précipitations et des températures moyennes (2005 à 2008 à Guarelo). Les variations thermiques tout au long de l'année sont modestes, atteignant environ 7 °C. Les mois les plus froids, juillet et août, affichent une température moyenne de 4 °C, tandis que les mois les plus chauds, janvier et février, enregistrent une moyenne de 12 °C. Les



△ Figure 2 : Précipitation journalière et cumule au camp de base EGG entre le 4 février et le 9 mars 2023
© Alexandre Honiat, Centre Terre

températures en dessous de zéro sont rares à proximité du niveau de la mer, le ressenti est quant à lui est beaucoup plus bas avec l'humidité qui reste constante et élevée. Lors de cette expédition, nous avons observé une moyenne de température plus basse avec 4 °C au minimum pendant la nuit.

La pluviométrie se maintient relativement constante, avec des variations de précipitations importantes d'un mois à l'autre. Les niveaux de pluie peuvent dépasser les 1000 mm par mois, avec une moyenne annuelle de 800 mm, atteignant parfois plus de 10000 mm lors des années les plus pluvieuses. Les vents dépassent fréquemment les 100 km/h, avec une moyenne d'environ 70 km/h, et des rafales pouvant atteindre les 180 km/h.

En 2017, le suivi des précipitations a permis de décrire localement la météorologie au niveau du camp Barros Luco (L. Morel, 2017). Cette année nous avons répété les opérations sur plus d'un mois, elles vont nous permettre de comparer ces données qui s'espacent de 6 ans mais aussi d'observer des variations plus locales entre ces deux zones de l'île.

La figure 2 montre la pluviométrie au camp de base de l'estero Egg du 4 février au 9 mars 2023. On peut

remarquer trois jours de pluies intense avec des valeurs entre 100 et 120 mm (photo 1). La moyenne se situe à environ 34 mm par jour. Le cumul des pluies (Fig. 2) s'élève à plus de 1000 mm ramené sur un mois, ce qui est élevé pour cette saison. Si nous comparons ce suivi à celui de 2017 totalisant environ 800 mm, nous constatons une augmentation de 25 %. En se référant à la figure 1 qui met en valeur un mois de février généralement moins pluvieux, la zone de l'estero Egg quant à elle nous montre plus de précipitation. Pour contextualiser, en France la moyenne des pluies par an est autour de 1000 mm.

Bien sûr, ces données ne représentent qu'une partie de l'île de Madre de Dios. En regardant les précipitations du nord au sud - Egg (~1000 mm), Barros Luco (~800 mm), puis Guarelo (~600 mm) - on observe des différences notables. Est-ce à cause de la géographie, du temps, d'un microclimat? En résumé, une approche globale et à long terme de la collecte de données météorologiques dans différentes parties de Madre de Dios serait nécessaire pour mieux comprendre les raisons de ces variations de précipitations et identifier les facteurs qui contribuent au gradient observé.

Le Pluvimate n'est pas un simple pluviomètre, mais

plutôt un enregistreur qui mesure l'intensité des précipitations (voir photo 2). Il utilise le Stalagmate goutte à goutte, en enregistrant chaque goutte d'eau tombant sur son couvercle comme un "événement". Il n'est pas nécessaire de vider un récipient, mais il est possible de collecter l'eau à des fins d'étalonnage pour une analyse chimique ultérieure avec quelques modifications. Les précipitations cumulées sont obtenues en intégrant les lectures d'intensité. L'utilisateur peut définir l'intervalle d'échantillonnage de quelques minutes à quelques heures ou jours. Une résolution temporelle typique est de 10 minutes, permettant l'enregistrement de 7 mois de données. Note technique sur le Pluvimate adapté aux conditions patagones et son utilisation: <https://www.driptych.com/pluvimate.html>.

▷ Photo 2 : Pluviomètre Pluvimate en place, fixé pour résister aux intempéries patagones.
Photo © Richard Maire, Centre Terre



Caractérisation de la chimie des eaux de l'archipel de Madre de Dios

Marie-Noëlle PONS (1), Blandine CAQUET (2), Amandine LABORDE (3), Charlotte HONIAT (3)

(1) Université de Lorraine, CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés
(2) La Vigie de l'Eau
(3) Association Centre Terre

1. Introduction

L'archipel de Madre de Dios est un environnement extrême en termes de pluviométrie, soumis à une pression anthropique nulle et où le cadre géologique mêle grès et calcaire. Dans ce contexte des prélèvements et analyses ont été réalisés afin de mieux connaître la chimie des eaux de surface et souterraines de cet archipel et, à terme, de suivre son évolution en fonction du changement climatique. À partir des prélèvements d'eau réalisés, les éléments minéraux majeurs ont été déterminés, la quantité et la qualité de la matière organique dissoute ont été évaluées.

2. Méthodologie

2.1. Prélèvements sur le terrain

Une dizaine de prélèvements d'eau a été réalisée sur la partie nord de l'archipel de Madre de Dios. Le prélèvement des échantillons d'eau s'effectue à l'aide d'une seringue équipée d'un filtre (0,45 µm) permettant de retirer les débris grossiers tels que les restes de matière organique (ex: feuilles, bois) ou des grains de sable, etc. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans des rivières de surface (secteur du Barros Luco et du Egg) et à deux endroits dans la rivière souterraine du Gouffre Jackpot (secteur du Barros Luco). De l'eau de pluie tombant sur l'archipel a également été récoltée. Les tubes de prélèvement de 50 ml ont été doublés pour l'échantillonnage des eaux souterraines et des eaux de pluie.

2.2. Analyses en laboratoire

L'analyse chimique des échantillons d'eau a été réalisée au Laboratoire Réactions et Génie des Procédés du CNRS (Université de Lorraine). Les paramètres mesurés sont: conductivité, carbone organique et inorganique dissous, azote total dissous, anions majeurs (chlorures, sulfates, nitrates), cations majeurs (calcium, potassium, sodium, magnésium) et silicium.



▷ Figure 1 : Prélèvement d'eau dans une rivière de surface.
Photo © Gwladys Fontanieu, Centre Terre

Par ailleurs, pour compléter l'analyse du carbone organique dissous, des spectres UV-visible (entre 200 et 600 nm) et de fluorescence synchrone (décalage de 50 nm entre excitation et émission) ont été réalisés (Pons et al., 2011; Assaad et al., 2015; Pons et al., 2017).

3. Résultats et discussion

L'eau de pluie qui arrose l'archipel de Madre de Dios contient beaucoup de chlorures et de sodium du fait de l'environnement océanique et des vents qui transportent des embruns océaniques (Tableau 2). On retrouve ces éléments dans les eaux de surface et souterraines car elles y sont transférées. Le calcium que l'on retrouve dans les eaux souterraines provient de la dissolution des roches calcaires et marbres. Ce calcium est quasiment absent des eaux de surface qui s'écoulent sur les grès.

Le carbone inorganique dissous

(CID), qui globalise la présence d'ions carbonates et de bicarbonates, suit les mêmes tendances que le calcium (Tableau 3). Sa concentration est faible dans l'eau de pluie et les eaux de surface alors qu'elle est élevée dans les eaux souterraines, du fait de la dissolution de la roche. La conductivité plus élevée dans les eaux du gouffre est en accord avec la présence plus importante dans les eaux souterraines de carbone inorganique dissous et de sels minéraux comme le calcium.

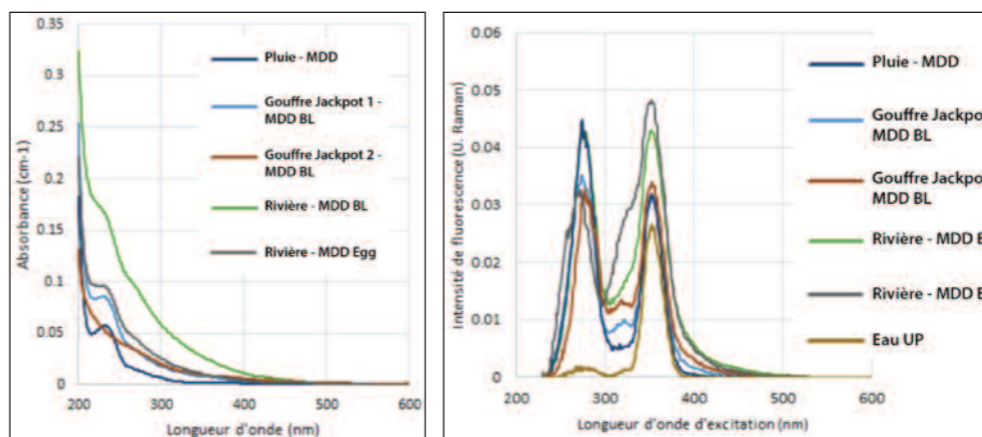
La concentration en carbone organique dissous (COD) est relativement homogène entre les eaux de pluie, les eaux de surface et souterraines, mais sa nature diffère suivant les échantillons. Cette nature est caractérisée à partir de spectres optiques (absorbance dans le domaine UV-visible (Figure 2) et fluorescence synchrone (Figure 3)). Globalement l'absorbance des échantillons est

Échantillon d'eau	Chlorures (mg/L)	Sulfates (mg/L)	Calcium (mg/L)	Potassium (mg/L)	Sodium (mg/L)	Magnésium (mg/L)	Silicium (mg/L)
Pluie - MDD	7.39	0.83	0.37	0.31	5.55	0.65	0.00
Gouffre Jackpot 1 - MDD BL	5.18	0.62	22.35	0.25	3.74	3.69	0.27
Gouffre Jackpot 2 - MDD BL	6.84	0.72	17.15	0.30	4.83	2.57	0.17
Rivière - MDD BL	1.19	0.14	0.45	0.23	3.15	0.36	0.08
Rivière - MDD Egg	5.86	0.62	0.34	0.21	4.16	0.55	0.16

<| Tableau 2 : Anions et cations majeurs

Echantillon d'eau	CID (mg/L)	COD (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	SUVA (m.L/mg)
Pluie - MDD	1.49	4.29	30	0.54
Gouffre Jackpot 1 - MDD BL	17.0	3.48	113	1.32
Gouffre Jackpot 2 - MDD BL	12.4	2.47	95	1.62
Rivière - MDD BL	0.51	4.81	19	2.35
Rivière - MDD Egg	0.39	4.24	25	1.37

<| Tableau 3: Carbone inorganique dissous (CID), carbone organique dissous (COD), conductivité et absorbance spécifique à 254 nm (SUVA).



<<| Figure 2: spectres UV - Visible.
<| Figure 3: Spectres de fluorescence synchrone.

faible, ce qui veut dire qu'il est probable que certaines molécules constituant la matière organique dissoute n'absorbent pas la lumière. L'absorbance spécifique à 254 nm (SUVA) est définie par l'équation suivante: $SUVA = 100 \times A_{254}/COD$ où A_{254} est l'absorbance à 254 nm). Les valeurs sont faibles et traduisent la faible aromaticité (i.e., la faible teneur en espèces aromatiques) de la matière organique dissoute.

Dans les spectres de fluorescence synchrone, obtenus avec un décalage de 50 nm entre la longueur d'onde d'excitation et la longueur d'onde d'émission, on observe deux pics: l'un correspondant à une longueur d'onde d'excitation de 275 nm et l'autre centré vers 350 nm. Le premier pic traduit la présence de composés de type protéines issus, dans le contexte de Madre

de Dios, de réactions biologiques naturelles. Le second pic est relatif à la présence de molécules issues du sol (substances humiques). La comparaison avec un spectre obtenu avec de l'eau ultra-pure (UP) confirme la présence faible de substances organiques dissoutes interagissant avec la lumière.

4. Conclusion et perspectives

Ces résultats constituent de premières données sur la chimie

des eaux dans l'archipel de Madre de Dios. En dépit des difficultés de collecte des échantillons, il serait souhaitable de poursuivre les prélèvements sur la durée afin de constituer une aquathèque permettant d'évaluer l'effet du changement climatique. Des comparaisons avec d'autres sites karstiques de par le monde, exposés à une plus ou moins forte pression anthropique, sont également possibles.

Références:

- Assaad A., Pontvianne S., Corriou J.P., Pons M.N. (2015) Spectrophotometric characterization of dissolved organic matter in a rural watershed: the Madon River (N-E France), EMAS, 187 (4) 188. DOI: 10.1007/s10661-015-4422-9
- Pons M.N., Potier O., Pontvianne S., Laurent N., France X., Battaglia P., (2011) Spectrophotometric characterization of human impacted surface waters in the Moselle watershed, Water Science and Technology, 64 (3) 602-609. DOI: 10.2166/wst.2011.071
- Pons M.N., Assaad A., Oucacha C., Pontvianne S., Pollier B., Wagner P., Le-gout A., Guérol F. (2017) Nitrates monitoring by UV-vis spectral analysis, Ecohydrology & Hydrobiology, 17, 46-52. DOI: 10.1016/j.eco-hyd.2016.12.001

▷ Tableau 1 : coordonnées des sites de prélèvement dans les secteurs du Barros Luco (BL) et du Egg sur l'Archipel de Madre de Dios (MDD)

Site de prélèvement	Type d'eau	Latitude	Longitude
Pluie - MDD	Pluie	50° 5'58.22"S	75° 7'7.16"W
Rivière - MDD BL	Rivière en surface	50°8'29,48"S	75°14'28,38"W
Rivière - MDD Egg	Rivière en surface	50°5'5,59"S	75°7'42,62"W
Gouffre Jackpot 1 & 2 - MDD BL (2 sites)	Rivière souterraine	50°7' 13,59" S	75°14'25,96"W

Les biotopes intra-karstiques : des écosystèmes uniques

Richard MAIRE



▷ Exemples de biotopes intra-karstiques. A. Biotope de l'Arche avec plusieurs espèces de Nothofagus. B. Biotope avec un petit Canelo (*Drymis winteri*). C. Petit biotope herbacé dans une vasque rocheuse.

Photos © Richard Maire, Centre Terre

Les biotopes des glaciers de marbre de l'archipel Madre de Dios sont exceptionnels au niveau mondial. Ils se situent dans un contexte climatique hyper-humide qui permet le développement de l'écosystème de la forêt magellanique, la forêt primaire la plus australe de la planète. En raison de la latitude de 50°S, le climat est à la frontière entre le climat tempéré froid et le climat de toundra isothermique (Zamora et Santana, 1979). Ce contexte climatique et géomorphologique permet d'observer des biotopes variés au sein des calcaires et marbres dolomitiques.

Il s'agit essentiellement de sites d'abri intra-karstique de taille variable, pouvant protéger des lambeaux forestiers de 100-200 m de long à des vasques rocheuses de 1 m de diamètre en passant par des dolines de 5 à 20 m de large. Les associations végétales rencontrées dans ces sites plus ou moins abrités permettent de mieux comprendre ce qu'est la

sociologie des plantes car la complémentarité et l'union de certaines espèces permet la diversité des biocénoses, donc de la vie, en fonction des paramètres physico-chimiques, notamment en conditions morpho-climatiques extrêmes. L'exemple de biotope le plus emblématique est celui de la doline de l'Arche (figure A). Ce site abrite trois espèces de Nothofagus (*Betuloides*, *Pumillo*, *Antarctica*), ces fameux hêtres austraux dont le genre, hérité de l'ère secondaire, a traversé les

temps géologiques et s'est adapté aux milieux, comme également en Nouvelle-Guinée sous climat équatorial de montagne et en Nouvelle Zélande sous climat tempéré océanique.

Références :

- Zamora E. y Santana A., 1979. Características de la costa occidental de la Patagonia entre las latitudes 46°40' y 56°30'. Anales Inst. Patagonia, Punta Arenas (Chile), 10, p. 109-144.



Dévoiler la biodiversité de Patagonie à l'aide de l'ADN environnemental

Raphaël SEGUIN

UMR Marbec, Université de Montpellier

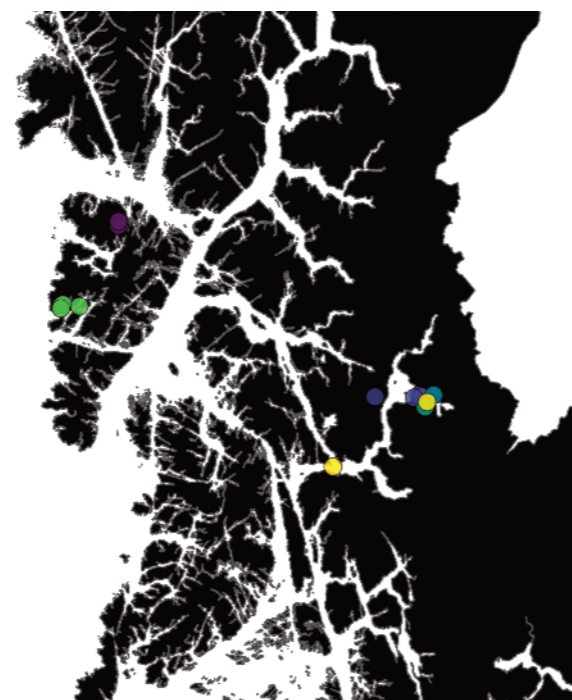
▷ Figure 1 : Cartographie des sites échantillonnés.

© Raphaël Seguin, Centre Terre

Introduction

Partout où nous allons, nous laissons des traces de nous-mêmes: notre ADN. L'ADN est une molécule universelle, partagée par tout le monde vivant. Lorsqu'un être vivant traverse une forêt, un lac ou un récif, il laisse des morceaux de salive, d'urine ou de peau... un signal unique de sa présence dans un écosystème. Chaque espèce possède sa propre séquence d'ADN. En échantillonnant l'ADN d'un environnement, il devient possible de révéler la plupart des espèces présentes dans un lieu donné. Cette méthode est appelée ADN environnemental, ou ADNe. Des virus aux baleines, en passant par les insectes, les oiseaux ou les amphibiens, l'ADNe permet de dévoiler la biodiversité présente dans un écosystème en utilisant seulement quelques échantillons d'eau, de terre, de miel ou d'excréments.

Nous sommes confrontés à un déclin massif de la biodiversité, où les activités humaines ont un impact sur tous les écosystèmes de la planète. Face à l'immense défi que représente la destruction du monde vivant et de la crise climatique, notre capacité à surveiller et à comprendre les changements des écosystèmes n'a jamais été aussi importante. L'ADN environnemental est une révolution dans notre capacité à étudier le vivant. En effet, l'étude de la biodiversité peut s'avérer très difficile. Dans le milieu marin, des méthodes telles que les comptages visuels lors des plongées ou les vidéos sous-marines ratent souvent certaines espèces qui craignent les humains, sont cachées dans les fonds ou à des profondeurs inaccessibles. Cependant, toutes ces espèces, comme les espèces rares (requins, mammifères) ou les espèces de petite taille (blennies, gobies, juvéniles) libèrent dans l'environnement un ADN qui sera détectable pendant des jours. Qu'il s'agisse d'étudier comment les écosystèmes réagissent à la pollution, à l'exploitation, ou comment les espèces vont modifier leur aire de répartition face au changement climatique, l'ADNe nous permet de mieux comprendre la biodiversité et nous aide à la protéger. Cependant, l'ADNe a



Site ● Egg ● Estero Calvo ● Glacier_HPS31 ● Glacier_HPS35 ● Guarello ● Nav.canaux

aussi ses limites: à partir de cette technique, on ne peut pas connaître le nombre d'espèces dans un écosystème, leur âge ou leur sexe. C'est pourquoi il est important de combiner l'ADNe avec d'autres techniques de surveillance de la biodiversité.

En Patagonie, l'utilisation de l'ADN environnemental est particulièrement adaptée étant donné la difficulté d'accès à la fois en milieu terrestre dans la forêt primaire pour suivre la faune terrestre (oiseaux et mammifères), et en milieu marin étant donné la complexité technique et organisationnelle derrière chaque plongée sous-marine. En revanche, l'utilisation de l'ADNe dans cette région reste un défi à l'heure actuelle, car de nombreuses espèces n'ont pas été séquencées: leur séquence ADN n'est pas disponible dans la base de données génétique. De plus, une partie des espèces pourraient être nouvelles à la science et donc absente de la base de données. Ainsi, à l'heure actuelle, de nombreuses identifications s'arrêtent au genre voire à la famille.

Objectifs

La Patagonie, et en particulier les confins de la Patagonie chilienne explorés durant cette expédition, reste une zone peu

explorée et à la biodiversité mal connue. Durant cette expédition, nous avons utilisé l'ADN environnemental pour étudier la diversité en oiseaux, mammifères terrestres et marins, et poissons sur les différents sites explorés: Guarello, estero Calvo et les glaciers alentours, ainsi que le camp de base principal dans l'estero Egg. Au total, 20 filtres ont été échantillonnés sur ces différents sites: quatre au niveau de Guarello, un lors de la navigation dans les canaux sur le chemin vers l'estero Calvo, deux au niveau du glacier Glacier HPS31, un nouveau sur la navigation sur le retour du glacier au camp de base de l'estero Calvo, et un nouveau au niveau du glacier Glacier HPS35. Enfin, 7 filtres ont été échantillonnés au niveau du camp de base de l'estero Egg.

Résultats

La classification taxonomique repose sur une hiérarchie fixe de catégories (les rangs de taxon), définie de la façon suivante: (vivant) → règne → embranchement → classe → ordre → famille → genre → espèce. Par exemple, l'humain se situe dans le règne animal, dans l'embranchement des chordés, la classe des mammifères, l'ordre des primates, la famille des hominidés, le genre Homo et l'espèce

Homo sapiens. Pour de nombreuses espèces détectées durant cette expédition, l'identification s'arrête au niveau de la famille ou du genre. Cette limite est liée à la base de données génétique encore incomplète dans cette zone.

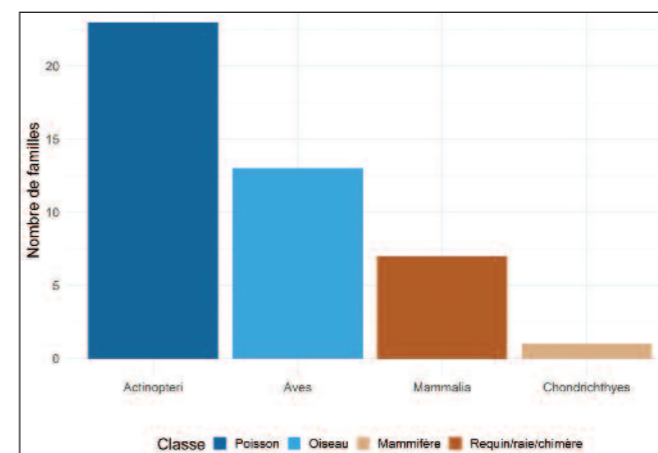
Au total, 24 familles ont été détectées pour les poissons, 14 pour les oiseaux, 8 pour les mammifères et 1 famille dans la classe des Chondrichthyens (Figure 2). Le groupe avec le plus d'espèces détectées est le groupe des poissons avec 65 espèces détectées, suivi du groupe des oiseaux avec 22 espèces, puis 20 espèces pour les mammifères et 1 espèce pour les Chondrichthyens (Figure 3).

Le site avec le plus d'espèces étudiées est l'estero Egg avec 60 espèces détectées, suivi de Guarello avec 39 espèces détectées, puis les sites étudiés autour des glaciers avec 23 espèces et l'estero Calvo avec 21 espèces (Figure 4). Ces indicateurs ne sont pas forcément un indice de la richesse spécifique d'un milieu, mais peuvent aussi venir d'une différence d'effort d'échantillonnage entre les sites – l'estero Egg étant le site le plus échantillonné – ou des conditions dans lesquelles les échantillons ont été prélevés (profondeur, courantologie).

Mammifères:

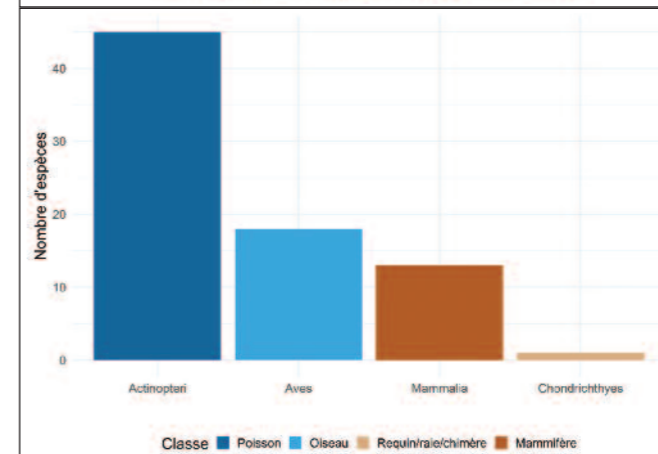
De nombreuses traces d'ADN de mammifères ont été observées sur tous les sites, ce qui indique que même ces milieux insulaires très isolés sont habités par plusieurs espèces de mammifères.

Parmi les détections les plus surprenantes se trouve le vison d'Amérique (Neogale vison), une espèce originaire et commune en Amérique du Nord, mais qui a été introduite volontairement en Patagonie dans les années 1930 pour sa fourrure. Durant la crise de cette industrie, les visons ont été libérés dans la nature et se sont étendus à travers le Chili. Cette espèce est à présent considérée comme invasive au Chili et fait l'objet de plusieurs plans d'éradication. En revanche, sa présence dans les zones plus isolées de la Patagonie chilienne est une surprise étant donné les barrières géographiques



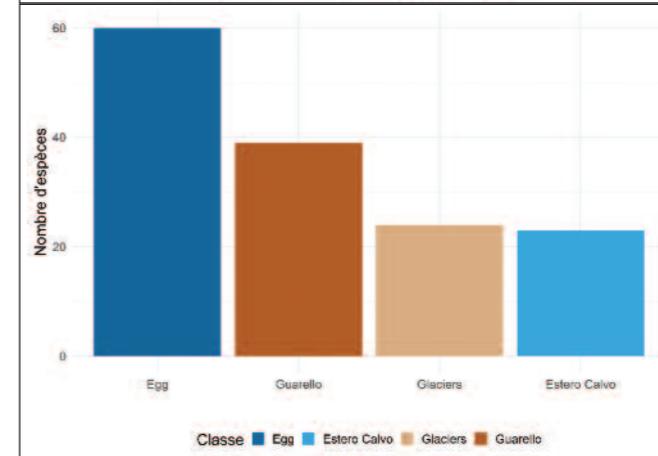
< Figure 2 : Nombre de familles par classe étudiées.

© Raphaël Seguin, Centre Terre



< Figure 3 : Nombre d'espèces par classe étudiée.

© Raphaël Seguin, Centre Terre



< Figure 4 : Nombre d'espèces détectées par site étudié.

© Raphaël Seguin, Centre Terre

séparant ces îles du continent. Sa détection au niveau de l'estero Egg, donc sur l'île de Madre de Dios, est une découverte surprenante, car elle indiquerait que le vison s'est peut-être étendu jusque dans les confins de la Patagonie, sur des îles très isolées, où il est probablement arrivé en bateau. La présence du vison d'Amérique atteste de la vigilance à adopter lors de la conduite d'expédition dans des zones intactes et inexplorées telles que Madre de Dios, car son arrivée sur l'île pourrait avoir été entraînée par une expédition précédente ou par des bateaux de pêche.

Plusieurs espèces de rongeurs/belettes ont été détectées, dont le *ragondin*

Myocastor coypus, espèce invasive en Europe, mais native en Amérique du Sud, ainsi que l'*Abrothix*, un rongeur d'Amérique, probablement la souris andine de l'Altiplano (*Abrothix andina*), une espèce de

▽ Le vison d'Amérique, détecté sur l'île de Madre de Dios.

Photo © Brendan Lally



▷ Le caracara huppé, *Caracara plancus*, détecté sur l'île de Madre de Dios.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre

rongeur endémique du Chili/Argentine/Pérou/Bolivie. Des otaries étaient présentes sur quasiment tous les sites, notamment du genre *Arctocephalus* – otarie qui se distingue des autres par son pelage plus fourni. Des espèces de loutres, très probablement *Lontra felina*, la plus commune en Patagonie chilienne, ou moins probablement *Lontra procax*, une espèce de loutre en danger et donc rare.

Parmi les mammifères marins, plusieurs espèces d'odontocètes (cétacés à dents) et de cétacés étaient présentes, notamment le cachalot *Physeter catodon* et le rorqual boréal *Balaenoptera borealis*.

Oiseaux:

Chez les oiseaux, la conure à long bec (*Enicognathus leptorhynchus*), une espèce endémique du Chili où elle s'appelle choroy, a été détectée proche du camp de base. Cette détection sur l'île de Madre de Dios est notable, car elle se situe dans une zone où l'espèce est rare à occasionnelle, en dehors de sa zone de distribution la plus abondante.

Des cormorans, du genre *Phalacrocorax* étaient présents sur plusieurs sites, dont le cormoran de Magellan *Phalacrocorax magellanicus* observé à plusieurs stations, et du genre *Leucocarbo*. Des manchots, très probablement le manchot de



Andes (*Motacilla magellanica*), endémique d'Amérique du Sud, des Furnarius, genre qui regroupe six espèces de Fournier, des petits passereaux brun roux endémiques d'Amérique du Sud, des oiseaux de la famille des *Thinocoridae*, notamment l'espèce *Attagis gayi* ou *Attagis de Gay*. Des rapaces de l'espèce *Caracara plancus* ou *Caracara huppé*, détectés au niveau des glaciers, mais aussi des rapaces diurnes de la famille des *Accipitridae*. Enfin, des colibris, observés à plusieurs reprises durant l'expédition, de la famille des *Trochilidae*.

Poissons

De nombreuses espèces de poissons ont été détectées, aussi bien côtières, de surface ou des abysses, vivant sur le fond ou en pleine eau, de grande taille et de petite taille:

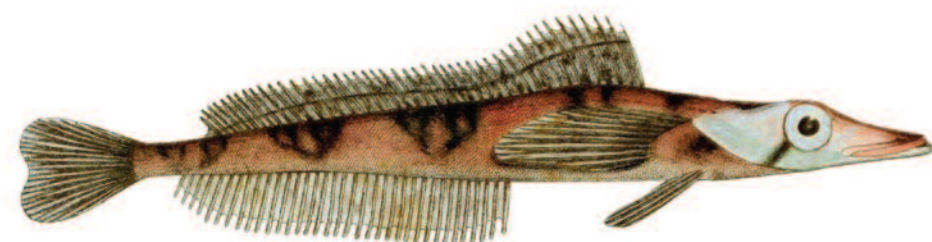
retournent dans les profondeurs la journée. Sa détection est donc probablement la trace laissée derrière lui après sa migration nocturne.

- Des Ophidiidae, poissons abyssaux qui vivent à plusieurs milliers de mètres de profondeur.

- Sur plusieurs sites, des poissons-dragons ont été détectés, de la famille des *Bathyaconidae*. On ne connaît que peu de choses sur leur biologie. Deux espèces de cette famille ont été détectées: *Gerlachea australis* que l'on trouve entre 200 et 670 mètres de profondeur, *Parachaenichthys charcoti*, toutes les deux sur le site de Guarello. Leur détection est très surprenante, car cette espèce est normalement inféodée aux côtes de l'Antarctique, détectée ici à plusieurs centaines de kilomètres de leur aire de répartition connue. Ainsi, soit les espèces détectées ici sont des espèces très proches des deux détectées, mais encore inconnues ou absentes de la base génétique, soit ces poissons très peu étudiés ont une aire de répartition bien plus large que précédemment estimée.

- Une liste non exhaustive d'autres espèces: *Helcogrammoides cunninghami*, petite Blennie appelée **Cunningham's triplefin** en anglais, *Cheilodactylus variegatus* ou *Morwong péruvien*, *Raneya brasiliensis*, l'anguille rayée, la blennie de Patagonie *Eleginops maclovinus*, *lindbergichthys nudifrons* ou la Bocasse à nageoire jaune, des poissons du genre *Notothenia*, *Sebastes* (perches de mer), *Cottoidei...*, des poissons plats de la famille des *Paralichthyidae*,

- Des poissons bioluminescents de la famille des *Myctophidae*, aussi appelés poisson-lanterne, qui existe pour certaines espèces depuis 145 millions d'années. Les poissons-lanternes comptent parmi les vertébrés les plus abondants sur terre. Ils résident dans la zone mésopélagique, entre 200 et 1 000 mètres de profondeur, et, comme la plupart des poissons dans cette zone, migrent en surface la nuit pour se nourrir et



Magellan observé sur plusieurs stations, ont été détectés proche du camp de base (*Spheniscus magellanicus*). Dans l'ensemble, la Patagonie chilienne exhibe une diversité riche en oiseaux et les résultats ADN viennent compléter les observations faites durant l'expédition: le bihoreau gris (*Nycticorax nycticorax*), résident permanent de la Patagonie chilienne, des merles et grives (*Turdus sp.*), le Mérulaxe des

des *Oncorhynchus* (saumons et truites), et globalement de nombreuses familles et genre du large, comme des carangues.

Chondrichthyes

Les chondrichthyens, aussi appelés poissons cartilagineux, regroupent les requins, les raies et les chimères. Durant cette expédition, une espèce de chimère était présente au niveau de l'estero Egg. Détectée sous le genre de *Callorhinchus*, c'est très probablement l'espèce *Callorhinchus callorhynchus*, aussi appelée masca laboureur, espèce présente en Patagonie et pêchée toute l'année en Argentine et au Chili. Cette espèce est menacée par la surpêche, notamment par le chalutage et les filets dérivants. Elle vit sur le fond des océans, sous les 200 mètres de profondeur, où elle filtre les sédiments pour se nourrir de petites crevettes.

Contaminations

Enfin, des contaminations attendues liées aux repas, à la présence humaine dans ces eaux, que ce soit lié à l'expédition ou non (bateau commercial qui passe et qui relargue des eaux ou a sur lui des traces d'ADN venant d'autres endroits), ou tout simplement à des contaminants lors de l'analyse des filtres. Ainsi, des traces de bovins, de poules ou de cervidés ont été détectées, mais aussi de chien, et *Homo sapiens* était systématiquement présent sur tous les filtres.

Perspectives

La limite principale de ces échantillonnages repose dans la base de données génétique assez faible. Ainsi, lorsque la base de données génétique sera plus complète, nous pourrions refaire les analyses des filtres ADN pour détecter plus précisément les espèces. Certaines détections (comme le poisson-dragon) ont été faites à des endroits inattendus pour ces espèces. Il convient donc de vérifier, une fois que la base de données sera plus complète, si ce sont bien ces espèces qui ont été détectées, ou des espèces proches voire de nouvelles espèces. La présence du vison d'Amérique a été notifiée au service chilien de l'agriculture et de l'élevage (Servicio Agrícola y Ganadero de Chile).



△ △ △ Marie et Raphaël lors d'une séance de prélèvement d'ADN; △ △ Dauphins; △ Otaries
Photos © Serge Caillault, Centre Terre

Études microbiologiques dans les profondeurs des grottes de l'île Madre de Dios

Matías VARGAS-REYES, Nicolás BRUNA, Nicolás TORRES-OLEA & José Manuel PÉREZ-DONOSO

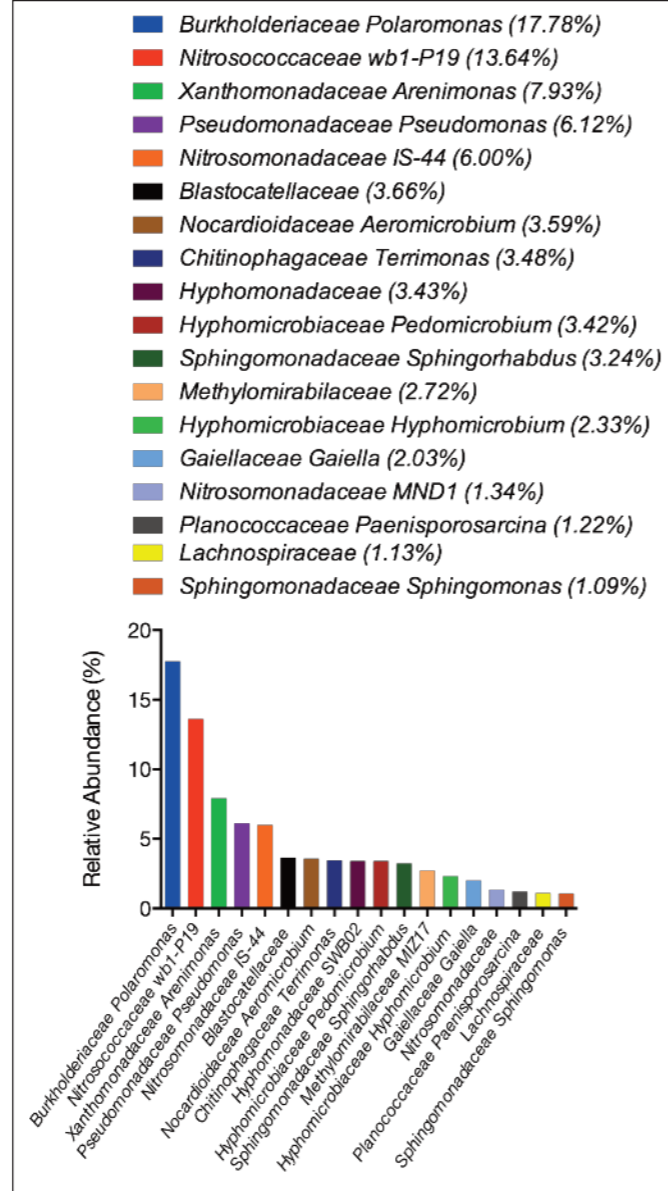
Laboratoire de bio-nanotechnologie et de microbiologie, Centre de bio-informatique et de biologie intégrative (CBIB), Faculté des sciences de la vie, Universidad Andrés Bello, Av. República #330, Santiago, Chili.

▷ Figure 1 : Analyse taxonomique des communautés bactériennes de la grotte Jackpot. A) Identification des communautés bactériennes présentes à 145 mètres de profondeur.

1. Introduction

Parmi les diverses formes de vie sur Terre, des organismes microscopiques, en particulier des bactéries, sont capables d'habiter les environnements les plus extrêmes de notre planète, tels que les déserts, les glaciers, les volcans ou les cheminées hydrothermales, entre autres. L'étude de ces bactéries (également appelées extrémophiles) a considérablement augmenté ces dernières années, non seulement pour comprendre comment ces organismes peuvent survivre dans des environnements aussi hostiles, mais aussi pour les utiliser en biotechnologie (pour la biosynthèse d'enzymes, de médicaments, de nanoparticules, entre autres), ou encore en astrobiologie pour évaluer comment les bactéries pourraient survivre sur Mars ou sur la Lune (Colak et al, 2022). En ce sens, l'île de Madre de Dios est un endroit idéal pour la recherche de bactéries extrémophiles, car en plus d'avoir des conditions climatiques inhospitalières, telles que des vents forts et de la pluie, elle possède le système karstique le plus méridional du monde, composé de nombreuses grottes calcaires. Par conséquent, le climat inhospitalier de l'île Madre de Dios et la présence de systèmes karstiques ont favorisé la création d'un écosystème aux caractéristiques uniques et, par conséquent, la création de bactéries aux caractéristiques uniques.

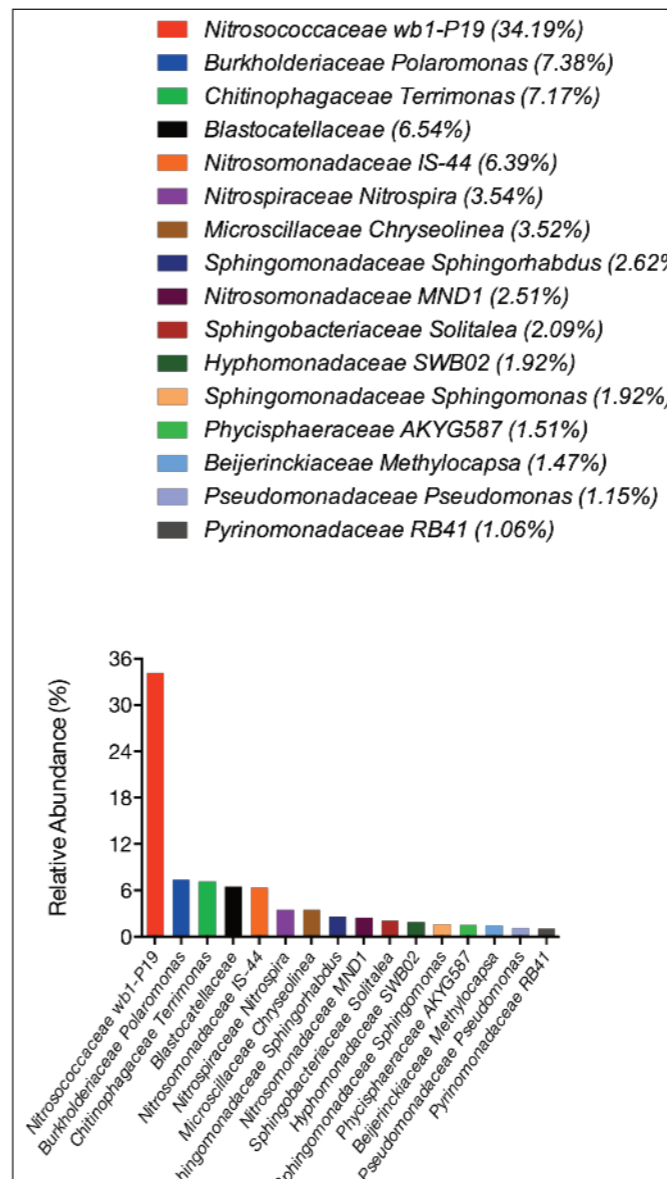
Lors de la dernière expédition Última Patagonia 2019, le scientifique de terrain Dr. (c) Nicolás Bruna a analysé la diversité bactérienne du secteur Grand Cirque, en particulier dans la grotte Jackpot. Des échantillons ont été prélevés dans la grotte Jackpot à une profondeur de 145 et 170 mètres et de l'ADN génomique a été obtenu pour l'analyse microbiologique. Les analyses de séquençage du gène bactérien 16S ont révélé la présence de bactéries autotrophes oxydant le soufre et le nitrite (famille des Nitrosococcaceae), de bactéries capables d'obtenir de l'énergie à partir du méthane (ordre des



Methylomirabiales), de bactéries ayant une activité dénitrifiante et la capacité de dégrader les composés aromatiques (genre Polaromonas), parmi d'autres (figure 1). Ces résultats indiquent qu'en raison de la rareté de la matière organique caractéristique des grottes profondes, les bactéries obtiendraient de l'énergie à partir de sources inorganiques telles que H₂S ou NO₂, ainsi que de l'oxydation de gaz atmosphériques tels que CH₄ dans les profondeurs de la grotte.

Dans le prolongement des recherches de la dernière expédition, lors de la récente expédition Última Patagonia 2023, nous avons voulu étendre la recherche de communautés bactériennes à d'autres grottes de l'île Madre de Dios, mais cette

fois-ci, en plus de l'étude des communautés bactériennes présentes dans les profondeurs des grottes, nous avons incorporé une approche biotechnologique à la recherche. Cette approche consiste en l'étude des bactéries formant des biofilms, l'un des modèles de vie microbienne les plus réussis et les plus répandus sur Terre (Flemming et al, 2016). Les biofilms sont définis comme des agrégats de micro-organismes dans lesquels les bactéries sont intégrées dans une matrice de substances polymériques extracellulaires autoproduites, qui adhèrent les unes aux autres et/ou à une surface (Flemming et al, 2016). Actuellement, les biofilms ont d'importantes applications biotechnologiques pour la synthèse de composés précieux (tels que les surfactants

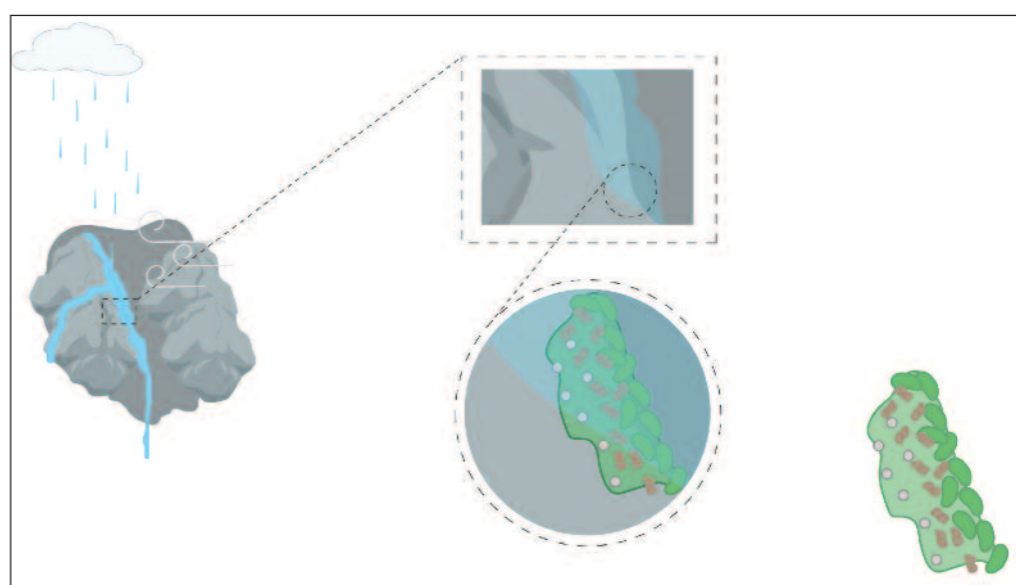


et l'éthanol) et pour l'amélioration et la transformation des aliments (Berlanga et al, 2016). Compte tenu des conditions climatiques de l'île de Madre de Dios (précipitations et vents violents) et des caractéristiques géologiques des grottes, nous pensons que les biofilms générés par ces bactéries pourraient présenter des caractéristiques uniques utilisables en biotechnologie, ce qui pourrait également nous éclairer sur la manière dont les communautés bactériennes survivent dans les conditions inhospitalières de l'île de Madre de Dios (figure 2).

2. Méthodologie

2.1 Analyse des communautés bactériennes des grottes de l'île Madre de Dios.

Dans le gouffre du Jackpot, comme lors de l'expédition menée en 2019, avec l'aide de la spéléologue Kateryna Medvedieva, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés à 147



mètres de profondeur (Rugby Hall) et à 185 mètres. De plus, afin de comparer les communautés bactériennes des profondeurs de la grotte avec celles situées près de l'entrée de la grotte, des échantillons ont été prélevés sur un site situé près de l'entrée de la grotte Jackpot, à une profondeur de 20

mètres. Lors de l'expédition 2019 sur l'île Madre de Dios, les analyses microbiologiques ont été effectuées uniquement dans la grotte Jackpot. Cependant, au cours de l'expédition actuelle, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés aux **Trois Entrées Plus Une**, au **gouffre du Bowling Hole**, au **gouffre des Arches Perdues** et à la **grotte des Pirates**. À la **grotte des Trois Entrées Plus Une**, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés à l'entrée et à l'intérieur de la grotte avec l'aide de la spéléologue Amandine Laborde afin de caractériser l'évolution des communautés bactériennes au fil des formations géologiques. Au gouffre du Bowling et à la grotte des Arches Perdues, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés à 185 m de profondeur, avec l'aide de la spéléologue Natalia Morata. Enfin, grâce au spéléologue Alexandre Honiat, des échantillons ont été prélevés à l'intérieur de la grotte des Pirates, à 80 mètres d'altitude.

Ces échantillons sont actuellement analysés par séquençage 16S massif, c'est-à-dire l'analyse de fragments d'ADN pour la taxonomie des différentes espèces bactériennes présentes dans les échantillons de sol et de roche des grottes.

2.2 Analyse des communautés bactériennes à différentes profondeurs dans la grotte des Trois Entrées plus Une

Outre les caractéristiques abiotiques des grottes de l'île Madre de Dios, un autre facteur susceptible de diversifier les

◁ Figure 1 : B) Identification des communautés bactériennes présentes à une profondeur de 170 mètres. B) Identification des communautés bactériennes présentes à une profondeur de 170 mètres.

▽ Figure 2 : Représentation des communautés bactériennes de l'île de Madre de Dios intégrées dans des biofilms sur des roches constamment exposées à l'eau.

communautés bactériennes est la profondeur des sols, que ce soit en raison de la disponibilité de la lumière solaire, des nutriments ou de l'oxygène, entre autres facteurs. Dans ce contexte et dans le but d'évaluer les effets de l'écosystème de la grotte sur les communautés microbiennes, des échantillons de sol ont été prélevés à 7, 14 et 22 mètres de profondeur dans deux zones de la grotte Trois Entrées Plus Une : à l'entrée de la grotte, un site où la diversité biologique est élevée et où la lumière est disponible ; et à l'intérieur de la grotte, dans des sites qui, à l'œil nu, présentent une faible diversité biologique et où la lumière du soleil n'est pas disponible (figure 3). La diversification des communautés bactériennes est analysée par séquençage massif de 16S.



2.3 Analyse des communautés bactériennes formant des biofilms et constamment exposées à l'eau



Les biofilms correspondent à l'un des modèles de vie les plus réussis connus à ce jour. Ils sont constitués de substances polymériques extracellulaires, c'est-à-dire de différents types de sucres, de lipides, d'acides nucléiques et de protéines, entre autres. En général, la formation de biofilms par les communautés bactériennes leur offre une protection contre les conditions environnementales hostiles. Compte tenu des conditions climatiques de l'île et de la présence constante d'eau à l'extérieur et à l'intérieur des grottes de l'île Madre de Dios, nous pensons que les biofilms

formés par les communautés bactériennes présentent des caractéristiques particulières, telles qu'une plus grande adhérence à la surface et une composition différente des substances polymériques extracellulaires. Au cours de la présente expédition sur l'île Madre de Dios, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés à l'extérieur de la grotte Jackpot (figure 4A) et au camp des Champipis, grâce à la spéléologue Natalia Morata (figure 4B). En outre, des échantillons de sol et de roche ont été prélevés à l'intérieur de la grotte Trois Entrées Plus Une, qui est constamment exposée à

l'eau des petites cascades qui tombent à l'intérieur de la grotte.

3. Conclusions et projections
À la lumière des résultats obtenus, les communautés bactériennes de l'île Madre de Dios survivent à la pénurie de nutriments dans les grottes en obtenant de l'énergie à partir de sources inorganiques, telles que le soufre, le nitrite et le méthane, et non à partir de sources organiques traditionnelles. En outre, afin de contribuer à la survie dans les conditions environnementales hostiles de l'île, les communautés bactériennes pourraient former des biofilms avec une composition différente de sucres et de lipides, entre autres, ce qui fait l'objet des études que nous menons actuellement en laboratoire.

L'étude des communautés bactériennes des grottes de l'île Madre de Dios contribue à la découverte de bactéries dotées de capacités uniques d'adaptation aux écosystèmes les plus inhospitaliers de notre planète et, à leur tour, pourrait constituer un excellent modèle à utiliser à des fins biotechnologiques pour la production de produits d'intérêt industriel.



Figure 4 : Échantillonnage à l'extérieur des grottes de l'île Madre de Dios.
 <A> Échantillons de calcaire prélevés à l'extérieur de la grotte Jackpot.
 ▽ B) Échantillons de roches prélevés au camp des Champipis.
 ▽ ▽ C) Échantillons de roches obtenus au camp des Champipis (gros plan).
 Photo © Centre Terre



Bibliographie :
 - Berlanga, M., & Guerrero, R. (2016). Living together in biofilms: the microbial cell factory and its biotechnological implications. *Microbial cell factories*, 15(1), 1-11.
 - Çolak, B., & Güngör, N. D. (2022). The Astrobiological Significance of Caves on Earth and on Mars. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(3), 57-64.
 - Flemming, H. C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A., & Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 563-575.



Biologie souterraine - collectes de la faune cavernicole sur le secteur de l'Estero Egg

Franck BRÉHIER

Ultima 2023 : nouveau secteur, nouvelles cavités, et qui sait nouvelles espèces animales ? À chaque fois, nos expéditions nous ont offert le privilège d'arpenter des secteurs inconnus où notre souci premier a été de collecter le maximum de données à travers une approche multidisciplinaire. Ainsi, malgré les contraintes pratiques, nous avons maintenu sur toutes nos expéditions un volet consacré à la biologie souterraine. Guarello, Diego de Almagro, Barros Luco et à présent Estero Egg : petit à petit, les résultats se sont cumulés et nous permettent à présent, malgré un effort de collecte qui reste faible par rapport à l'étendue de la zone d'étude, de nous faire une idée des composantes de la faune souterraine de Patagonie.

Bilan des collectes en 2023 sur le secteur Estero Egg.

En 2023, nous avons procédé à quelques collectes et observa-

tions sur le secteur de l'Estero Egg.

Divers sites ont ainsi été échantillonnés : le gouffre des Arches perdues, la grotte des Pirates et la résurgence de Golondrina. Les collectes ont été faites à vue ou en utilisant un filet à maille fine pour la faune aquatique. Elles ont été triées directement à la cabane sous loupe binoculaire, et conservées dans l'éthanol.

- Faune terrestre

Pour la faune terrestre, quelques espèces sont retrouvées régulièrement dans les cavités. Elles ne présentent pas d'adaptations marquées au milieu souterrain, mais sont des hôtes fréquents, que l'on a pu croiser également sur les autres parties de Madre de Dios. Il peut s'agir de troglodites réguliers ou de troglodites. Dans cette catégorie, nous avons collecté : oligochètes, araignées et orthoptères *Rhaphidophoridae*.

Leur détermination reste incomplète.

Un collembole de la famille des *Isotomidae* a été récolté à la grotte des Pirates et à la résurgence de Golondrina, à chaque fois en un unique exemplaire. Il s'agit d'une espèce nouvelle, et probablement d'un genre nouveau. Malgré sa pigmentation et la présence d'yeux, il pourrait s'agir d'une espèce troglophile, voire troglodite (habitant permanent et exclusif des milieux souterrains terrestres). Sans données supplémentaires sur la faune épigée ou du sol des alentours, il est impossible pour l'heure de conclure. Elle a été confiée à Louis Deharveng qui en a assuré la détermination et devrait pouvoir la décrire.

Enfin, un Acarien de la famille des *Rhagidiidae* a été collecté, là aussi en un unique exemplaire, dans les parties exondées de la

résurgence de Golondrina. Il présente toutes les caractéristiques d'une espèce troglodite : appendices allongés, dépigmentation et anophtalmie. C'est à ce jour la seule espèce troglodite récoltée sur les archipels. Malheureusement, le spécialiste de cette famille n'est plus en activité et actuellement personne n'est en mesure d'en faire la détermination et la description...

- Faune aquatique

Pour la faune aquatique, nous avons pu, à une occasion, pousser un filet à plancton dans le siphon de la **grotte des Pirates** et dans la **résurgence de Golondrina**, où se mélangent eau douce et eau de mer. Ces collectes ont donné à la grotte des Pirates des copépodes Harpacticides, non déterminés.

Des amphipodes de la famille des *Hyaellidae* ont été collectés à vue dans les siphons de la grotte des Pirates, dans le siphon de la résurgence de Golondrina, et dans la partie active du **gouffre des Arches Perdues**. Ils ressemblent en tout point à ceux que nous avons déjà échantillonnés dans les diverses rivières souterraines du Barros Luco (**résurgences Sud du Brazo de Los Puertos, de la Bahia Blanca, de la Petite Chinoise et de la grotte de las Duchas de San Pedro**). Ces amphipodes ne présentent pas d'adaptations marquées au monde souterrain, mais peuplent de manière régulière les rivières souterraines de l'archipel. Ils n'ont pour l'heure pas pu être déterminés, mais ont été envoyés récemment à Marcela Peralta, une biologiste de l'Université de Tucumán, en Argentine. Enfin, un crustacé de l'ordre des *Anaspidacea* a été récolté en de nombreux exemplaires dans un petit gour recouvert d'une fine couche de limon au fond de la grotte des Pirates, ainsi que dans un petit gour dans la partie post-siphon de la résurgence de Golondrina. Les individus déambulent tranquillement sur le fond et sont capables de nager en pleine eau si on les dérange. Ils présentent toutes les caractéristiques d'une espèce stygobie (habitants permanents et exclusifs des milieux souterrains aquatiques). D'autres exemplaires, d'aspect très semblable



et probablement de la même espèce, avaient été collectés à la grotte de la Bahia Blanca, dans le secteur du Barros Luco en 2017. Malheureusement, ces échantillons sont passés entre les mains de différents spécialistes et ont été finalement perdus, sans avoir pu être décrits. Les échantillons de 2023 ont été envoyés à Marcela Peralta, la spécialiste de ce groupe. Après des mois d'errance dans les douanes françaises puis argentines, ils ont enfin fini par atteindre le bureau de Marcela, qui a déjà confirmé qu'ils appartiennent à la famille des *Patagonaspididae*, famille qui ne compte à présent qu'un genre et qu'une espèce, *Patagonaspides sandroruffoi*. Cette dernière vit dans le milieu interstitiel, notre nouvelle espèce serait le premier *Anaspidacea* d'Amérique du Sud vivant dans les grottes. Leur détermination est en cours.

Peu de faune dans les grottes de Patagonie. Pourquoi ?

Il ressort de l'ensemble de nos données récoltées au fil des expéditions une extrême pauvreté en espèces troglodites et stygobies. Plusieurs raisons peuvent être invoquées pour expliquer ce fait.

La grosse contrainte du milieu souterrain, qui par ailleurs peut présenter certains avantages pour le développement de la vie animale (stabilité de la température et de l'humidité, absence de prédateurs) est l'extrême rareté des ressources alimentaires. L'obscurité totale et permanente empêche la production de matière organique par la photosynthèse, et la quasi-totalité de la matière organique disponible sous terre provient des apports extérieurs : feuilles mortes qui tombent dans les gouffres, apports par

△ Rhagidiidae de la résurgence de la Golondrina.

▽ Patagonaspididae (*Patagonaspides n.sp.*) de la grotte des Pirates et de la résurgence de Golondrina.

Photos © Franck Bréhier, Centre Terre

△ Tableau de nos récoltes en 2023. TX = troglodite TB = troglodite SX = stygobie SB = stygobie

© Franck Bréhier

Animaux collectés	Milieu de prélèvement	mode de vie	Lieu de prélèvement
Oligochète	Terrestre, sur parois	TX	grotte des Pirates (21/02 et 03/03/2023), gouffre des Arches Perdues (22/02/2023)
Oligochète	Aquatique, dans une flaque d'eau douce.	SX ?	grotte des Pirates (03/03/2023)
Acarien	Terrestre, au filet, au niveau du siphon.	TX	grotte des Pirates (10/02/2023)
Acarien Rhagidiidae	Terrestre, à la surface d'un gour.	TB ?	grotte des Pirates (07/02/2023)
Aranéide	Terrestre, sur paroi.	TX	grotte des Pirates (25/02 et 03/03/2023)
Copépode Harpacticide	Aquatique, au filet à main, au niveau du siphon.	SB ?	grotte des Pirates (10/02/2023)
Amphipode Hyaellidae	Aquatique, dans les parties actives, en eau douce ou saumâtre.	SX	gouffre des Arches Perdues (22/02/2023), résurgence de Golondrina (08/03/2023), grotte des Pirates (observés, non collectés)
Syncaride Anaspidacea	Aquatique, eau douce, dans des flaques à fond limoneux.	SB	grotte des Pirates (10/02/2023), résurgence de Golondrina (18/02/2023)
Collembole Isotomidae	Terrestre. À la surface d'un gour.	TB ?	grotte des Pirates (10/02/2023), résurgence de Golondrina (18/02/2023)
Orthoptère Rhaphidophoridae (<i>Heteromallus sp?</i>)	Terrestre. Sur les parois.	TX	grotte des Pirates (03/03/2023)



Expedition Ultima Patagonia 2023 : la prospection de la faune et de la flore et son importance pour la préservation de l'environnement

les cours d'eau, matière organique dissoute entraînée par les infiltrations, guano de chauve-souris... En Patagonie, la couverture végétale est très faible sur les plateaux karstiques et nulle part nous n'avons pu observer de colonies de chiroptères. L'apport de matière organique est donc particulièrement faible dans ces cavités. De plus, les crues sont quasi journalières et lessivent littéralement les conduits actifs. Ainsi, les dépôts de matière organique sont très rares sous terre.

Une autre raison vient de l'histoire de l'archipel qui, à de multiples reprises, s'est retrouvé couvert par les glaces au cours du Pleistocène. Il s'est opéré en quelque sorte une « remise à zéro » des peuplements lors de la dernière glaciation. L'ordre de grandeur pour que l'évolution mène à des espèces troglobies ou stygobies se compte en millions d'années. Ainsi, soit la faune souterraine troglobie ou stygobie présente actuellement a pu se maintenir lors de la dernière glaciation, soit elle résulte d'une recolonisation depuis des zones refuges. On considère que les glaciations engendrent un appauvrissement de la faune cavernicole au cœur des zones englacées, mais un enrichissement dans les zones périphériques, le milieu souterrain agissant alors comme un refuge contre les températures extrêmes. Quant à une recolonisation, les espèces souterraines ont acquis au fil de l'évolution des adaptations les rendant « prisonnières » de leur milieu si particulier. La nature extrêmement morcelée de celui-ci et l'état insulaire du

secteur semblent donc des facteurs limitant fortement les possibilités de recolonisation des grottes.

Petit bilan de la faune troglobie et stygobie de Madre de Dios.

Au fil de nos expéditions, nous avons récolté un matériel certes peu abondant, mais eu égard aux contraintes particulières mentionnées plus haut, non dénué d'intérêt. Voici une liste non exhaustive des formes troglobies et stygobies découvertes à ce jour.

La faune terrestre semble très pauvre en espèces troglobies, car jusqu'à présent nous n'avons pu récolter sous terre aucune espèce troglobie. La nouveauté cette année concerne un *acarien Rhagidiidae*, selon toute vraisemblance troglobie, et un Collembole Isotomidae qui pourrait l'être. Dans le cas de ces espèces troglobies, on pourrait émettre l'hypothèse qu'elles se soient maintenues lors des dernières glaciations.

La faune aquatique présente une diversité plus grande avec plusieurs espèces présentant toutes les caractéristiques de stygobiontes.

Dans cette catégorie, nous pouvons citer l'*amphipode Ruffia patagonica*, récolté en 2006 à la résurgence del Fin de Seno, une cavité anchialine de l'un des bras du seno Eleuterio. Ce nouveau genre appartient à la famille des *Phreatogammaridae* qui n'était connue jusqu'alors que des eaux continentales de Nouvelle-

Zélande et de Nouvelle-Calédonie. S'agit-il dans ce cas d'une recolonisation du milieu souterrain depuis le milieu interstitiel marin? Malgré nos recherches dans l'interstitiel du littoral à proximité de la cavité et sur d'autres secteurs, nous ne l'avons pas retrouvé ailleurs.

Une autre espèce a été trouvée uniquement à la **Cueva de Fin del Seno**, en 2006. Il s'agit d'un *isopode Janiridae*, probablement du genre *lais*. Ce genre est représenté actuellement par deux espèces: l'une (*l. aquilei*) de l'île Sainte Hélène, l'autre (*l. solangei*) des îles Kerguelen, exemple parfait du fort taux d'endémisme des habitats souterrains et des distributions très larges et disjointes des espèces peuplant les grottes anchialines. Récolté en un seul exemplaire juvénile, il n'a pas pu être décrit.

En plus des *Patagonaspididae* de l'Estero Egg nouvellement découverts et de ceux du Barros Luco trouvés en 2017, un autre Anaspidacea, vraisemblablement de la famille des *Stygocaridae* (du genre *Stygocaris*?) avait été collecté en 2006 en filtrant une résurgence perchée à proximité du Seno Soplador. Et toujours en un unique exemplaire! D'autres collectes avaient été tentées, sans succès. Et là encore, l'espèce n'a pas pu être déterminée, faute de spécialiste. Il s'agit d'un *stygobionte vrai*. La présence d'une espèce stygobie présentant des adaptations poussées à la vie souterraine dans une résurgence perchée et alimentée par des gouffres en « altitude » est inattendue, une recolonisation depuis le milieu interstitiel marin semblant peu probable.

Pour finir ce petit tour d'horizon, il est intéressant de noter que sur l'île de Diego de Almagro, nous n'avons pas trouvé d'espèces troglobies ou stygobies. Soit nous n'avons tout simplement pas réussi à les capturer, ce qui est tout à fait possible vu la faible intensité des collectes, soit elles ne sont pas présentes. Si c'est le cas, cela pourrait s'expliquer par la position de Diego de Almagro, plus australe, et un impact plus important encore du dernier épisode glaciaire.

Introduction

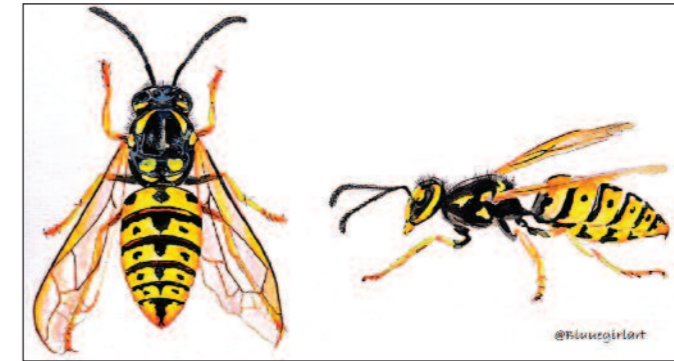
Au cours de l'expédition UP 2019, nous avons réussi à documenter une grande diversité faunistique, mettant en évidence l'incroyable adaptation des oiseaux aquatiques, terrestres et des rapaces aux adversités climatiques locales. Dans le cadre de l'expédition Ultima Patagonia 2023, notre objectif était de continuer à documenter les espèces au cours des différentes activités et voyages réalisés par l'équipe de recherche, dans le but de promouvoir l'accumulation de connaissances et le développement d'outils pour la préservation de l'environnement.

En outre, nous avons cherché à obtenir des enregistrements visuels de deux espèces spécifiques. La première est le bourdon *Bombus Dahlbomii*, également connu sous le nom de "bourdon rouge", endémique du Chili. Ce bourdon se distingue non seulement par son attrait esthétique, mais aussi par son rôle essentiel de pollinisateur, qui maintient un lien crucial avec un grand nombre de plantes indigènes. Malheureusement, en 2016, il a été inscrit sur la "Liste rouge" de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), étant déclaré "premier insecte en danger d'extinction au Chili".

La seconde espèce est *Vespula germanica* (image 1), communément appelée "veste jaune", une guêpe introduite au Chili, dont le premier signalement a été rapporté par Peña et al. (1975). Cette guêpe est omnivore et peut être très nuisible à la flore, la faune et même le tourisme. Sa répartition a été décrite de la région d'Atacama à la région de Magallanes.

Méthode de travail

Pour enregistrer la faune, nous avons profité de toutes les occasions de marcher et des brèves périodes de beau temps. Nous avons utilisé un appareil photographique semi-professionnel avec un objectif 70-



300 mm et 18-135 mm, ainsi qu'un équipement GPS pour déterminer l'emplacement des espèces identifiées. En termes d'habillement et sur la base de l'expérience acquise lors de l'UP 2019, nous avons utilisé une première couche, des vêtements thermiques, des bottes en caoutchouc, des chaussures de trekking, un pantalon et une veste imperméables.

Pour l'enregistrement de l'espèce introduite *Vespula germanica*, nous avons installé des "pièges à bouteilles" à proximité des camps (zones de compostage). Ces pièges étaient solidement attachés à une branche d'arbre à l'aide d'un fil de fer. Ils contenaient du vinaigre de cidre de pomme comme appât. Les pièges ont été contrôlés presque quotidiennement (en fonction de l'emplacement) et retirés à la fin de la période d'observation.

Comme matériel bibliographique, nous avons utilisé le guide "*Aves de Chile, sus islas Oceánicas y Península Antártica*" [Oiseaux du Chili, ses îles océaniques et sa péninsule antarctique] de Enrique Couve, Claudio F. Vidal et Jorge Ruiz T.

Travail sur le terrain

Pendant les quelques périodes de beau temps, nous avons installé les pièges (Image 2) en 4 points. Les deux premiers ont été installés aux camps de l'estero Egg et du Barros Luco. Le troisième piège a été installé près du campement Jackpot (camp Grand Cirque) et le dernier près de la **Grotte des 3 entrées + 1**. Sur les routes

empruntées pour atteindre chacun de ces points, les espèces observées ont également été notées, dans la mesure où les conditions météorologiques le permettaient et en évitant les risques inutiles.



Résultats

Comme le montre le tableau 1, le contrôle des pièges a permis de conclure que *Vespula germanica* n'était pas présente dans les points et les périodes observées. En revanche, la présence de certaines espèces de diptères, comme les mouches et les moustiques, et de certains hétérocères, communément appelés papillons de nuit, a pu être observée (Image A).

Jaime NEIRA
ConserBat EIRL, Macal alto s/n, San Fabián, Ñuble

Image 1 : Illustration de *Vespula germanica*.
© @Bluegirlart
Image 2 : Piège à bouteilles situé au Barros Luco.
Photo © Jaime Neira, Centre Terre.

Franck et Jérémie partent à la pêche de la faune aquatique dans le siphon de Golondrina.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre.



Tab. 1. Présence <i>Vespula germanica</i>		
Lieu	Nombre de jours	Présence OUI/NON
Camp Egg	10	NON
Camp Barros Luco	13	NON
Camp Grand Cirque	4	NON
3 Entrées + 1	5	NON

Au cours de l'expédition UP 2019, il a été possible d'observer un spécimen possible de *Bombus dhalbomii* à proximité du camp du Barros Luco. Cependant, à ce moment-là, il n'a pas été possible de le photographier en raison de son apparition fugace. Du 21 au 23 février 2023, avec les chercheurs Gonzalo Ossa et Matías Vargas, nous nous sommes rendus du camp du Barros Luco à la Grotte des 3 entrées + 1 où nous avons réussi à capturer un spécimen de chauve-souris *Histiotus Magellanicus* et à installer un piège pour *V. germanica*. Une fois sur place, alors que nous préparions le camp, nous avons commencé à entendre un bourdonnement provenant d'une espèce d'herbe identifiée comme *Eragrostis curvula*. En y regardant de plus près, nous avons identifié un petit trou dans le sol par lequel des bourdons ont commencé à sortir - il s'agissait d'un terrier de *Bombus dhalbomii* (Image 4).



▷ Image 3 : Piège à bouteilles situé au Barros Luco.

◁ Image 4 : terrier de *B. Dhalbomii*. Photos © Jaime Neira, Centre Terre.



Ils s'envolaient et, après environ 15-20 minutes, revenaient avec une grande quantité de pollen sur leurs pattes arrière, une activité sans fin qui a duré d'environ 07h00 à 21h30. Après cette rencontre passionnante, et au fil des jours, la présence d'individus appartenant à cette espèce a également été confirmée dans les environs des campements du Barros Luco et de l'estero Egg. Ces rencontres

suscitent l'optimisme quant à l'état de conservation de l'important bourdon rouge.

En nous promenant dans le camp de l'estuaire de l'Egg, nous avons pu observer une espèce invasive vorace : le Neovison vison, également connu sous le nom de "vison d'Amérique" (Image 5). Il est considéré comme l'une des espèces invasives les plus nuisibles pour la

biodiversité et la conservation des écosystèmes, principalement en raison de son régime alimentaire généraliste, qui comprend des insectes, des crustacés, des amphibiens, des poissons, des oiseaux et des petits mammifères (Schüttler et al., 2008 ; Ibarra et al., 2009). Afin de mettre en place des actions de contrôle, le Service de l'agriculture et de l'élevage a été informé, en lui fournissant des images et les coordonnées GPS de sa localisation.

Durant cette expédition, les oiseaux ont de nouveau été les espèces les plus fréquemment observées au cours de nos visites de l'île. *Aphrastura spinicauda*, communément appelé "rayadito" (Image 6), était le plus commun, avec environ 50 oiseaux, suivi par *Cinclodes patagonicus* ou *churrete commun* avec 31 oiseaux et *Sephanoides sephanoides* ou colibri chilien avec 23 oiseaux observés.



Référence :
 - Peña, L.E., R. Pérez de Arce & L. Cartagena 1975. La presencia de *Vespula maculifrons* (Buysson) (Hymenoptera: Vespidae) en Chile. *Revista Chilena de Entomología* 9: 167-168.
 - Schüttler, E., Cárcamo, J., & Rozzi, R. (2008). Diet of the american mink, *Mustela vison*, and its potential impact on the native fauna of Navarino Island, Cape Horn Biosphere Reserve, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81, 585-598

◁ Image 5 : Neovison vison. Photo © Jaime Neira, Centre Terre.

▷ Image 6 : (A) *Aphrastura spinicauda* (Rayadito), (B) *Cinclodes patagonicus*, (C) *Sephanoides sephanoides*. Photos © Marie Eveillard-Buchoux, Jaime Neira, Centre Terre.



Diversité et activité des chauves-souris sur l'île Madre de Dios et le glacier Témpanos

Gonzalo OSSA^{1,2} & Jaime NEIRA¹

1 : ConserBat EIRL, Macal alto s/n, San Fabián, Nuble;
2 : Asociación Murciélagos de Chile Pinüike.

1. Introduction

Les espèces de chauves-souris *Myotis chilensis* et *Histiotus magellanicus* ont la distribution la plus méridionale connue de toutes les chauves-souris dans le monde (Koopman 1967; Ossa et Rodriguez-San Pedro 2015; Ossa 2016; Díaz et al. 2019), pouvant habiter les forêts subantarctiques de la Terre de Feu et de la cordillère de Darwin. Cependant, il n'existe aucune information sur la présence de chauves-souris dans les canaux méridionaux, où les conditions climatiques sont extrêmes; les canaux étant le point le plus pluvieux du Chili.

Les formations rocheuses de l'île Madre de Dios sont principalement constituées de calcaire, qui est érodé par l'abondance des eaux de pluie et donne naissance à des kilomètres de grottes. La végétation se caractérise par des forêts de *Nothofagus antarctica* couvertes de mousses, ce qui les rend presque impénétrables. L'environnement, caractérisé par des vents forts et des pluies torrentielles, présente une faible probabilité pour la présence de chauves-souris (Frick et al. 2012). Cependant, le système de grottes et de forêts offre une possibilité de refuge pour ce groupe de mammifères (Hamilton-Smith 2000).

Lors des expéditions Ultima Patagonia 2019 et 2023 organisées par l'association Centre Terre, la présence possible de chauves-souris jusqu'alors inconnue a été étudiée à la fois sur le glacier Témpanos et dans l'archipel Madre de Dios.

2. Méthode de travail

Au cours des années 2019 et 2023, la présence de chauves-souris a été étudiée sur l'île Madre de Dios (50°S) et à proximité du glacier Témpanos (48°S), dans la région de Magallanes et de l'Antarctique chilien.

En 2019, un Song Meter SM4FS (Wildlife Acoustics Inc) a été utilisé sur quatre sites différents; en 2023, trois Song Meter mini-Bat (Wildlife Acoustics Inc) ont été utilisés sur trois sites



différents (Tableau 1; Figure 1). Les détecteurs d'ultrasons enregistrent également la température ambiante pendant la période d'activation, c'est-à-dire du coucher au lever du soleil. En outre, lors de l'étude de 2023, des filets japonais monofilament (Ecotone) ont été utilisés dans deux grandes grottes pendant deux nuits chacune.

La durée pendant laquelle l'équipement d'enregistrement des ultrasons est resté installé dans chaque zone dépendait principalement des conditions météorologiques et de la

possibilité de récupérer l'équipement, tous les transferts s'effectuant par mer dans des conditions météorologiques appropriées. En 2019, l'équipe est restée six nuits sur le glacier Témpanos et 20 nuits sur l'île Madre de Dios, sur trois sites différents. En 2023, chacune des trois équipes a passé entre 12 et 17 nuits dans chacun des trois secteurs surveillés.

Une fois les équipes récupérées, les données collectées sont transférées sur un ordinateur via une carte SD. Les fichiers sont filtrés à l'aide du logiciel Kaleidoscope Pro (Wildlife Acoustics),

Lieu	Coordonnées	Altitude	Date début	Date fin	Habitat
Glacier Témpanos	48,702810° S 73,980323° E	50m	17-janv-19	22-janv-19	Côte
Trois Entrées Plus Une	50,149021° S 75,201395° E	100m	31-janv-19	08-fév-19	Grotte
Chatière	50,148421° S 75,198821° E	92m	09-fév-19	15-fév-19	Grotte
Forêt Barros Luco	50,142722° S 75,237805° E	47m	18-fév-19	21-fév-19	Forêt à feuilles persistantes
Trois Entrées Plus Une	50,149021° S 75,201395° E	100m	18-fév-23	01-mar-23	Grotte
Seno Egg	50,078523° S 75,139452° E	68m	15-fév-23	04-mar-23	Grotte
Jackpot	50,119861° S 75,244081° E	380m	17-fév-23	01-mar-23	Grotte

<1 Tableau 1. Points d'échantillonnage, coordonnées, date de début et de fin de l'échantillonnage acoustique.

puis les paramètres de fréquence et de durée des impulsions ultrasonores obtenues sont analysés à l'aide du logiciel Avisoft SAS Lab Pro (Avisoft Bioacoustics).

Chaque espèce de chauve-souris émet des impulsions d'écholocation caractéristiques, ce qui nous permet de savoir quelles espèces habitent la zone d'étude. L'appareil d'enregistrement des ultrasons fournit des informations sur l'heure et la date de chaque enregistrement, ainsi que sur la température ambiante au point de surveillance, ce qui nous permet d'analyser les schémas de présence/absence des différentes espèces.

3. Résultats

Un seul mâle de l'espèce *Histiotus magellanicus* a été capturé à l'aide de filets japonais dans la grotte des Trois Entrées Plus Une dans la nuit du 21 février 2023 (Figure 2). L'individu a été recapturé après 2 heures, étant la seule chauve-souris observée dans le secteur.

Grâce à l'utilisation de détecteurs d'ultrasons, un total de 90 enregistrements a été obtenu pour les chauves-souris en 2019 sur 26 nuits de surveillance et

119 enregistrements en 2023 sur 43 nuits de surveillance.

En 2019, 10 enregistrements ont été obtenus dans la zone du

glacier Témpanos et 80 sur l'île Madre de Dios (figure 1). Sur le glacier Témpanos, la plus grande diversité d'espèces a été enregistrée (quatre); cependant,



<1 Figure 2. A) Individu capturé de l'espèce *Histiotus magellanicus*.
 © Centre Terre



dans la grotte des Trois Entrées Plus Une, le plus grand nombre de fichiers audio a été enregistré (79 au total) correspondant à trois espèces. Dans le secteur de la cabane, un seul enregistrement a été obtenu (*H. magellanicus*).

Au cours de l'année 2023, les travaux ont été réalisés uniquement sur l'île Madre de Dios, avec le plus grand nombre d'enregistrements dans la grotte des Trois Entrées Plus Une (65) puis dans celle des Pirates (54), dans les deux grottes la présence de trois espèces différentes a été détectée.

Dans les **grottes Chatière** (2019) et **Jackpot** (2023), aucune donnée sur les chiroptères n'a été obtenue.

4. Discussion

Le succès des captures à l'aide des filets japonais a été faible, principalement en raison des conditions météorologiques difficiles du mois de février et, par conséquent, du peu de jours d'échantillonnage (deux nuits à la grotte des Trois Entrées Plus Une et deux nuits à Punta Blanca). Cependant, nous avons pu obtenir des fèces dans les deux grottes, ainsi que dans la grotte des Pirates, dans l'estero

Egg, ce qui indique que l'intérieur de ces grottes est utilisé par les chauves-souris.

Grâce à l'utilisation d'enregistreurs à ultrasons, nous avons pu obtenir des enregistrements de différentes espèces. Les espèces enregistrées correspondent à des espèces habituellement présentes dans les régions d'Aysén et de Magallanes, à l'exception de *T. brasiliensis*, qui a peu d'enregistrements récents dans la région d'Aysén et qui est généralement associé à des établissements et à des constructions anthropiques. La présence de quatre espèces sur l'île Madre de Dios est intéressante, étant donné les conditions climatiques défavorables qui prévalent dans l'archipel.

Les Trois Entrées Plus Une et Les Pirates semblent être des grottes importantes pour les chauves-souris de différentes espèces de l'île: des fèces ont été trouvées à leur entrée; cependant, l'intérieur, étant donné le courant d'air froid dominant, n'est probablement pas utilisé par les chauves-souris. Cependant, les deux grottes ont des surplombs rocheux qui les protègent de la pluie et du vent et créent des habitats favorables

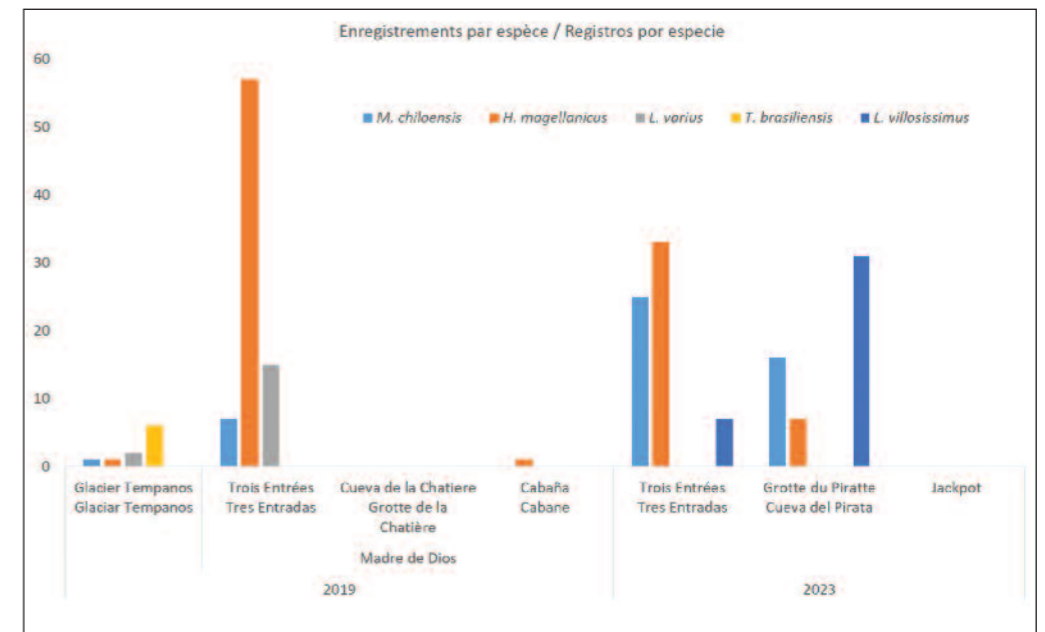
pour les chauves-souris.

À La Chatière et au Jackpot, un grand nombre d'enregistrements d'ultrasons ambiants ont été obtenus, produits par l'eau et le vent. L'absence d'enregistrements de chiroptères sur ces sites est due, dans le cas de la Chatière, au fait qu'il s'agit d'une grotte ouverte, avec de nombreuses entrées et sorties, avec un grand courant d'air et peu d'abris; dans le cas de Jackpot, il n'y a pas eu d'enregistrements, probablement en raison de la localisation de la grotte en altitude, avec des conditions environnementales extrêmes.

Le seul enregistrement obtenu à la cabane indique que ce site n'est pas couramment utilisé par les chauves-souris, probablement parce qu'il n'y a pas de grands perchoirs à proximité.

Lors du suivi de 2023, les températures ambiantes ont été enregistrées pendant la période de suivi (du coucher au lever du soleil) dans chacune des trois grottes. Une température moyenne plus basse a été observée au Jackpot (6,62 °C), par rapport aux grottes des Trois Entrées Plus Une (9,46 °C) et aux Pirates (10,58 °C), ce qui explique le manque d'activité au Jackpot.

Sur l'île, compte tenu des conditions défavorables, les chauves-souris n'utilisent apparemment les secteurs que pour s'abriter, se reproduire ou s'alimenter,



sans s'exposer à d'autres zones. De plus, compte tenu des faibles températures et précipitations, elles effectuent des déplacements très locaux à proximité de leurs zones de refuge.

La présente étude fournit, pour la première fois, des informations sur la présence d'espèces de chauves-souris à la fois dans les champs de glace méridionaux et sur l'île Madre de Dios. Ces données sont pertinentes car elles montrent une connexion entre les populations du nord et du sud du côté du Pacifique. D'autre part, l'étude de l'écophysiologie (étude de la physiologie dans des conditions naturelles) de ces populations serait d'un grand intérêt, étant donné que peu d'espèces de chiroptères vivent à des

latitudes élevées et, surtout, dans des conditions aussi défavorables que sur la côte pacifique de la Patagonie.

5. Conclusions

La présente étude correspond à la deuxième saison de référence des chiroptères sur l'île Madre de Dios et sur le glacier Tempanos, ce qui donne lieu au développement de nouvelles études pour acquérir une connaissance plus détaillée de ces populations de chauves-souris. Le climat rigoureux de ces régions a peut-être isolé ces populations de chauves-souris, générant des caractères distinctifs d'adaptation spécifique à cet environnement qui pourraient donner naissance à de nouvelles espèces.

△ Nombre d'enregistrements de chiroptères obtenus par site d'enregistrement.
© Centre Terre

◁ B) filets japonais installés à l'entrée de la grotte des Trois Entrées Plus Une.
© Centre Terre



◁ Filets japonais installés non loin de l'entrée de la grotte des Pirates.
Photo © Serge Caillault, Centre Terre

Avifaune et habitats patagons : observations et inventaire dans le secteur de Madre de Dios, 50° S (Ultima Esperanza, Région XII, Chili).

Marie Eveillard-Buchoux

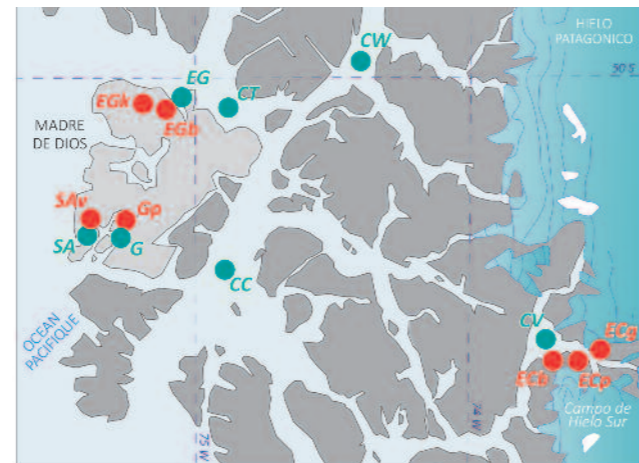
Maîtresse de conférences, Université Toulouse Jean Jaurès, laboratoire UMR 5602 GEODE

▷ Figure 1 : Les secteurs observations de l'avifaune lors de l'expédition Ultima Patagonia 2023.

© Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

La Patagonie chilienne constitue une barrière de montagnes face au Pacifique, s'étendant sous les hautes latitudes australes du 41°40' au 56° S, lui conférant un climat particulièrement rude et inhospitalier. Elle est de plus constituée d'un enchevêtrement de canaux plus ou moins étroits et profonds, aux parois abruptes, couvertes d'une végétation de type magellanique mixte extrêmement dense. Ces contrées difficilement accessibles et quasi inhabitées sont, de ce fait, très peu étudiées, contrairement à la Patagonie Chilienne plus septentrionale ou aux côtes argentines plus accessibles, et cela, aussi bien, au regard des sciences naturelles qu'humaines (Armesto et al., 2023). Pourtant elle renferme un patrimoine naturel riche et original qui mérite d'être mieux connu. Ces terres et canaux sont eux aussi soumis aux conséquences des bouleversements environnementaux (Marquet et al., 2023), et dans ce contexte, connaître les spécificités de son patrimoine naturel contribue à sa conservation.

L'expédition Ultima Patagonia 2023 s'intéresse en particulier à l'île de Madre de Dios (50°30' S) et à ses alentours, appartenant à la province d'Ultima Esperanza, région de Magallanes et Antarctique chilienne. Elle est l'occasion d'ouvrir un nouveau champ d'investigation orienté sur l'étude de son avifaune. Ce milieu, mêlant constamment terre et mer, constitue un espace de vie adéquat pour de nombreux



Secteurs d'observations / Sectores de observación*
 * En mer / en el mar : CC : canal Concepcion ; CT : canal Trinidad ; CW : canal Wide ; EG : esero Egg ; G : Guarello cabane / cabaña ; SA : seno Azul ; EC : estero Calvo. A terre / en tierra : SAV : versants calcaire du seno Azul / Laderas de caliza del seno Azul ; Gp : Guarello le port / el puerto ; ECP : estero Calvo - port naturel / puerto natural ; ECB : estero Calvo - camp de base / campamento base ; ECG : estero Calvo - glacier / glaciar ; EGB : Egg - camp de base / campamento base ; EGK : Egg - plateau karstique / meseta kárstica

oiseaux et notamment les oiseaux d'eau, qu'ils soient marins, pélagiques ou côtiers, mais également des oiseaux terrestres. Grâce aux observations menées en 14 secteurs (en mer et à terre; figure 1), ce rapport dresse premièrement un inventaire de l'avifaune aquatique et terrestre observée dans les canaux, sur leurs rivages et dans les terres, puis il s'intéresse à deux secteurs spécifiques et à leurs habitats avifaunistiques.

Chapitre I. Observation et identification de l'avifaune

Les canaux désolés de Patagonie chilienne autour de Madre de Dios et des langues glaciaires du Campo Hielo Patagónico Sur (HPS) semblent bien déserts de prime abord. Mais quelques heures de navigation, l'œil

attentif, permettent d'y découvrir toute une vie y évoluant quotidiennement en cette période estivale de l'hémisphère austral. Que ce soit dans l'eau, à sa surface ou dans les airs, vit une avifaune aquatique endémique des hautes latitudes australes, et particulièrement bien adaptée aux conditions climatiques de la région (Couve et Vidal, 2003; Jaramillo, 2003).

À terre, également, bien que la faune soit discrète, elle n'est pas pour autant absente. Plusieurs espèces d'oiseaux terrestres (passereaux et rapaces principalement) habitent et se reproduisent dans les rochers et la forêt magellanique.

Les nombreuses heures de navigation qui ont ponctué l'expédition ont été l'occasion de

	Espèces / Especies	Secteurs d'observation / Sectores de observación*						
		Sav	Gp	Ecp	Ecb	Ecg	Egb	Egk
Rapaces	Condor des Andes / Cóndor de Los Andes - <i>Vultur gryphus</i>	X	X		X	X	X	X
Accipitriformes et Falconiformes	Urubu à tête rouge / Jote de cabeza colorada - <i>Cathartes aura</i>	X	X			X	X	X
	Caracara huppé / Caracara carancho - <i>Caracara plancus</i>	X	X				X	
	Merle austral / Zorzal - <i>Turdus falcklandii</i>	X	X	X	X		X	X
	Mérule des Andes / Churrin del sur - <i>Scytalopus magellanicus</i>				X			
	Dormilon bistré / Dormilón tontito - <i>Muscisaxicola maclovianus</i>					X		
	Bruant chingolo / Chingol - <i>Zonotrichia capensis</i>					X		
Passereaux / Paseriformes	Cinclide à ventre sombre / Churrete - <i>Cinclodes patagonicus</i>		X			X	X	X
	Cinclide brun / Churrete acanelado - <i>Cinclodes fuscus</i>					X		
Passeriiformes	Phrygile de Patagonie / Cometocino patagónico - <i>Phrygilus patagonicus</i>			X	X		X	
	Synallaxe rayadito / Rayadito - <i>Aphrastura spinicauda</i>			X	X		X	X
	Elénie à cimier blanc / Fiofio - <i>Elaenia albiceps</i>						X	
	Carouge austral / Tordo - <i>Curaeus curaeus</i>			X				
	Hirondelle du Chili / Golondrina chilena - <i>Tachycineta leucopyga</i>			X		X	X	
Autres / Otros	Colibri du Chili / Picaflor - <i>Sephanoides sephaniodes</i>		X	X	X	X	X	X
Apodiformes et Coraciiformes	Martin pêcheur à ventre roux / Martín pescador - <i>Megasceryle torquata</i>	X	X	X				X

* SAV : versants calcaire du seno Azul / Laderas de caliza del seno Azul ; Gp : Guarello le port / el puerto ; ECP : estero Calvo - port naturel / puerto natural ; ECB : estero Calvo - camp de base / campamento base ; ECG : estero Calvo - glacier / glaciar HPS31 ; EGB : Egg - camp de base / campamento base ; EGK : Egg - plateau karstique / meseta kárstica

scruter la vie de ces canaux désolés et son avifaune. Parallèlement, les explorations à terre ont permis de mener des campagnes d'observations sur plusieurs secteurs terrestres. Quatorze espèces d'oiseaux associées au milieu aquatique (haute mer, côte ou rivage) ont été observées régulièrement (tableau 1) ainsi que 16 espèces terrestres (tableau 2).

L'avifaune des canaux patagons : des oiseaux aquatiques de rivage et des grands pélagiques

De grands pélagiques survolant les canaux

Les oiseaux pélagiques sont des oiseaux occupant la haute mer

et ne touchant quasiment pas la terre, à l'exception de la période de nidification où ils se regroupent en colonie sur des îles ou à flanc de falaises. Certains fréquentent toutefois des eaux plus côtières comme celles des canaux patagons. C'est le cas de l'Albatros à sourcil noir, un des Albatros les plus communs, et des Pétrels géants (figure 2, photographies 1 et 2) qui ont été couramment observés tout au long de l'expédition. Ils ne semblent cependant pas s'aventurer au fond des canaux (comme ceux de l'estero Calvo), restant ainsi à proximité du Pacifique.

Des manchots de Magellan ont également été observés pêchant dans les canaux les plus proches du Pacifique, ainsi que

des Océanites dans le Trinidad et à proximité de Guarello.

Des oiseaux côtiers communs

Goélands, sternes et labbes sont aussi couramment observés en vol ou à la surface de l'eau, suivant souvent nos bateaux. Ces oiseaux marins côtiers sont à chaque fois représentés par une seule espèce de leur famille (tableau 1).

Par ailleurs, deux espèces de cormorans (le Cormoran de Magellan *Leucocarbo magellanicus* et le Cormoran impérial *Leucocarbo atriceps*) sont également deux espèces communes des canaux patagons et ont été observées tout du long de l'expédition, au large et à proximité de la côte. Ils

△ Tableau 2 : Oiseaux terrestres observés sur les rivages et dans les terres de Madre de Dios et du Campo HPS, par secteurs d'observation.

© M. Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

▽ Figure 2 : L'avifaune aquatique des canaux patagons, espace de vie où se croisent oiseaux pélagiques et marins et oiseaux de rivages. Photographies 1 et 2, oiseaux marins et « grands pélagiques »

- (1) Albatros à sourcil noir *Thalassarche melanophris* et
 - (2) Pétrel géant *Macronectes giganteus*; photographies 3 et 4, les Ouettes, des oiseaux endémiques des rivages patagons,
 - (3) Oulette à tête grise *Chloephaga poliocephala*
 - (4) Oulette marine *Chloephaga hybrida*.
- Photos © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

△ Tableau 1 : Oiseaux aquatiques des canaux autour de Madre de Dios et du Campo HPS, espèces et secteurs d'observation.

© Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

	Espèces / Especies	Secteurs d'observation en mer / Sectores de observación en el mar*						
		CC	CW	CT	EG	G	SA	EC
Oiseaux pélagiques marins / Aves marinas pelágicas	Albatros à sourcil noir / Albatros de ceja negra - <i>Thalassarche melanophris</i>			X	X	X	X	
	Pétrel géant / Petrel gigante - <i>Macronectes giganteus</i>		X	X			X	
	Manchot de Magellan / Pingüino de Magallanes - <i>Spheniscus magellanicus</i>			X		X	X	
	Océanite (espèce non identifiée / Especie no identificada)			X	X			
Oiseaux marins côtiers / Aves marinas costeras	Sterne hirundinacée / Gaviotín sudamericano - <i>Sterna hirundinace</i>	X	X	X	X	X	X	X
	Labbe du Chili / Salteador chileno - <i>Stercorarius chilensis</i>	X	X	X	X	X	X	X
	Goéland dominicain / Gaviota dominicana - <i>Larus dominicanus</i>	X	X	X	X	X	X	X
	Cormoran de Magellan / Cormorán de Magallanes - <i>Leucocarbo magellanicus</i>			X	X	X	X	X
	Cormoran impérial / Cormorán imperial - <i>Leucocarbo atriceps</i>			X	X	X	X	X
Oiseaux de rivages / Aves playeras	Cormoran Vigua / Yeco - <i>Nannopterum brasilianum</i>	X	X				X	
	Oulette marine / Caranca - <i>Chloephaga hybrida</i>	X				X	X	
	Oulette à tête grise / Canquén - <i>Chloephaga poliocephala</i>				X			X
	Brassemer cendré / Quetru no-volador - <i>Tachyeres pteneres</i>	X	X		X	X	X	X
	Héron cocoi / Garza cuca - <i>Ardea cocoi</i>				X			

* CC : Canal Concepcion ; CW : Canal Wide ; CT : Canal Trinidad ; EG : estero Egg ; G : Guarello / cabane-cabaña ; SA : seno Azul ; EC : estero Calvo (glacier-glaciar Peel)





△ Figure 3 : Les deux espèces de Cormoran les plus communes dans les fjords chiliens et autour des glaciers, le Cormoran de Magellan *Leucocarbo magellanicus* (à gauche) et le Cormoran impérial *Leucocarbo atriceps* (à droite).

Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

sont aussi très nombreux dans les fonds de canaux, notamment autour du glacier Calvo où ils survolent les canaux en groupe toute la journée.

Vivant constamment au contact de l'eau (douce ou de mer) d'où ils tirent leur subsistance, les cormorans sont une famille d'oiseaux (*Phalacrocoracidae*) qui occupent tous les continents. Ils ont de nombreux traits comportementaux communs: ils parcourent les canaux, seuls ou en groupes, où ils passent le plus clair de leur temps à pêcher, pouvant plonger jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, passant plusieurs minutes en immersion. Ils se reproduisent également dans ces contrées reculées et hostiles patagones, où ils installent leurs nids sur des îles ou dans les parois rocheuses des fjords, à flanc de falaise, sur d'étroits rebords, tenant ainsi à distance les nombreux prédateurs qui mettent en danger les jeunes (cf. partie suivante). Le Cormoran de Magellan et le Cormoran impérial, qui ont des comportements alimentaires et de nidification proches, sont souvent observés ensemble, sur l'eau ou dans les colonies (*Punta et al., 2003; Frere et al., 2005*). Tous deux noirs et blancs, ils se distinguent toutefois par leurs caractéristiques morphologiques (figure 3): le premier est

plus petit et a le cou entièrement noir et le ventre blanc, séparé par une nette ligne de démarcation horizontale et le tour des yeux rouges; tandis que le deuxième (*C. Impérial*) a le ventre et le coup entièrement blanc et des yeux bleus aux contours jaunes.

Il faut noter toutefois la présence d'un couple de Hérons cocoi au camp de base du Egg, vu en fin de séjour du premier mois, puis ensuite photographié par l'équipe du deuxième mois. L'espèce, si elle est commune plus au nord de la Patagonie, n'est pas connue pour occuper la région de Magallanes. Leur présence n'a pu être interrogée plus en détail.

Les « canards et oies patagones », des oiseaux de rivages emblématiques

Enfin, trois anatidés (famille des canards) sont couramment observés sur les berges des canaux. Ce sont des espèces emblématiques de la Patagonie, telles les Ouettes (*Ouette à tête grise Chloephaga poliocephala* et *Ouette marine Chloephaga hybrida*; figure 2, photographies 3 et 4) et le Brassemer cendré, ce canard qui ne vole pas mais « court » sur l'eau.

Une avifaune terrestre discrète

Les explorations à terre ont permis de mener des

campagnes d'observations en sept secteurs, permettant d'identifier seize espèces (tableau 2). L'observation des oiseaux terrestres de visu est plus complexe que celle des oiseaux d'eau. Les petits oiseaux terrestres (passereaux) se nourrissent au sol dans les fourrés ou les mousses épaisses ainsi que dans les branchages de la forêt magellanique particulièrement dense, ce qui les cache souvent à l'œil, même attentif. De plus, la forêt constitue une zone de refuge face aux vents particulièrement violents, ainsi, c'est lors des rares périodes d'accalmies qu'ils sortent et deviennent observables. C'est aussi dans ces moments-là que leurs chants se font entendre, témoignant de leur présence effective.

Les oiseaux terrestres observés appartiennent à quatre grands types d'espèces:

- des passereaux, ou passérimorphes, l'ordre regroupant le plus grand nombre d'espèces au monde,
- des rapaces, dont le Condor des Andes, le plus grand rapace du monde pouvant atteindre 3m50 l'envergure,
- une espèce de colibri (ordre des Apodiformes), le tout petit Colibri du Chili,
- et le Martin pêcheur à ventre roux (ordre des Coraciiformes).

Ces deux derniers, ainsi que le



△ Albatros à sourcil noir en tête à tête avec un Héron cocoi.

Photo © Serge Caillaud, Centre Terre.

Merle austral (passérimorphes), sont considérés comme communs en Patagonie (*Couve et Vidal, 2003*), est ils aussi sont les plus couramment observés dans tous secteurs visités.

Chapitre II. Habitats avifaunistiques: les falaises à cormorans du Seno Azul

Au fond de l'anse abritée du seno Azul, dans le bas d'un des versants les plus verticaux, est installée une petite colonie de cormorans. Le manque de données antérieures ne permet pas de dater son installation, mais les observations des expéditions précédentes, les témoignages kawésqars et les connaissances sur la biologie de ces espèces laissent supposer que la présence de cette colonie est ancienne de plusieurs décennies, voire plusieurs siècles. Elle n'a toutefois jamais fait l'objet d'une étude spécifique.

Méthode de travail

La colonie a été étudiée par la mer, via une observation en bateau. Elle a fait l'objet d'observations directes et d'un scan photographique à l'aide d'appareil photo grand-angle ainsi que d'un téléobjectif afin de décortiquer la colonie partie par partie. La série d'observations a été réalisée en janvier, soit à une période d'élevage des jeunes, la plupart déjà grands de plusieurs semaines et capables de voler

(figure 3). Quelques jeunes étaient encore strictement au nid. Les observations ont été menées lors de période de calme météorologique, avec peu, voire pas du tout, de pluie et peu de vent.

Caractéristiques de la colonie

La colonie du seno Azul est une colonie mixte où se côtoient Cormoran de Magellan et Cormorans impériaux (figure 3). Les deux espèces nichent couramment ensemble sur tout le littoral de la Patagonie chilienne et argentine (*Punta et al., 2003; Frere et al., 2005*).

Elle comprend 31 nids, comptés en « sites apparemment occupés » (SAO). Elle est composée d'une majorité de Cormoran de Magellan (28 SAO) et de quelques couples de Cormoran Impériaux (3 SAO; tableau 3 et figure 5).

Localisation de la colonie

La colonie se situe au fond du seno Azul, qui constitue une large anse ouverte sur le Pacifique via un couloir plus

étroit orienté sud-ouest. L'anse est abritée du Pacifique par la partie terrestre de l'île de Madre de Dios, si bien que les vents violents de l'océan y sont atténués, mais toutefois pas absents.

La colonie est installée dans la partie ouest du Seno et orientée à l'est-sud-est. Cette partie colonisée constitue une légère avancée dans le trait de côte de l'anse, ainsi ouverte sur le cœur du Seno. Elle donne ainsi directement sur l'anse, permettant un accès immédiat à la mer où les oiseaux pêchent pour se nourrir (*Frere et al., 2005; Morgenthaler et al., 2020*), et constitue également une localisation privilégiée pour voir arriver des prédateurs (comme les Goélands ou les Labbes; *Punta et al., 2003*).

Caractéristiques abiotiques de l'habitat

Le seno est clos par des versants élevés de plusieurs centaines de mètres par endroit, tombant en colonnes géantes dans la mer. Leur inclinaison est variable,

Espèces	Nombre de nids (SAO*)
Cormoran de Magellan	3
Cormoran Impérial	28
Total	31

*site apparemment occupé

<1 Tableau 3 : Composition de la colonie, en nombre de SAO.

© Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

▷ Figure 4 : Nid de Cormoran impérial, comprenant un adulte et deux juvéniles en âge de voler.

Photo © Raphaël Seguin, Centre Terre.



allant de pans particulièrement verticaux à des parties moins fortement inclinées. La colonie est installée dans le bas d'un de ces versants à l'inclinaison verticale, voire légèrement surplombante en certains endroits. Il s'agit d'un habitat de falaise rocheuse, caractéristique des habitudes des deux espèces, mais plus commun chez le Cormoran de Magellan (*Punta et al., 2003*). Cette prédominance est validée par la surreprésentation de ce dernier dans la colonie.

La partie basale du versant est un peu plus inclinée que sa partie sommitale, et cela sur quelques dizaines de mètres au-dessus du niveau de la mer. La paroi est parcourue de plusieurs discontinuités et grottes de différentes tailles, en particulier une ligne de fracture majeure horizontale/subhorizontale. Elle forme une ligne de replat dans la paroi verticale autour de

laquelle se trouve la majorité des nids (figure 5). Cette zone fracturée constitue ainsi le cœur de la colonie où les oiseaux sont disposés selon une structure longiligne, avec quelques autres couples occupant les autres replats jouxtant cette zone. Les Cormorans de Magellan occupent côte à côte les emplacements de nids concentrés autour de cette principale ligne de fracturation (figure 6), tandis que les trois couples de Cormorans impériaux occupent des emplacements individuels et plus éloignés dans la partie supérieure (figures 4 et 5).

Une antériorité supposée de la colonie

Le manque d'observation antérieur ne permet pas d'avoir des données sur la dynamique de peuplement de cette petite colonie. Cependant, les expéditions précédentes avaient déjà noté l'existence de cormorans installés à cet endroit. Aucun

relevé ni comptage n'avait alors été effectué.

De plus, les connaissances actuelles sur le comportement nicheur de ces espèces, ainsi que les témoignages Kawéskar, laissent supposer que cette présence peut être ancienne, comme en témoigne la présence de nombreuses autres colonies le long des côtes patagones chiliennes et argentines depuis le 19^{ème} siècle à minima (*Punta et al. 2003*). Par ailleurs, les traces et marques d'anciens nids (agglomérat d'algues, branchages, coquillages; figure 6) ainsi que de guano dans la falaise témoignent d'emplacements de nids non occupés, abandonnés cette année ou plus anciennement.

Chapitre III. Habitats avifaunistiques: les dépôts glaciaires de l'estero Calvo (Hielo Patagonico Sur)

Au pied d'une des langues de glace du glacier HPS31, abrité dans une petite crique enclose, s'étend un petit l'estran rocaillieux issu de l'accumulation des dépôts morainiques (figure 7). Il est largement aplati, formé de sédiments très fins (sable) et recouvert de blocs plus ou moins épars et arrondis, et comprend quelques bourrelets de rive formés d'amas sableux et rocheux. Ce sol sableux, alternativement recouvert par la marée, est végétalisé de quelques plantes halophiles. Ce milieu très minéral constitue l'habitat d'une avifaune discrète: des oiseaux aquatiques et marins posés à la surface de l'eau ou en vol; des oiseaux de proie en survol ou posés sur les points hauts; et des petits passereaux sautillants

△ Figure 5 : Inventaire et localisation des nids (en nombre de SAO) de la colonie de Cormorans du Seno Azul.

Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.



◁ Figure 6 : Deux nids de Cormoran de Magellan, disposés côte à côte sur un même replat de la falaise, en structure longiforme. Les nids sont généralement constitués d'amas de branchages, d'algues, de plumes et de coquillage cimenté avec du guano.

Photo © Raphaël Seguin, Centre Terre.

de bloc en bloc sur l'estran et la moraine.

Méthodes d'observation

Les observations faunistiques ont été menées lors de plusieurs débarquements, parallèlement au travail des équipes explorant le glacier. Elles ont été menées à l'aide de jumelles, d'un appareil photographique avec téléobjectif animalier et de guides d'identification (*Couve et Vidal 2003; Jaramillo 2003*) des oiseaux chiliens et patagons. Les conditions climatiques relativement clémentes (soleil ou faible pluie fine et surtout la quasi-absence de vent) ont permis aussi l'écoute des oiseaux. Notes et photographies ont ensuite été reprises en post-analyse au bateau puis au retour de l'expédition.

Une situation géographique privilégiée: un havre de paix dans un océan de rudes conditions géoclimatiques ?

La situation d'abris de la crique glaciaire (figure 8) lui confère un microclimat légèrement adouci, comme une sorte de sanctuaire de calme au fond de ce grand fjord. À l'abri dans cette petite crique glaciaire, des passereaux sud-américains vivent et se reproduisent parmi les blocs arrachés par le glacier et roulés par la mer. Ces petits oiseaux chanteurs sont endémiques du continent américain et commun sur celui-ci (*Couve et Vidal, 2003*). Leur tolérance aux variables climatiques est assez large, ce qui leur permet de se reproduire dans ces confins reculés de la Patagonie chilienne contrainte par le froid et le vent.

Habitats de dépôts glaciaires pour des oiseaux terrestres sud-américains et endémiques

Le fond de l'anse abrite plusieurs espèces de passereaux qui cohabitent dans ce petit espace spécifique. Il s'agit de Furnariidae représentés par deux espèces de Cinclodes (le Cinclode à ventre sombre *Cinclodes patagonicus*, endémique du Sud chilien; et le Cinclode brun *Cinclodes fuscus*), de Thraupidae (le Bruan chingolo *Zonotrichia capensis*) et de Tyrannidae (*Dormilon bistré Muscisaxicola maclovianus*) (figure 9).

Ces petits oiseaux chanteurs, très légers, se nourrissent des petits insectes qu'ils trouvent sur l'estran et entre les blocs de roche. Ils nichent aussi dans

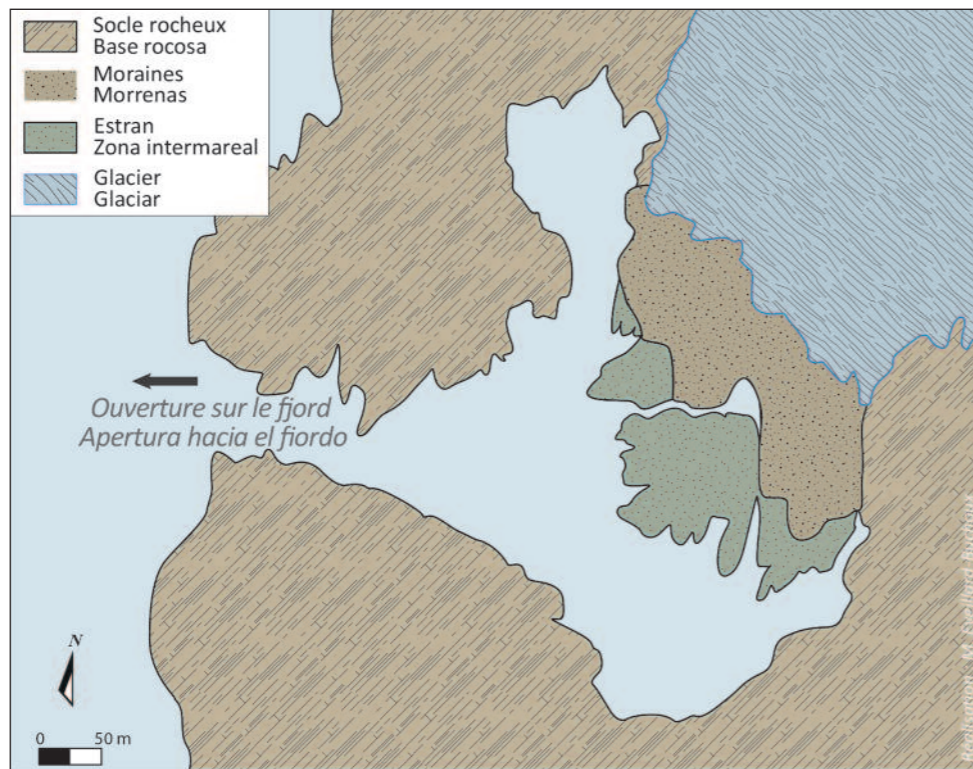
▽ Figure 7 : Zone de dépôt glaciaire en fond de fjord (moraine et estran), au pied du glacier HPS31.

Photo © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.



▷ Figure 8 : Crique glaciaire du glacier HPS31 et ses dépôts morainiques en bas de versants et sur l'estran, formant un habitat pour la faune aviaire terrestre.

© Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.



▷▷ Figure 9 : Les oiseaux terrestres des dépôts glaciaires.

- 1 : Bruan chingolo *Zonotrichia capensis* ;
- 2 : Dormilon bistré *Muscisaxicola maclovianus*.
- 3 : Cinclole à ventre sombre *Cinclodes patagonicus* ;
- 4 : Cinclole brun *Cinclodes fuscus*.

Photos © Marie Eveillard-Buchoux, Centre Terre.

l'enchevêtrement des blocs et certains ont été observés avec leurs jeunes, comme le *Bruan chingolo* (figure 9, photographie 1).

Perspectives et conclusion

L'expédition Ultima Patagonia 2023 a permis de mener un travail d'inventaire inédit de l'avifaune et de certains de ses habitats dans des secteurs très localisés et jamais étudiés. Il valide la présence d'espèces patagones plutôt communes, a priori présentes dans une grande partie de la Patagonie chilienne (Couve et Vidal 2003; Jaramillo 2003; RedListe IUCN), voire de l'hémisphère austral (pour l'Albatros à sourcil noir *Thalassarche melanophris*; RedListe IUCN).

Parallèlement, de nombreuses autres espèces a priori présentes n'ont pas été observées, ce qui ne signifie pas pour autant leur absence. En outre, la présence du *Héron cocoi* *Ardea cocoi* au Egg interroge son aire de répartition a priori connue.

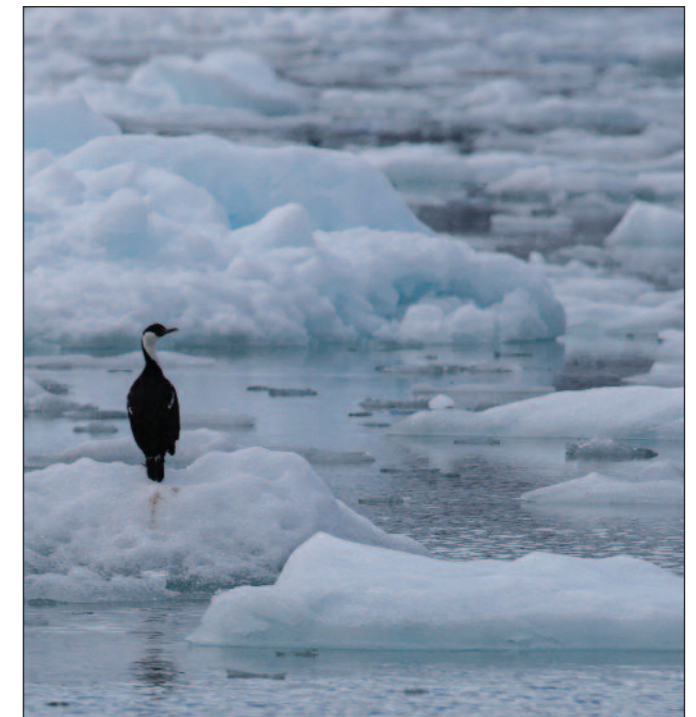
Dans un premier temps, un cortège d'espèces, terrestres et marines, récurrentes se distinguent donc. Néanmoins, ce travail s'inscrit comme la première pierre d'un inventaire qui doit d'être validé et surtout approfondi. En effet, d'autres espèces ont été aperçues sans identification possible ou certaine. L'inventaire de l'avifaune terrestre nécessiterait

notamment le déploiement d'un appareillage d'enregistrement audio. En effet, les passe-reaux (ou « oiseaux chanteurs ») sont plus aisément identifiables via leurs chants. Un laps de temps plus conséquent serait aussi nécessaire pour augmenter le potentiel d'observation. En outre, il faut noter que les conditions météorologiques de cet été patagon 2023 ont été particulièrement mauvaises, et ont donc fortement contraint les observations. Le déploiement d'investigations plus poussées (audio ou de visu) est donc fortement dépendant de la météo.

Néanmoins, il est clair que les oiseaux demeurent, comme dans beaucoup de milieux littoraux des hautes latitudes, un des groupes faunistiques les plus abondants (en dehors des espèces sous-marines), et occupant la plus grande variabilité d'habitat. C'est aussi une faune particulièrement sensible aux changements environnementaux (Paleczny et al., 2015), aussi son étude constitue un indicateur pertinent et fondamental pour évaluer leurs impacts en ces contrées certes reculées, mais non moins affectées par les effets globaux des activités anthropiques.

Bibliographie :

- Armesto J.J., Martínez-Harms M.J., Castilla J.-C., Fuentes-Castillo T. (2023). An Integrated Conservation Vision for Chilean Patagonia, pp 3-29 In Castilla et al. (eds.), Conservation in Chilean Patagonia, Assessing the State of Knowledge, Ediciones UC, Springer.
- Couve E., Vidal C. (2003). Birds of Patagonia, Tierra del Fuego and Antarctic Peninsula The Falkland Islands and South Georgia. Fantastico Sur, Chile, 656 p.
- Frere E., Quintana F., Gandini P. (2005). Cormoranes de la costa patagónica : estado poblacional, ecología y conservación. *Hornero*, 20, pp. 35-52.
- Jaramillo A. (2003). Birds of Chile, including the Antarctic Peninsula, the Falkland Islands and South Georgia. Helm, 240 p.
- Marquet P.A., Buschmann A.H., Corcoran D., Díaz P.A., Fuentes-Castillo T., Garreaud R., Plischoff P., Salazar A. (2023). Global Change and Acceleration of Anthropogenic Pressures on Patagonian Ecosystems, pp. 33-65 In Castilla et al. (eds.), Conservation in Chilean Patagonia, Assessing the State of Knowledge, Ediciones UC, Springer.
- Morgenthaler A., Millones A., Gandini P., Frere E. (2020). The diet of adult and chick rock shags (*Phalacrocorax magellanicus*) inferred from combined pellet and stable isotope analyses. *Polar Biology*, 43, pp. 511-521.
- Paleczny M., Hammill E., Karpouzi V., Pauly D. (2015). Population trend of the world's monitored seabirds, 1950-2010, *PLOS ONE*, vol. 10, n° 6, e0129342, p. 1-11.
- Punta G., Yorio P., Saravia J., Borboroglu P.G. (2003). Breeding Habitat Requirements of the Imperial Cormorant and Rock Shag in Central Patagonia, Argentina. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 26-2, pp. 176-183.



Remerciements



Remerciements

Les membres de Centre Terre tiennent à remercier les nombreux partenaires qui ont œuvré à la concrétisation du projet d'expédition Ultima Patagonia 2023.

Partenaires institutionnels

France

Fédération Française de Spéléologie, Ambassade de France au Chili, Académie de Toulouse, Agence de l'eau Grand Sud-Ouest Adour Garonne, Edytem (Université Savoie Mont Blanc, CNRS), Laboratoire Ampère (Lyon, CNRS), FFESSM, Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France, Groupe d'étude du milieu souterrain (GEMS, CNRS).

Comités régionaux de spéléologie : Bourgogne-Franche-Comté, Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie,

Comités départementaux de spéléologie : Ariège, Aude, Aveyron, Bouches-du-Rhône, Doubs, Haute-Garonne, Lot, Rhône et Métropole de Lyon, Tarn,

Clubs : Spéléo-club d'Airbus, ABÎMES 81, Groupe spéléologique de Toulouse, Groupe Spéléologique du Couserans, Spéléo Club de Souillac, Alpina Millau.

Chili

Ministerio de Bienes Nacionales de Chile, Gobierno Regional de Magallanes y la Antártica Chilena, Corporación Nacional Forestal – Magallanes, Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado, Tercera Zona Naval - Armada de Chile, Comunidad Kawésqar Residente en Puerto Edén, Asociación Indígena Mapuche Huilliche Lafken Mawida, Ambassade de France au Chili, Asociación Espeleológica de Patagonia.

Autres

Fédération Spéléologique Européenne (FSE), Union Internationale de Spéléologie (UIS), Innsbruck Quaternary Research Group (Autriche), Spéléo Québec (Canada) Société Québécoise de Spéléologie, Le Tiroler Wissenschaftsförderung (Autriche).

Sponsoring :

Natmor LTDA, OUT! Chile, Indura Group AIR PRODUCTS, Compañía de Aceros del Pacífico – Siderúrgica Huachipato, Zona Austral, EPAustral, Mascot Workwear, Centre de Communication Médicales Maritimes, Bombard, Suzuki, Solygotrans, Handheld, MTDE, Croque Montagne, CTS Chenu Travaux Spéciaux, Centre National d'études Spatiales - CNES, Cook N' Run, S14G, Engie, Casden, Parsys, Nardi compressor France, System C Industrie, Marlink, SSSNOT, Shem, Spéléo Magazine, Verjari, Swiza – Helvetica Brands SA, Cilao, The

Grizzly Labs, Château Pasquet, Horizon Vertical, Dive Lyon, Esurveys, Orbitica, Pino De Lion, M3S Triton, MON+ multi options nursing, Hostel Baquedano Puerto Natales, Prevenscop Conseil, Bortal, El Cap Escalade, Triaxe Audiovisuel, Géologie Environnement Conseil, U Express, ASSKOOL (Association de Séjours Spéléo Karsto O Objectifs Ludiques), Essential Diving, Chalet de Beauregard, IMER Group France, Traser Swiss Watches, Aqualung, Apeks, XEFI Cahors CSX, Move Solutions, Fondation de la vocation Marcel Bleustein-Blanchet, Zoom.us, BA Minage, Climbing Technology, Terres d'Explorations, Euroflor, Optimal Finances / M. Samy Denome, Super U Labastide.

Campagne de financement participatif :

Jean-Luc Algarra, Catherine Assoun Gerber, Frederic Augey, Philippe Auriol, Florent Avezac, Francois Bart, Audrey Boch, Jean-François Bonjour, Alexandra Bonnefoy, Christel Bonnet, Evelyne Bosqued, Bernard Boudoux d'Hautefeuille, Pascale Bougeault, Eric Boyer, Daniel Broquet, Olivier Brunel, Jean-Pierre Buch, Samantha Bux, Frederic Buskova, François Caille, Loïc Carfantan, Christiane Carfantan, Cécile Carfantan, Yannick Carfantan, Christine Carre, François Cassorla, Jean Louis Cauhope, Anne Chaumont, Julie Cheveau, Jérôme Clouzeau, Danièle Cohen, Véronique Colleoni, Stéphanie Coroir, Rober Crozier, Gilles d'Agostini, Joël Danflous, Pierre Decourcelles, Louis de Pazzis, Françoise Deplaye, Louis Dugros, Georges Dumenil, Patrick Duverge, Jean-Hugues Esteve, Luc-Henri Fage, Martine Foltran, Pierre-Louis Fontvielle, Monique Fort, Yves Frébourg, Alain Frun, Olivier Giraud, Christian Giroussens, Lucien Gratte, Antoine Grisart, Olivier Guérard, Alexandre Guinet, Fabien Hobléa, Bernard Hogrel, Stéphane Jaillet, Amandine Laborde, Didier Lamotte, Jacques Lamotte, Marie-Noelle Lavie, Didier Lefebvre, Isabelle Lelievre-Jacquemin, Françoise Magnan, Richard Maire, Dominique Malard, Chloé Malard, Laetitia Marty, Florian Maurer, Jean-Marie Maurice, David Meunier, Guy Meunier, Claude Milhas, Mittelelette Eric, Angelica Nodari, Véronique Olivier, Gaëtan Perrier, Martine Petitot, Gérard Pujau, François Racine, Didier Rateau, Olivier Reau, Fabien Recalde, Jérôme Relano, Céline Renaux, Patrick Rivière, David Roger, Gilles Rollier, Jacques Romestan, Edouard Roth, Emilie Sabadie, Claude Santacatalina, Charles Santini, Marie-Christine Schwengler, Jean-Louis Thocaven, Alexis Tual, Marie-Christine Vivien, Nicolas Wioland, Norbert Wourms, Laurence Zanchetta

Coordination du rapport : Didier Lamotte, Charlotte Honiat, Natalia Morata

Coordination scientifique : Charlotte Honiat

Référent topographies-SIG : Tanguy Racine

Relecture : Didier Lamotte, Charlotte Honiat, Christine Magot, Maguy Lamotte, Natalia Morata, Franck Bréhier, Georges Marbach, Arnauld Malard, Marie Eveillard-Buchoux

Traduction : Natalia Morata, Didier Lamotte

Mise en page : Serge Caillaut, Spéléo Magazine

Photos de couverture : Serge Caillaut (*la une : lapiaz sur les hauteurs de l'Estero Egg, la quatre : glacier HPS35*)

Bernard Tourte

Chef d'expédition UP2023 / Jefe de expedición UP2023

Président de Centre Terre / Présidente de Centre Terre

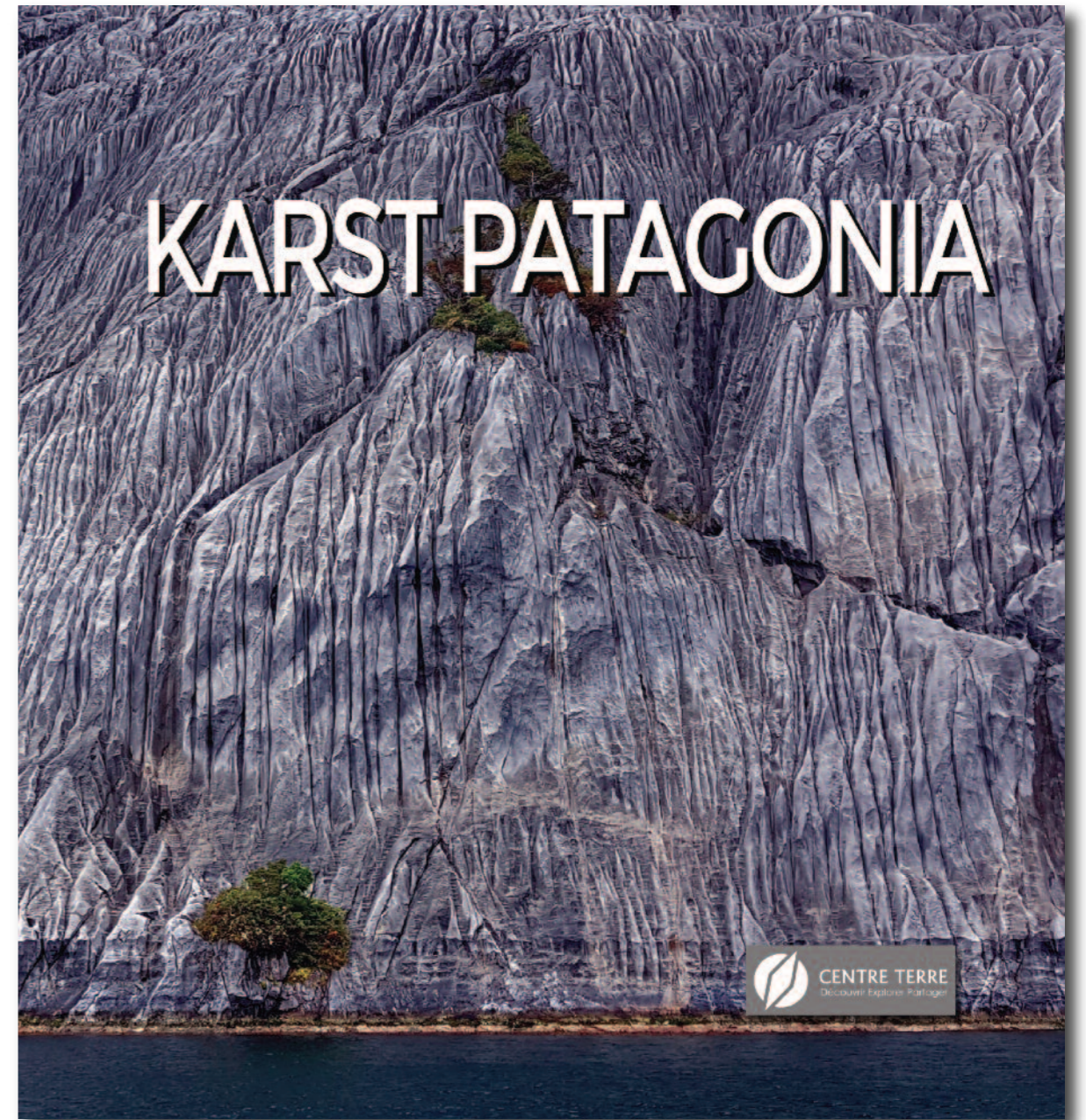
Natalia Morata

Coordination expédition Chili / Coordinación expedición Chile

Charlotte Honiat, Richard Maire

Coordination scientifique UP 2023 / Coordinación científica UP2023

Association Centre Terre, 25 rue Louis de Broglie - 31100 Toulouse



Karst Patagonia

« Sous 40 degrés, il n'y a plus de loi. Mais sous 50 degrés, il n'y a plus de Dieu. » (dictionnaire marin). Ouvrage 28 x 28 cm, 160 pages, couverture rigide, 200 photographies et illustrations inédites.

Centre Terre publie Karst Patagonia, un beau livre de photographies commentées en trois langues (Français, Espagnol, Anglais). C'est une invitation à parcourir les îles calcaires de l'archipel de Patagonie, et découvrir les paysages exceptionnels de ses karsts et à partager les aventures humaines des expéditions Ultima Patagonia, loin des repères familiers...

Karst Patagonia est dès à présent disponible à la vente sur la boutique de Spéléo magazine (+ frais de port) ou de Centre Terre au prix de 30 € (+ frais de port) ou de 100 € les 4 exemplaires (+ frais de port) : <https://centre-terre.fr/shop.php>

Karst Patagonia en six chapitres :

- Les paysages exceptionnels des îles calcaires de Patagonie que sont Madre de Dios et Diego de Almagro (karst de surface, grottes et gouffres...).
- Les canaux de Patagonie, labyrinthe incroyable composé de milliers de bras de mers qui ont vu le passage de navigateurs célèbres : Sarmiento de Gamboa, Darwin, Fitzroy, Lord Byron...
- L'aventure humaine des explorations des gouffres de Patagonie. Vivre et ressentir toute la saveur des découvertes sur ces terres humides, glaciales et battues par les vents.
- Les explorations souterraines. Descendre dans les gouffres, plonger dans les galeries noyées et en dresser l'inventaire et la cartographie.
- Les nomades de la mer, peuples indigènes qui sillonnaient les canaux de Patagonie, occupaient les grottes et ont laissé de nombreuses traces de leurs passages.
- Les sculptures de surface sont les formes les plus singulières et caractéristiques de ces îles calcaires de Patagonie, héritages des processus d'érosion hors normes et uniques au monde.



Cascade descendant du glacier HPS35. Photo © Serge Callault, Centre Terre.

