

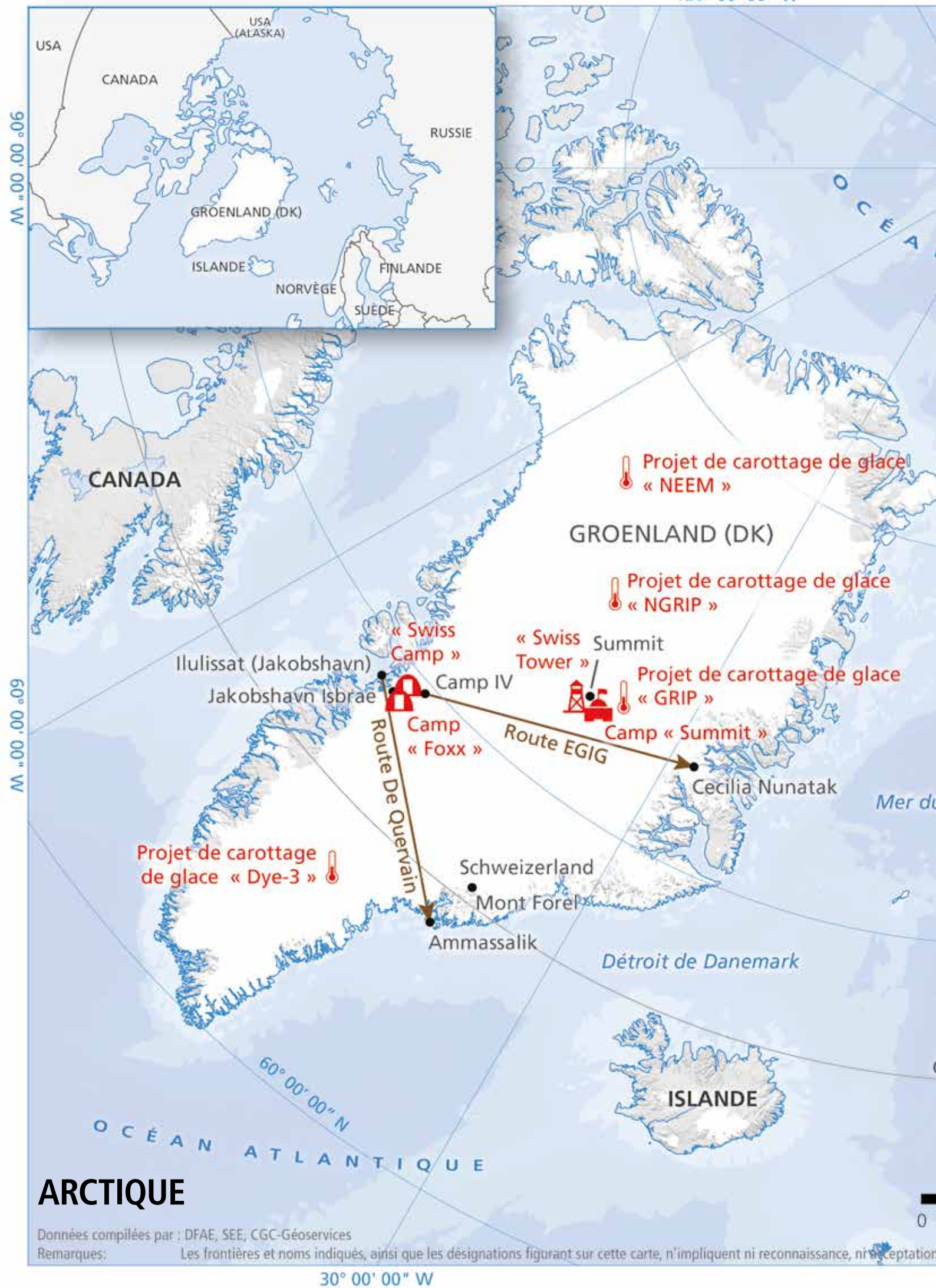
Recherche polaire suisse

Esprit pionnier, passion et
excellence scientifique



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

120° 00' 00" W



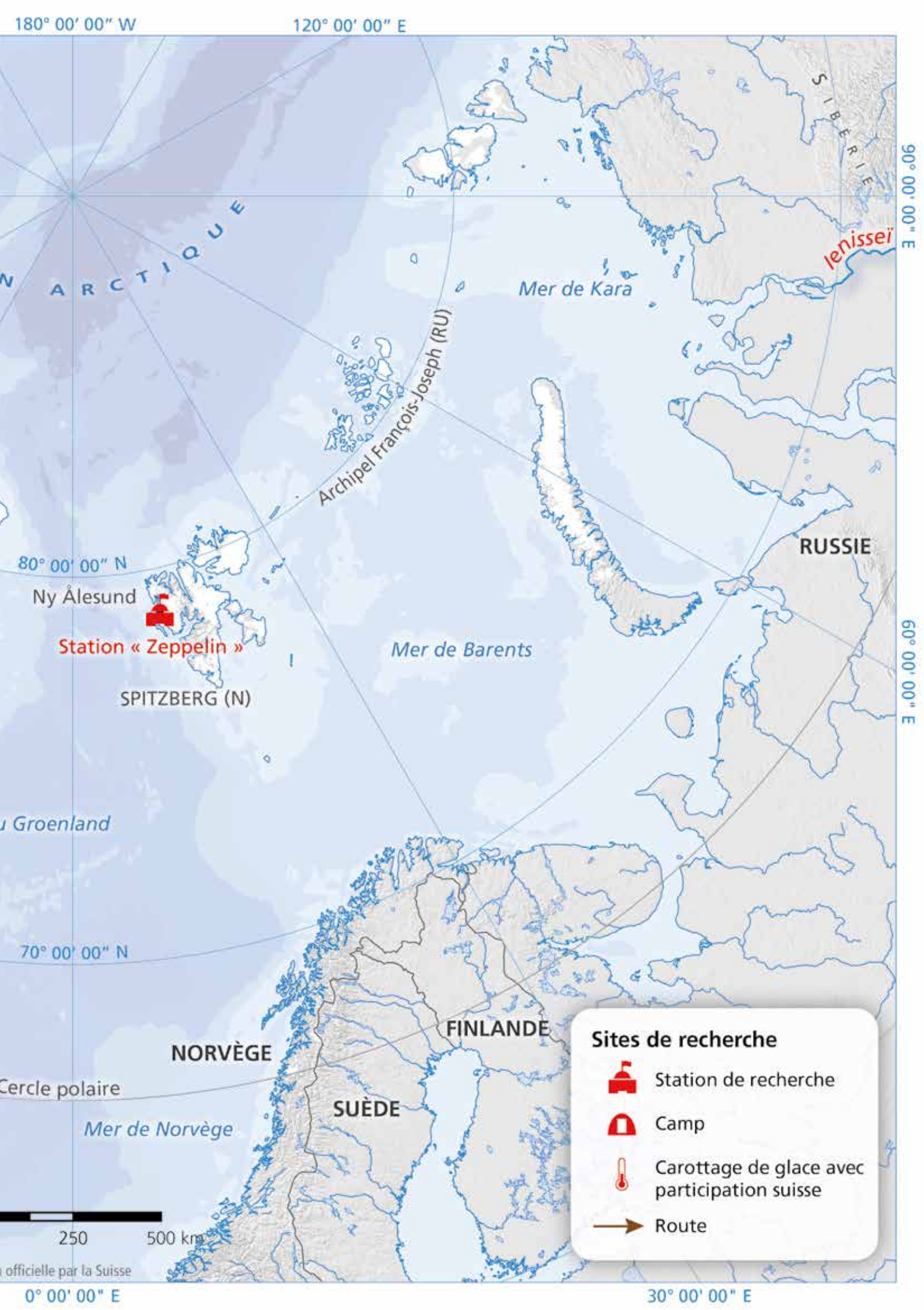
ARCTIQUE

Données compilées par : DFAE, SEE, CGC-Géoservices

Remarques:

Les frontières et noms indiqués, ainsi que les désignations figurant sur cette carte, n'impliquent ni reconnaissance, ni acceptation

30° 00' 00" W



« JE N'AI PAS DE TALENT PARTICULIER. JE SUIS JUSTE PASSIONNÉMENT CURIEUX. »

Albert Einstein

La passion et la curiosité, la soif d'apprendre, le goût de l'aventure et un esprit résolument pionnier sont des traits qui caractérisaient aussi les chercheurs et les alpinistes suisses partis à la découverte de l'Arctique dès le XVIII^e siècle. Ce faisant, ils posaient alors les fondements de l'excellence helvétique en matière de recherche polaire.

Ces chercheurs et explorateurs ont laissé leur empreinte, comme en témoignent la région du « *Schweizerland* », dans l'est du Groenland, ou le plus haut sommet de la région, nommé Mont Forel en l'honneur du scientifique genevois François-Alphonse Forel, qui a apporté un soutien majeur à l'expédition menée par Alfred de Quervain en 1912.

Aujourd'hui, les chercheurs qui travaillent en Suisse font figure de référence dans le domaine interdisciplinaire qu'est la recherche climatique. Ils participent à l'étude des conditions climatiques très spécifiques des pôles et de leurs écosystèmes, qui sont influencés par la façon dont nous gérons les ressources naturelles, et ont à leur tour un impact sur le temps et le climat qui règnent sous nos latitudes. Les résultats de leur travail permettent de mieux comprendre l'écosystème mondial, de faire des découvertes sur le passé, mais aussi de formuler des prévisions pour l'avenir de notre planète. Et c'est sur la base de ces résultats que sont prises les décisions politiques qui permettront de laisser aux générations futures un environnement viable.

Mais l'intérêt que portent les chercheurs suisses à l'Arctique et à l'Antarctique s'explique également par le fait que la recherche polaire est très proche de la recherche de haute altitude, d'autant qu'il n'y paraît à première vue. En effet, la Suisse a été en grande partie formée par la glace et les glaciers, et certaines régions des Alpes sont couvertes de glace et de neige toute l'année. Et comme l'Arctique, la Suisse observe actuellement une fonte des glaciers ainsi que des hivers plus chauds.

La recherche polaire est internationale, comme le montre d'ailleurs très bien la présente publication. Les succès qu'elle rencontre sont rarement le fait d'individus isolés : ils reposent avant tout sur un travail d'équipe. Pour avancer, la science doit allier les moyens et les efforts du monde entier au sein d'équipes internationales et multidisciplinaires, au-delà des frontières. Dans cette optique, les chercheurs qui travaillent en Suisse s'associent étroitement à leurs collègues étrangers. Ceux-ci sont surtout issus des huit Etats membres du Conseil de l'Arctique et d'un des pays partie au traité sur l'Antarctique.

La Suisse a signé le traité sur l'Antarctique en 1990. Celui-ci réserve la zone inhabitée qu'est l'Antarctique aux activités pacifiques, en particulier liées à la recherche scientifique et au tourisme. Contrairement à ce qui prévaut en Arctique, l'utilisation des ressources naturelles y est proscrite. Le Conseil de l'Arctique a quant à lui été fondé en

1996 afin de défendre les intérêts des Etats limitrophes et des populations autochtones. Il coordonne des projets de recherche et de développement afin de promouvoir la protection du climat et la sécurité dans la région, où vivent presque deux millions de personnes. Le traité sur l'Antarctique et le Conseil de l'Arctique reflètent des intérêts et des objectifs que partage la politique extérieure de la Suisse, à savoir contribuer à la stabilité et à la paix dans le monde.

La participation non négligeable de la Suisse aux réseaux scientifiques en Arctique et en Antarctique revêt également une importance de taille en matière de politique étrangère. En effet, si la diplomatie s'efforce d'ouvrir des portes à nos chercheurs à l'étranger, les chercheurs participent quant à eux, grâce à leur engagement au sein d'équipes internationales, à la promotion de l'excellence suisse en matière de recherche et d'innovation sur la scène mondiale.

Les projets décrits dans la présente brochure montrent que les scientifiques suisses endossent de façon très naturelle un rôle fondamental du point de vue de la politique extérieure : ils sont la preuve que la Suisse, à la pointe dans les domaines de la science, de l'innovation et des technologies, assume de manière solidaire sa part de responsabilité dans la résolution des grandes énigmes de notre planète et dans la gestion des grands défis de notre existence.

Cette brochure vise à présenter le travail de nos chercheurs de manière accessible, afin que chacun puisse participer à l'« aventure » de la recherche polaire helvétique.

Je vous souhaite une lecture captivante !

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'D' followed by a series of loops and a long horizontal stroke.

Didier Burkhalter
Conseiller fédéral et chef du Département fédéral
des affaires étrangères DFAE

RECHERCHE POLAIRE SUISSE : QUAND L'ESPRIT PIONNIER SE CONJUGUE AVEC LA RECHERCHE DE POINTE

Les scientifiques suisses sont à la pointe au niveau mondial en matière de recherche polaire. Cela peut surprendre de la part d'un pays enclavé au cœur de l'Europe, sans grande tradition maritime. Mais l'histoire montre que les effets de la neige et de la glace sur la vie quotidienne ont très tôt éveillé l'intérêt des chercheurs suisses pour les régions polaires, en particulier pour les grandes calottes polaires (ou inlandsis) du Groenland et de l'Antarctique. Le 19^e siècle a par ailleurs apporté la certitude que des glaciers de la taille du Groenland existaient vraiment. Les théories sur l'ère glaciaire élaborées par des chercheurs en Suisse et à l'étranger – les mêmes qui expliquaient bon nombre des spécificités du paysage et de la topographie suisses – ont ainsi trouvé confirmation.

L'année 1912 a été pour les chercheurs polaires suisses une année extraordinaire, quoique tragique : Alfred de Quervain, spécialiste suisse de l'Arctique, a été le premier explorateur à traverser l'inlandsis du Groenland d'ouest en est, parvenant à ramener tous les membres de l'expédition sains et saufs. Pendant ce temps, les explorateurs de l'Antarctique ne sont pas restés inactifs. Parmi eux, le Suisse Xavier Mertz, avocat, champion de ski et alpiniste. Ayant pris part à l'expédition antarctique australienne emmenée par Douglas Mawson, il a trouvé la mort peu avant la fin.

Si les rapports d'expédition mettaient surtout en avant l'aventure et les actes de bravoure, la finalité d'une expédition était toujours de faire de nouvelles découvertes scientifiques. De Quervain et son équipe, par exemple, ont profité de leur périple pour consigner des observations météorologiques et géomagnétiques. Ils ont effectué des mesures et réalisé le premier profil d'altitude de l'ensemble de l'inlandsis groenlandais, un véritable exploit scientifique pour l'époque.

En 1956, « l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland (EGIG) » a vu le jour à Grindelwald, dans l'Oberland bernois. La première expédition de l'EGIG, réalisée avec une forte participation suisse, a pu être lancée en 1959. Ses membres disposaient déjà d'instruments de précision, notamment pour mesurer le terrain, et ils étaient approvisionnés par les airs. Ils faisaient appel à des véhicules à chenilles pour le transport des personnes et du matériel. L'EGIG a monté deux autres expéditions en 1967–1968 et au début des années 1990, ce qui lui a permis d'étudier si et comment l'inlandsis se modifiait d'une fois à l'autre. Entre-temps, l'analyse des carottes glaciaires a fait des progrès et livré des informations sur le climat et la présence de gaz à effet de serre dans le passé. Le physicien et climatologue Hans Oeschger, de l'Université de Berne, est l'un des pionniers dans ce domaine.

Les innovations techniques, comme l'imagerie satellite ou le GPS, ont élargi le domaine d'application de la recherche polaire. La recherche suisse les utilise pour observer les calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique et fournit ainsi une contribution importante au plan international. Malgré toutes ces nouvelles techniques, la climatologie et la glaciologie ne peuvent pas se passer des expéditions, ni des observations et expériences sur le terrain.

Aujourd'hui, les scientifiques suisses étudient aussi les processus biologiques, chimiques et physiques qui sous-tendent la structure et le fonctionnement de l'écosystème de l'océan Austral qui entoure l'Antarctique, ainsi que l'interaction du climat, du pergélisol et de la végétation dans la toundra et dans les Alpes. Ils étudient la circulation et la pollution atmosphériques dans les régions polaires, de même que les effets de la neige sur le climat. Ils élaborent des modèles informatiques, reconstituent le climat du passé à partir de la glace et des sédiments et mènent des études géologiques qui livrent des informations sur l'histoire de l'inlandsis.

Etant donné que la Suisse ne possède pas d'institut des sciences polaires, les chercheuses et chercheurs suisses collaborent avec des consortiums multinationaux et des programmes internationaux

ou participent activement à des organisations non gouvernementales comme le Comité scientifique pour la recherche antarctique (SCAR) et le Comité arctique international de la science (IASC). Aujourd'hui, la priorité consiste non pas à explorer et découvrir mais à comprendre les processus de notre système terrestre, notamment le rôle que jouent les régions polaires sur notre planète, ainsi que leur vulnérabilité au réchauffement planétaire induit par l'être humain.

Compte tenu de ce réchauffement climatique, la recherche polaire devrait revêtir encore plus d'importance à l'avenir. Les chercheuses et chercheurs suisses entendent poursuivre leur contribution à l'acquisition de ces connaissances. La présente brochure explique dans quels domaines cette contribution s'exerce déjà.



Prof. Hubertus Fischer

Au nom de la Commission suisse pour la recherche polaire et de haute altitude (CSPH), une commission des Académies suisses des sciences



Camp de forage « Foxy » sur la calotte du Groenland.
© Claudia Ryser, EPF Zurich

L'INFLUENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA CALOTTE POLAIRE DU GROENLAND

L'inlandsis du Groenland est la seconde réserve d'eau douce du monde. Or les observations montrent qu'au cours de la dernière décennie, la température de l'air a fortement augmenté, la fonte des glaces a progressé et le déversement de glace dans les océans s'est accéléré. Il est dès lors à craindre que la calotte polaire du Groenland continue à reculer au fur et à mesure que la planète se réchauffe. Si elle venait à fondre complètement, le niveau de la mer s'élèverait de six mètres.

Les scientifiques suisses apportent une contribution déterminante à la recherche sur le terrain dans les domaines de la dynamique des mouvements glaciaires dans la calotte du Groenland ainsi que des processus de fonte à sa surface. Ces recherches de terrain s'intéressent avant tout aux transformations de la masse glaciaire et à la dynamique de la glace

le long de la côte occidentale du Groenland. Elles servent de base scientifique à des études plus approfondies recourant également à des satellites, qui permettent aussi d'obtenir des données et des images (télédétection), et à des modèles informatiques.

Depuis 1990, des chercheurs de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) effectuent des mesures à la station scientifique « Swiss Camp », en collaboration avec l'EPF de Zurich (EPFZ) et l'Université de Colorado Boulder (USA), dans le cadre d'un programme à long terme. Ils ont ainsi constaté une progression de la fonte des glaces : située dans la partie occidentale de la calotte polaire, la station a enregistré un réchauffement de 3 degrés Celsius depuis le début des mesures, ainsi qu'un déplacement de la limite des neiges, qui a reculé de 50 km vers l'intérieur des terres.

« Swiss Camp » sert aussi de référence pour 18 stations climatiques automatiques, réparties sur toute la calotte polaire, qui composent le « Greenland Climate Network » (GC-Net). Ce réseau sert de

base d'analyse pour les informations climatiques, les prévisions météorologiques, la validation des capteurs satellite, les études de processus ainsi que les modèles climatiques régionaux.

Au « Summit », le point culminant de la calotte polaire, situé à 3300 m d'altitude, les chercheurs suisses de l'EPFZ et du WSL réalisent des mesures à long terme pour la recherche atmosphérique. Pour ce faire, ils travaillent notamment dans la « Swiss Tower », haute de 50 m. Depuis l'an 2000, ils mènent aussi un projet intitulé « Surface Baseline Radiation Network » (BSRN). Ce dernier consiste à mesurer et à enregistrer les modifications du bilan radiatif de la terre, qui peuvent accompagner le changement climatique.

Grâce aux travaux d'un groupe de chercheurs de l'EPFZ, on sait désormais qu'une couche épaisse de glace un peu plus chaude explique l'accélération de la vitesse d'écoulement du glacier Jakobshavn. Ce groupe est le premier à avoir réalisé des forages en profondeur dans la coulée de glace et dans ses environs. Plus récemment, des enquêtes de terrain et des études de modèles effectuées par des chercheurs suisses et leurs partenaires américains ont permis de montrer que le doublement de la vitesse d'écoulement du glacier, qui atteint désormais 14 km par an, est dû au fait que la langue de glace flottante ne stabilise plus le glacier autant qu'avant.

Même au plus froid de l'hiver, la moitié des mouvements glaciaires est provoquée par des glissements. En été, la proportion des glissements atteint même 90 pour cent, comme le montrent d'autres mesures effectuées par l'EPFZ, en collaboration avec ses partenaires américains. Les chercheurs ont réalisé des forages de 700 m de profondeur pour atteindre le lit du glacier. Des capteurs déposés sur ce lit et dans la glace ont permis d'observer les variations de la pression de l'eau ainsi que les mouvements glaciaires. C'est dans ces profondeurs difficilement accessibles que les processus de glissement déterminent la vitesse d'écoulement de la glace et partant, la forme et l'évolution de l'inlandsis.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Groenland

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

« Real-time Observations of the Greenland Under-Ice Environment » (Observation en temps réel de l'évolution de l'environnement sous-glacier au Groenland)

Durée du projet : 2010–2014

« Understanding long-term outlet glacier calving dynamics »

(Compréhension de la dynamique à long terme du vêlage des glaciers)

Lancement du projet : 2014

« Surface processes glacio-hydrology and englacial modeling of the Greenland ice sheet » (Processus de surface glacio-hydrologiques et modélisation de l'intérieur de l'inlandsis du Groenland)

Durée du projet : 1990–2014

« Climate and surface baseline radiation network monitoring on top of the Greenland ice sheet » (Observation du climat et du réseau de mesure en surface de la radiation de base au sommet de la calotte polaire du Groenland)

Lancement du projet : 2000

BUDGET : environ 20'000'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : 7'000'000 CHF

PARTENARIAT : University of Colorado, Boulder (USA), University of Texas, Austin (USA), Dartmouth College, Hanover (USA), Los Alamos National Laboratory (USA), NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt (USA), University of Alaska, Fairbanks (USA), Geography Department, Durham University (UK)



© Christian Beutler

KONRAD STEFFEN

Professeur en climat et cryosphère, EPF Zurich et EPF Lausanne, et directeur de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf



MARTIN LÜTHI

Docteur et senior researcher, groupe Glaciologie et géomorphodynamique, Institut de géographie, Université de Zurich, vice-président de la Commission suisse pour la recherche polaire et de haute altitude (CSPH) des Académies suisses des sciences



© Frank Bröderli, Stallikon

ANDREAS VIEL

Professeur de géographie physique, groupe Glaciologie et géomorphodynamique, Institut de géographie, Université de Zurich



Image satellite d'une dépression polaire au-dessus de l'océan Arctique.
© KEYSTONE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/CHR 366 NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY

LA SUISSE CONTRIBUE À LA MODÉLISATION DES COURANTS ATMOSPHÉRIQUES ET OCÉANIQUES POLAIRES

Le climat et la météorologie des régions polaires se caractérisent par des interactions intenses entre l'océan, la glace et l'atmosphère dans un environnement topographique complexe. A l'été 2012, une combinaison de ces facteurs a favorisé l'arrivée de vents chauds en provenance de latitudes tempérées, et la glace s'est mise à fondre sur une grande partie de sa surface au Groenland.

Afin de simuler les courants océaniques et atmosphériques des régions polaires dans toute leur complexité, la science a développé des modèles informatiques. Par ailleurs, des séries de mesures à long terme ont permis de générer des données d'excellente qualité au niveau mondial, grâce à une méthode appelée réanalyse. Les études réalisées

sur cette base ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur les flux d'air polaires.

Dans ce domaine, la recherche suisse, en particulier à l'Université de Berne et à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ), apporte une contribution essentielle à une meilleure compréhension des phénomènes à l'œuvre dans les régions polaires et de leurs interactions. Ainsi, un modèle régional à haute résolution tenant compte des échanges entre l'atmosphère et l'océan a été développé pour l'Atlantique Sud. D'autres projets étudient notamment l'influence des tourbillons océaniques sur l'atmosphère au-dessus d'eux, les irruptions d'air froid en provenance de l'Antarctique ou encore les liens entre évaporation, transport de la vapeur d'eau et précipitations intenses dans les régions polaires.

De nombreux aspects des interactions entre l'océan et l'atmosphère à des échelles inférieures à 100 km sont encore inconnus. Les dernières observations dans l'océan Austral montrent que des tourbillons océaniques d'un diamètre typique de 50 km et présentant une température fluctuante à la surface de la mer peuvent influencer le vent, la nébulosité et les

précipitations. Au-dessus des tourbillons océaniques froids, on observe par exemple que la couverture nuageuse est généralement moins importante que dans les zones avoisinantes (voir illustration à droite). Grâce au modèle régional, qui est constitué d'un réseau de points espacés de 10 km servant à mesurer des paramètres atmosphériques et océaniques, le mécanisme de ce phénomène a pu être vérifié et quantifié.

Les irrptions d'air froid sont des phénomènes météorologiques spectaculaires : lorsque de l'air polaire froid atteint en grande quantité des latitudes basses (au-dessous du 50e parallèle), il génère d'importants flux de chaleur et une évaporation plus intense au-dessus des eaux libres de glace. Cela se traduit fréquemment par des cyclones très intenses mais de faible envergure, appelés dépressions polaires (voir illustration à gauche). Ces dépressions peuvent donner naissance à des vents violents à la surface de l'océan. Fréquemment accompagnés d'abondantes précipitations, ceux-ci peuvent représenter un danger, notamment pour la navigation et les plateformes pétrolières. Grâce aux réanalyses et aux modèles numériques, l'apparition, le mécanisme et l'évolution de ces irrptions d'air froid peuvent être mieux compris. Cela est indispensable pour améliorer les prévisions météorologiques et climatologiques dans les régions polaires.

Le transport d'air plus chaud et plus humide vers les pôles joue un rôle important pour les précipitations, et par conséquent pour le renouvellement des stocks de glace dans les régions polaires. Des algorithmes spécifiques permettent de calculer les mouvements de l'eau dans l'atmosphère et d'étudier les liens entre évaporation, transport de l'eau et précipitations. Des mesures de la composition des isotopes stables des précipitations contribuent à tester les modèles et à confronter leurs prédictions à la réalité. Ces résultats ont d'ores et déjà joué un rôle important dans l'interprétation des informations climatiques contenues dans les carottes de glace prélevées au Groenland et en Antarctique.

Les processus atmosphériques à l'origine des précipitations intenses ont déjà fait l'objet d'une analyse détaillée dans une région spécifique de l'Antarctique (Terre de la Reine-Maud). Ces précipitations sont précédées par de fortes perturbations à une dizaine de kilomètres d'altitude, comparables à des vagues, qui se propagent en direction de l'Antarctique et font naître un cyclone dans la mer de Weddell. Celui-ci déplace l'air situé au-dessus de l'océan en direction du continent où la masse d'air, lorsqu'elle atteint le littoral très abrupt, déclenche de fortes précipitations.

INDICATEURS

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

CHIRP II – « Modeling the water cycle in a changing climate – a multi-scale interaction challenge » (Modélisation du cycle de l'eau dans le contexte du changement climatique – un modèle de calcul des interactions à plusieurs niveaux) et

SOGate – « Phytoplankton ecosystem control of the Southern Ocean biogeochemical gate » (Contrôle de l'écosystème phytoplanctonique de la barrière biogéochimique de l'océan Austral)

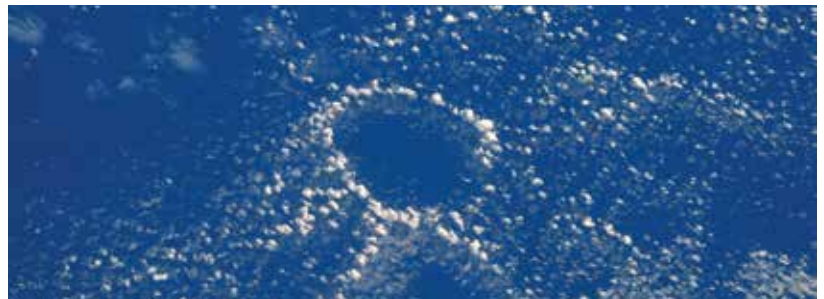
BUDGET : environ 800'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : environ 800'000 CHF

FINANCEMENT : EPFZ et Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)

LANCEMENT DU PROJET : 2010

PARTENARIAT : University of Melbourne (AU), Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (NL)



Les tourbillons océaniques peuvent donner naissance à des zones circulaires sans nuages.
© Nasa Johnson Space Center

NICOLAS GRUBER

Professeur de physique de l'environnement, Institut de biogéochimie et de dynamique des polluants, EPF Zurich

OLIVIA ROMPPAINEN-MARTIUS

Professeure, Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique et Institut géographique, Université de Berne

HARALD SODEMANN

Institut pour l'atmosphère et le climat, EPF Zurich ; professeur à l'Institut de géophysique de l'Université de Bergen (N)

CHRISTOPH WELKER

Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique et Institut géographique, Université de Berne

HEINI WERNLI

Professeur de dynamique de l'atmosphère, Institut pour l'atmosphère et le climat, EPF Zurich



Mesure de la réflectivité de la banquise en Antarctique.
© M. Schneebeli

NIVOLOGIE POLAIRE : LA SUISSE JOUE UN RÔLE DE PREMIER PLAN

Dans les régions polaires, la neige fait partie du quotidien. Preuve en est la grande variété des expressions que les populations locales ont à disposition pour désigner ses différents états. En cela, les indigènes de l'Arctique sont très proches des habitants des régions alpines. Cette proximité existe aussi au niveau de la recherche nivologique. Ces dernières années, la Suisse a développé ses activités scientifiques en Arctique et en Antarctique. En tant que pionnière de la nivologie, elle veut en effet contribuer à la recherche sur des problèmes globaux et à la quête de solutions à ces problèmes. Grâce au développement de nouvelles méthodes de mesure et de modèles informatiques, la Suisse peut fournir un apport important à la recherche nivologique polaire.

La neige se forme lorsque de la vapeur ou des gouttelettes d'eau se cristallisent dans l'atmosphère.

Sur la terre ferme, la neige qui forme une couverture solide pendant l'hiver ou durant toute l'année se recristallise complètement à plusieurs reprises, comme le montrent les derniers résultats obtenus par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). Ce phénomène s'explique par le fait qu'à proximité du sol, la température de la neige est proche du point de fusion.

La neige a une influence sur le climat à l'échelle mondiale. Selon la taille des grains de neige, la réflexion de la lumière du soleil varie. Le SLF et l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) ont un rôle de premier plan s'agissant de la mesure de la taille de ces grains. Leurs activités de recherche au Groenland (menées principalement à la station « Summit », située à 3300 mètres d'altitude, soit le point le plus élevé de l'inlandsis du Groenland, et au « Swiss Camp ») et en Antarctique ont donné lieu à des découvertes révolutionnaires sur la capacité de réflexion des grains de neige et sur le bilan radiatif. Les recherches ont également porté sur la profondeur de pénétration de la lumière solaire

dans la neige. Les résultats ont été intégrés dans le modèle « Snowpack », mis au point par la Suisse, qui permet d'établir des bilans radiatifs et de prédire les propriétés de la neige.

Dans le cadre d'une expédition en Sibérie, les chercheurs se sont penchés sur les propriétés physiques de la couche de neige recouvrant le pergélisol à la fin de l'hiver. Ces propriétés ont une influence décisive sur le gel du sol. En raison du climat de ces régions, les cristaux du givre de profondeur sont extrêmement fragiles, et leurs caractéristiques ne peuvent être déterminées qu'à l'aide d'une méthode combinant micro-tomographie et simulations numériques.

Les connaissances acquises sur le lien entre les accumulations de neige et la topographie se fondent aussi sur les résultats de la recherche alpine – cette fois menée en Suisse. Les études en question ont porté sur les corniches de neige et les pentes avalanches, où le vent déplace la neige. Bien que la topographie du Groenland et de l'Antarctique soit différente de celle des Alpes, les mécanismes d'accumulation de la neige sont les mêmes.

Le déplacement de la neige par le vent est étudié sur le terrain et à l'aide de modèles informatiques, notamment des modèles climatologiques et météorologiques, qui permettent de comprendre la formation de congères. Les chutes de neige et la formation de congères sont mesurées avec une grande précision, notamment à l'aide de GPS et de lasers. Cela permet de découvrir des régularités dans la formation de congères et des variations de rugosité des surfaces et donc d'établir des cartes très détaillées, indiquant avec précision les endroits où le vent a chassé ou accumulé de la neige.

La neige est aussi le matériau à partir duquel se forment les carottes glaciaires qui constituent le seul moyen de retracer l'évolution du climat sur des milliers d'années. La transformation de la neige en glace est donc l'un des processus dont il est nécessaire d'améliorer la compréhension pour mieux interpréter ces vestiges du passé. Les méthodes suisses développées dans ce domaine ont fait leur preuve, notamment lorsqu'il s'agit d'améliorer la compréhension des mécanismes d'accumulation et de transformation de la neige, comme l'ont montré deux expéditions en Antarctique.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Antarctique, Finlande, Groenland, Russie

BUDGET : environ 5'000'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : environ 1'000'000 CHF

DURÉE DU PROJET : 2000–2014

PARTENARIAT : Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (D), Finnish Meteorological Institute (FI), Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (F), University of Washington (USA)



Mesures de la couche neigeuse, à proximité de la station arctique « Samoylov » dans le delta de la Léna (nord-est de la Sibérie).

© M. Proksch / WSL



© M. Fitzpatrick

MARTIN SCHNEEBELI

Chef du groupe Physique de la neige, WSL-Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF), Davos



© K. Gavahan

KATHERINE LEONARD

Dr., Laboratoire des sciences cryosphériques (CRYOS), EPF Lausanne



Des chercheurs prélèvent des échantillons de neige et de glace dans la mer de Bellingshausen (Antarctique occidentale). © Katherine Leonard

INFLUENCE DE LA BANQUISE SUR LE CLIMAT ET LA MÉTÉO EN EUROPE

La banquise de l'océan Arctique et de l'océan Austral a une grande influence sur les conditions météorologiques dans le monde entier. L'évolution de sa superficie ainsi que les moments où elle atteint une surface maximale ou minimale jouent un rôle indéniable à ce niveau puisque la formation de la glace et l'augmentation du taux de salinité de l'eau liquide qui en résulte constituent des facteurs importants de la circulation océanique et donc de l'évolution à long terme du climat de la terre.

Des relevés par satellite dans le spectre des micro-ondes effectués depuis plus de 40 ans, grâce auxquels les surfaces couvertes de glace restent visibles même pendant l'hiver polaire, ont montré que la superficie de la banquise arctique atteignait au cours de ces dernières décennies un maximum hivernal de 14 à 16 millions de km². Dans l'océan

Austral, autour de l'Antarctique, la superficie de la banquise se situe entre 17 et 20 millions de km². Les modèles informatiques permettent aujourd'hui de connaître la taille de la banquise à des périodes encore plus reculées, mais aussi de faire des prédictions sur l'évolution future.

Pour l'Arctique, les données satellites et les modèles montrent que la superficie de la banquise estivale a diminué, alors qu'elle est restée relativement stable en hiver au cours des dernières décennies. En revanche, dans l'océan Austral, la superficie a connu récemment une légère augmentation en hiver, mais il n'est pas encore certain que cette évolution soit significative. La communauté scientifique internationale examine ces fluctuations ainsi que les liens complexes avec la météo et le climat en Europe.

Dans ce domaine, la recherche suisse apporte une contribution décisive. Ses efforts se concentrent sur le lien entre la banquise et la météo et le climat au niveau global. L'imagerie aérienne et spatiale (télédétection) ainsi que la modélisation climatique et atmosphérique sont combinées à des expériences

sur le terrain. Ces dernières visent à mesurer sur place les caractéristiques physiques de la glace et permettent ainsi de mieux comprendre et interpréter les données issues de la télédétection et de la modélisation informatique. Les scientifiques suisses apportent également une contribution importante à la recherche en laboratoire sur le comportement mécanique de la banquise et à sa modélisation ainsi qu'à l'analyse de sa composition chimique et de sa microstructure.

La recherche suisse a en outre développé les instruments de haute précision utilisés pour mesurer le rayonnement solaire et le pouvoir réfléchissant (albédo) sur différentes surfaces. La banquise a un albédo très élevé, surtout lorsqu'elle est couverte de neige. Sa taille a donc une influence décisive sur la quantité de chaleur qui est renvoyée dans l'espace, ou, au contraire, absorbée par l'océan et l'atmosphère.

Un projet du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) étudie actuellement l'épaisseur de la couverture neigeuse sur la banquise antarctique (voir page 12). Pour ce faire, il est nécessaire de connaître la hauteur de la neige sur la banquise, car le volume de celle-ci, contrairement à sa superficie, ne peut pas être mesuré par satellite. Il est également utile de connaître la quantité de neige tombée sur la banquise et dans l'océan ainsi que l'origine de la neige et son rôle dans la formation de la banquise et l'augmentation de son volume.

Une grande partie de la glace de l'océan Austral fond en été et se reforme en hiver. Si les chutes de neige augmentent d'année en année, cela pourrait avoir pour conséquence que, même si la surface de la banquise reste stable, la quantité de glace formée par la congélation de l'eau de mer diminue malgré tout. Cela pourrait avoir des répercussions sur la circulation océanique planétaire, qui dépend en grande partie de la quantité d'eau froide salée produite lors de la formation de la banquise.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Antarctique

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

Projet Ambizione du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) : « Antarctic precipitation, snow accumulation processes, and ice-ocean interactions » (Précipitations, processus d'accumulation de la neige et interactions entre la glace et l'océan en Antarctique)

BUDGET : environ 10'000'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : 500'000 CHF

DURÉE DU PROJET : 2012–2016

PARTENARIAT : Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (D), Australian Antarctic Division, United States Antarctic Program, Woods Hole Oceanographic Institution USA, University of Colorado, Boulder (USA), University of Tasmania (AU), Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, CNRS / Université Joseph Fourier (F), British Antarctic Survey (UK)



Banquise antarctique ; en arrière-plan, un iceberg : un fragment de glacier ; au premier plan, la blancheur étincelante de la couverture neigeuse et les reflets verts de la banquise.

© Martin Schneebeli



© K. Gavahan

KATHERINE LEONARD

Dr., Laboratoire des sciences cryosphériques (CRYOS), EPF Lausanne
Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Davos
Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder (USA)



Base antarctique coréenne « King Sejong ». © Martin Vollmer

TRAQUER LES GAZ À EFFET DE SERRE, DE L'ARCTIQUE À L'ANTARCTIQUE

De l'Arctique à l'Antarctique, des chercheurs suisses traquent les gaz à effet de serre, en particulier les dérivés d'hydrocarbures contenant du chlore, du fluor ou du brome. Ces composés chimiques, utilisés principalement pour la réfrigération, la production de mousse synthétique, dans les extincteurs ou en tant que solvants, sont à l'origine du trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique et contribuent au réchauffement climatique.

Chaque année, un total d'environ un million de tonnes de ces gaz s'échappe dans l'atmosphère, ce qui équivaut à la contenance d'environ 25'000 wagons de marchandises. Dans l'atmosphère, la durée de vie typique de ces différents composés (fluorochlorocarbures, hydrofluorochlorocarbures, halons [composés bromés], hydrofluorocarbures et perfluorocarbures) s'échelonne entre une et

50'000 années, mais leur répartition n'y est pas homogène. Dans l'hémisphère nord, leur concentration est beaucoup plus élevée, puisque c'est là que se trouvent les sources d'émission les plus importantes. Etant donné que les gaz provenant de nos latitudes mettent un à deux ans pour atteindre l'hémisphère sud et finalement l'Antarctique, on observe une nette baisse de la concentration à mesure qu'on se déplace vers le sud.

Dans l'Arctique, à Ny Ålesund sur l'île de Spitzberg, la station « Zeppelin » de l'Institut norvégien de recherche sur l'air (Norsk institutt for luftforskning, NILU) mesure la concentration de ces gaz à l'aide d'un appareil spécialement conçu à cette fin par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa). Cette station est l'une des huit au monde mises en place dans le cadre d'un projet expérimental international sur les gaz atmosphériques (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment, AGAGE) au sein duquel l'Empa et le NILU collaborent étroitement.

Les protocoles de mesure de l'ensemble des stations ont été strictement harmonisés afin de garantir

la comparabilité des résultats. Dans l'Antarctique, l'Empa mène un projet commun avec l'Institut polaire coréen KOPRI sur la base antarctique « King Sejong », dans les îles Shetland du Sud. Recueillis une fois par semaine depuis 2007, les échantillons d'air sont envoyés à l'Empa pour analyse.

Les résultats de l'Empa contribuent à quantifier les émissions à l'échelle planétaire et à améliorer les connaissances sur la répartition des gaz. Ces mesures permettent une vérification indépendante du respect d'accords internationaux comme le protocole de Montréal ou le protocole de Kyoto. Ainsi, la réduction constatée de la concentration de fluorochlorocarbures et d'hydrofluorochlorocarbures dans l'atmosphère confirme directement le succès du protocole de Montréal. Les résultats obtenus confirment également que le trou dans la couche d'ozone en Antarctique a cessé de croître ces dernières années et qu'il se refermera probablement au cours des prochaines décennies.

Cependant, la forte augmentation de la quantité d'hydrofluorocarbures et de perfluorocarbures illustre les problèmes liés à la mise en œuvre du protocole de Kyoto, qui fixe des objectifs contraignants en matière d'émission de gaz à effet de serre dans les pays industrialisés. On découvre aussi régulièrement de nouveaux gaz synthétiques, comme les anesthésiques fluorés modernes, utilisés lors d'opérations chirurgicales. Ces gaz s'accumulent dans l'atmosphère et peuvent être détectés jusqu'en Antarctique.

L'Empa mesure également la concentration en gaz halogénés à l'état de traces au Jungfraujoch, dans l'Oberland bernois, à 3580 mètres d'altitude, notamment dans le but de quantifier les émissions suisses. Cela nécessite des mesures d'une grande précision et des modèles informatiques complexes décrivant la diffusion de ces gaz dans l'atmosphère. Les calculs tiennent compte des résultats fournis par les stations de mesure dans les régions polaires et ailleurs. Les données relatives aux émissions suisses permettent de vérifier les chiffres fournis par l'industrie et les autorités sur la base d'estimations de la consommation et des émissions de ces substances.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Antarctique

NOM DU PROJET : « Analyse des émissions et de la répartition dans l'atmosphère de gaz halogénés à l'état de traces sur la base de mesures effectuées dans les régions polaires ou d'autres régions isolées »

LANCEMENT DU PROJET : 2007

PARTENARIAT : Korea Polar Research Institute KOPRI, Norwegian Institute for Air Research NILU, Advanced Global Atmospheric Gases Experiment AGAGE



Base antarctique coréenne « King Sejong ». © Martin Vollmer



MARTIN K. VOLLMER

Collaborateur scientifique, division Polluants atmosphériques et techniques de l'environnement, Empa



STEFAN REIMANN

Chef du groupe Gaz climatiques, division Polluants atmosphériques et techniques de l'environnement, Empa



LUKAS EMMENEGGER

Chef de la division Polluants atmosphériques et techniques de l'environnement, Empa



Camp « EPICA » (dôme C Antarctique). La grande tente à droite abrite le site de forage; les carottes de glace sont ensuite traitées dans le container situé à gauche. © EPICA

UN REGARD SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DU PASSÉ, UNE RÉFÉRENCE POUR L'AVENIR

Discipline relativement récente, la recherche sur les carottes de glace polaire a redéfini notre compréhension du système climatique et de sa variabilité. Le premier carottage en profondeur a eu lieu au Groenland en 1966. Deux ans plus tard, un forage est réalisé à la station « Byrd », dans l'Antarctique. L'Université de Berne, qui joue un rôle prépondérant dans le domaine, possède encore des échantillons de cette carotte de glace.

Les carottes de glace fournissent des informations très détaillées non seulement sur les températures, mais aussi sur la composition atmosphérique des époques antérieures. Les petites bulles d'air prisonnières sont une archive unique, qui permet de reconstituer la concentration des trois gaz à effet de

serre – dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4) et protoxyde d'azote (N_2O) – à travers le temps. Toutes les connaissances sur ces gaz avant les mesures directes de l'atmosphère découlent de la recherche sur les carottes de glace polaire. Une grande partie de ces mesures ont été effectuées par le département de physique climatique et environnementale (CEP), fondé par Hans Oeschger, à l'institut de physique de l'Université de Berne.

Depuis les années 1960 et dans le cadre de consortiums de recherche internationaux, la Suisse participe à des carottages au Groenland et en Antarctique. Les forages au Groenland ont fait état d'épisodes de réchauffement très rapides (10–15°C en quelques décennies à peine) durant la dernière période glaciaire, qui se sont aussi traduits par une rapide augmentation de la concentration de CH_4 . Les récents travaux ont montré que la dernière période interglaciaire au Groenland avait été plus chaude de 4°C au moins par rapport à aujourd'hui.

Le projet EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) est l'exemple le plus marquant de la recherche sur les carottes de glace en Antarctique.

Mis en œuvre par neuf pays européens et la Suisse, il a reçu en 2007 le prix « René Descartes » pour la recherche coopérative transnationale, décerné par l'Union européenne. EPICA a effectué deux forages sur le plateau de l'Antarctique oriental. Le premier, dans le secteur atlantique, a fourni de précieuses informations sur l'interaction du climat des hémisphères nord et sud. Le deuxième, dans le secteur de l'Océan indien, a permis de récolter sur la plus longue carotte de glace jamais prélevée des données qui couvrent 800'000 ans. Les études menées conjointement par les Universités de Berne et Grenoble à partir de cet échantillon montrent que la concentration de CO₂ durant les périodes interglaciaires précédant l'industrialisation a toujours été inférieure de 25 % aux niveaux actuels, amplifiés par la déforestation et l'utilisation de combustibles fossiles.

Ces dernières années, les travaux du CEP ont aussi porté sur la composition isotopique des gaz à effet de serre et ont fourni des informations sur les sources et les processus d'échange qui influencent les concentrations de gaz. Le CEP a par ailleurs analysé les changements dans des traceurs chimiques d'aérosols à haute résolution et obtenu ainsi des renseignements sur les conditions environnementales loin du site de forage (étendue de la glace de mer, circulation atmosphérique, aridité des déserts). Toutes ces données servent de références pour les modèles climatiques et biogéochimiques du CEP, améliorent la représentation des processus climatiques et permettent de préciser les prédictions pour l'avenir.

Nombre d'autres enseignements peuvent encore être tirés des carottes de glace. La communauté internationale a des projets passionnants en vue, dans lesquels des climatologues suisses jouent un rôle de premier plan. L'objectif le plus important est de prélever dans l'Antarctique une carotte de glace qui remonte à 1,5 million d'années. A cette époque, les périodes glaciaires et chaudes alternaient tous les 40'000 ans. Depuis les 800'000 dernières années, les périodes de réchauffement ne sont apparues que tous les 100'000 ans. Les principales zones pour des études de reconnaissance en vue d'un tel forage ont été identifiées et celui-ci devrait débuter d'ici à la fin de la décennie. Les scientifiques espèrent que l'échantillon apportera un nouvel éclairage sur des questions fondamentales concernant le fonctionnement du système terrestre et sa réaction aux changements dans le passé. De telles connaissances sont aussi déterminantes pour pouvoir évaluer les réactions de l'environnement aux perturbations actuelles provoquées par les activités humaines.

INDICATEURS

RÉGION/PAYS : Groenland, Antarctique

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA)

BUDGET : environ 35'000'000 EUR

CONTRIBUTION SUISSE : 3'300'000 CHF

DURÉE DU PROJET : 1995–2008

PARTENARIAT : Université libre de Bruxelles (B), Københavns Universitet (DK), LGGE Grenoble/LSCE Saclay/Institut Polaire Paul Emile Victor (F), Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (D), ENEA-Progetto Antardide/Università degli Studi di Milano Bicocca (I), Utrecht Universiteit (NL), Norsk Polarinstitut (N), Stockholm Universitet (S), British Antarctic Survey (UK)



Tête de forage avec carotte de glace de 10 cm de diamètre prélevée au dôme C, en Antarctique. © Jakob Schwander, Universität Bern



HUBERTUS FISCHER

Professeur, Département de physique climatique et environnementale, Institut de physique, Université de Berne, président de la Commission suisse pour la recherche polaire et de haute altitude (CSPH) des Académies suisses des sciences



THOMAS STOCKER

Professeur, Département de physique climatique et environnementale, Institut de physique, Université de Berne, co-président du groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour l'élaboration du Cinquième rapport d'évaluation



Récupération d'un carottier à boîte à bord du « Marion Dufresne », navire de recherche français, au sud des îles Kerguelen dans le secteur indien de l'océan Austral. © Alain Mazaud, CEA, Gif-sur-Yvette F

RECONSTITUER LA CIRCULATION OCÉANIQUE ET LE SYSTÈME CLIMATIQUE POUR MIEUX COMPRENDRE LEUR ÉVOLUTION

Sur la base des archives climatiques naturelles, des chercheurs suisses reconstituent l'évolution spatiale et temporelle des masses d'eau océaniques et étudient leur interaction avec le climat à des échelles temporelles allant de l'année au million d'années. L'objectif est de mieux comprendre le système climatique et la circulation océanique afin d'améliorer l'évaluation des futurs développements à ce niveau.

Des bulles d'air dans la glace antarctique montrent qu'au cours des 800'000 dernières années, la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère pendant les glaciations était inférieure d'un tiers par rapport aux périodes interglaciaires (voir aussi page 18). Ces variations de la concentration en CO_2 , un gaz à effet de serre, ont considé-

ablement renforcé l'amplitude des changements climatiques entre glaciations et périodes interglaciaires. Plus de 90% de la totalité du carbone présent dans l'atmosphère, la biosphère terrestre et l'océan est stocké par l'océan. Dès lors, les modifications du cycle marin du carbone ont très probablement joué un rôle décisif pour les fluctuations du taux de CO_2 atmosphérique et par conséquent pour les variations climatiques du dernier million d'années.

Il est vraisemblable que différents processus se soient conjugués pour réduire le taux de CO_2 dans l'atmosphère pendant les glaciations. Les données disponibles indiquent notamment une réduction des volumes d'eau et de carbone échangés entre les grandes profondeurs et l'atmosphère. L'océan Austral, qui entoure l'Antarctique, joue un rôle clé pour les échanges entre ces deux réservoirs. La circulation à grande échelle fait remonter de l'eau depuis les profondeurs océaniques alors que de l'eau de surface froide et riche en sel s'enfonce en raison de sa densité supérieure. En d'autres termes, l'océan Austral peut être comparé à une grande fenêtre ouverte entre l'atmosphère et les immenses volumes des grandes profondeurs.

Des chercheurs suisses de l'université de Berne et de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) étudient ces fenêtres polaires (voir aussi page 26) et d'autres processus importants pour le climat, comme les modifications de l'approvisionnement en nutriments des écosystèmes marins, la disponibilité de l'oxygène dans les abysses et la rétroaction de ce processus et d'autres mécanismes similaires avec les gaz à effets de serre présents dans l'atmosphère ainsi qu'avec le climat. A cette fin, ils combinent les informations issues de l'analyse de sédiments marins et terrestres avec des simulations numériques du système climatique.

Les dépôts sur les fonds océaniques semblent indiquer que les débuts de glaciation se caractérisent par une moindre quantité de carbone transférée depuis les écosystèmes proches de la surface vers les sédiments des océans polaires – et notamment des zones subpolaires du Pacifique et des mers avoisinantes. A la même époque, la concentration en CO₂ a diminué. Pendant les ères glaciaires, l'augmentation de la surface de la banquise ainsi que la réduction du volume d'eau brassée dans la partie méridionale de l'océan Austral ont fait croître la quantité de CO₂ stocké dans les profondeurs de l'océan. En parallèle, l'atmosphère au-dessus de la terre ferme s'est asséchée et chargée en poussières, d'où un plus grand apport de fer dans l'océan au nord du front polaire antarctique. Or, le fer est nécessaire à la transformation du carbone en biomasse par le phytoplancton. La combinaison des deux phénomènes a donc diminué la concentration de carbone dans l'atmosphère, provoquant un refroidissement et un assèchement du climat au niveau planétaire.

Les connaissances concernant les processus de transition vers les périodes interglaciaires sont encore lacunaires. Les résultats scientifiques disponibles montrent que les remontées des nutriments depuis les zones profondes de l'océan Austral ont augmenté à la fin des glaciations. En parallèle, la concentration en CO₂ atmosphérique a connu une forte hausse. Il est possible que cela soit dû à un déplacement vers le sud des vents d'ouest dominants à mesure que l'hémisphère sud se réchauffait. Ce déplacement des courants atmosphériques pourrait expliquer la quantité accrue de nutriments et de carbone parvenant à la surface de l'océan. Des modèles climatiques montrent cependant que ce phénomène n'explique qu'une partie négligeable de l'augmentation du taux de CO₂ à la fin de la glaciation. Il est plus probable que le facteur décisif pour le transport de CO₂ depuis l'océan vers l'atmosphère ait été un changement du régime de brassage dans les profondeurs de l'océan en périphérie de l'Antarctique, lié peut-être au recul de la banquise.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Antarctique

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)

« SeaO2 – Past changes in Southern Ocean overturning circulation – implications for the partitioning of carbon and oxygen between the ocean and the atmosphere » (Modifications passées de la circulation de renversement méridionale et leurs implications sur la distribution du carbone et de l'oxygène entre l'océan et l'atmosphère)

« MICLIM – High resolution reconstructions of climate variability in the sub-Antarctic during the last two millennia » (Reconstitution à haute résolution de la variabilité du climat dans la zone subantarctique au cours des deux derniers millénaires)

BUDGET : environ 2'000'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : environ 2'000'000 CHF

DURÉE DU PROJET : 2012–2016

PARTENARIAT : Princeton University (USA), McGill University (CA), British Antarctic Survey (UK), LSCE Paris F, Université de Gand (B)

Les dépôts de sédiments provenant de lacs d'îles isolées dans l'océan Austral, situées au milieu de la zone des vents d'ouest dominants, sont des sources d'informations uniques sur l'évolution des régimes éoliens. Ils permettent de suivre l'évolution de la ceinture des vents d'ouest et de mieux cerner ses frontières. A cet égard, les fluctuations de la salinité, dont les traces peuvent être détectées dans des diatomées d'eau douce, donnent des indications importantes sur l'évolution de la force et de la direction du vent pendant le réchauffement.

SAMUEL JACCARD

Professeur, Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique et Institut de géologie, Université de Berne

NICOLAS GRUBER

Professeur de physique de l'environnement, Institut de biogéochimie et de dynamique des polluants, EPF Zurich

KRISTYNA SAUNDERS

Docteure en géographie, Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique et Institut géographique, Université de Berne

FORTUNAT JOOS

Professeur, Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique et Institut de physique, Université de Berne



Base antarctique uruguayenne « Artigas » sur l'île du Roi-George, lors d'une expédition avec participation suisse (janvier 2014).
© Christian Schlüchter

RETRACER L'HISTOIRE DE LA CALOTTE POLAIRE ANTARCTIQUE : DES CONNAISSANCES CRUCIALES POUR L'AVENIR

L'Antarctique est un laboratoire naturel unique pour l'étude des processus géologiques dans les hautes latitudes. Comme la taille et les mouvements de l'inlandsis antarctique - le plus grand du monde - dépendent du niveau de la mer, de la circulation océanique et du climat, l'Antarctique fait figure d'archives contenant des informations sur les changements climatiques de ces dix derniers millions d'années ainsi que sur les glaciations et les périodes interglaciaires. La compilation d'une chronologie des glaciations est par conséquent une contribution décisive de la recherche sur l'Antarctique à la compréhension de l'évolution du climat mondial.

Pour comprendre l'inlandsis antarctique, il faut disposer de cartes. Ces cartes sont établies sur la base, d'une part, de photographies aériennes et, d'autre part, d'études détaillées et à large échelle de la nature du sol dans les régions libres de glace, appelées « oasis antarctiques ». Au nombre de ces oasis, on trouve notamment les vallées sèches de l'Antarctique orientale (Terre Victoria), autrefois recouvertes de glaciers, qui sont aujourd'hui libres de glace et de neige en raison de l'extrême faiblesse des précipitations, ainsi que la péninsule Antarctique, dans le prolongement de l'Amérique du Sud, seule région de l'Antarctique à s'étendre au nord du cercle polaire antarctique, ou encore la chaîne Transantarctique, qui traverse le continent de part en part et dont certains sommets sont également libres de glace. Dans ces régions clés, la plus grande partie des moraines et du réseau de glaciers de montagne ont été cartographiés.

En collaboration avec des instituts de recherche polaire en Italie, en Nouvelle-Zélande, aux Etats-Unis et en Uruguay, l'Institut de géologie de l'Université de Berne étudie l'évolution de l'épaisseur maximale de la couche de glace sur des millions d'années,

notamment dans la chaîne Transantarctique. Ce travail consiste à analyser ce que l'on appelle les « trimlines » (limites d'abrasion) et à les cartographier. Ces « trimlines » correspondent à la hauteur maximale de la glace au cours d'une période donnée, car les glaciers laissent ce type de traces des deux côtés des vallées. Les limites d'abrasion sont clairement visibles, la couleur de la roche et la structure de sa surface étant différentes en dessous et au-dessus d'elles. Les cartes générées à partir de ces données montrent ainsi l'évolution du volume des glaces antarctiques sur des millions d'années.

Cependant, pour comprendre véritablement la genèse et l'histoire de la calotte polaire antarctique, une datation quantitative est nécessaire. Les études de terrain sont donc complétées par des analyses de datation par isotopes cosmogéniques (datation de l'exposition des surfaces) visant à déterminer l'âge des mouvements des glaciers. Cette méthode consiste à évaluer le temps pendant lequel une surface rocheuse mise à nu par le retrait d'un glacier a été exposée au rayonnement cosmique.

Pour cela, on mesure la concentration en nucléides radioactifs cosmogéniques – produits par l'interaction du rayonnement cosmique avec les noyaux atomiques – dans les roches de surface. Ces particules ont une telle énergie qu'elles parviennent à traverser les premiers mètres de roche à la surface de la terre et à y former des éléments et des types d'atomes qui ne sont pas présents dans la roche en temps normal (isotopes). La concentration en nucléides cosmogéniques dans une roche augmente en fonction de son âge et de la durée de son exposition au rayonnement cosmique.

Les nucléides cosmogéniques des échantillons de roches antarctiques sont analysés au laboratoire de spectrométrie de masse par accélération et au laboratoire des gaz nobles de l'Institut de géochimie et pétrologie de l'EPF de Zurich, en collaboration étroite avec l'Institut de géologie de l'Université de Berne et la participation d'autres scientifiques suisses ou étrangers. On a ainsi découvert que l'âge de certaines zones libres de glace en Antarctique dépasse 10 millions d'années et que la formation des nombreuses moraines est due à des avancées répétées de glaciers dit « froids » (dont la température interne est très nettement inférieure à zéro degré). La datation par isotopes cosmogéniques est cruciale pour comprendre l'évolution de l'inlandsis antarctique au cours des derniers millions d'années, car aucune autre méthode ne permet de remonter aussi loin dans le passé.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Antarctique

PLUSIEURS PROJETS, DONT :

Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)

«Glacial chronologies in high and mid latitudes: geological field and cosmogenic multi nuclide analysis»

(Datation de la glace à des latitudes hautes et moyennes: analyse géologique et analyse des nucléides cosmogéniques)

BUDGET : environ 450'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : environ 300'000 CHF

LANCEMENT DU PROJET : 2008

PARTENARIAT : Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (D), Finnish Meteorological Institute (FI), Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (F), University of Washington (USA)



© Giulia Marthaler

RAINER WIELER

Professeur en géochimie des isotopes, EPF Zurich



SUSAN IVY-OCHS

Docteur en physique des particules / physique des faisceaux d'ions, EPF Zurich



CHRISTIAN SCHLÜCHTER

Professeur à l'Institut de géologie et Centre Hans Oeschger pour la recherche climatique, Université de Berne



Bois flotté en Islande. © Willy Tegel, Université de Freiburg (D)

LE BOIS FLOTTÉ DE L'ARCTIQUE, MÉMOIRE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Les anneaux de croissance des arbres constituent une mémoire unique de l'évolution de l'environnement. Ils renferment des informations sur les conditions de croissance des arbres durant chaque période de végétation. L'analyse des cernes des arbres dans les lieux aux conditions extrêmes permet de reconstituer le climat du passé. Comme les cernes sont clairement délimités, il est possible de déterminer précisément l'âge de l'arbre. Ainsi, le bois flotté, le bois mort, les essences forestières disparues ou le bois de bâtiments historiques, de tableaux ou de découvertes archéologiques peuvent être datés à l'année près. Pour cela, on compare le bois trouvé avec des échantillons de cernes déjà datés et des chronologies de référence.

Le bois flotté de l'Arctique provient des forêts sibériennes et nord-américaines. Charrié par les rivières jusque dans l'océan Arctique, pris dans les glaces, il a flotté, porté par les courants, et a fini par se déposer sur les côtes dépourvues de glace des îles arctiques (Groenland, Spitzberg ou Islande). Ce bois renferme des informations uniques à la jonction des écosystèmes terrestre et aquatique. Idéalement, on peut déterminer non seulement l'âge exact et l'origine du bois flotté, mais également reconstituer l'évolution des courants et de l'étendue de la banquise dans l'océan arctique.

Ce bois flotté est l'objet d'étude du groupe de recherche Dendroécologie de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), basé à Birmensdorf. Les études sur la structure et le temps de croissance (examen de l'anatomie du bois et dendrochronologie) ont montré que le bois flotté provenait principalement de pins (39%), de mélèzes (26%) et d'épicéas (18%), qui prédominent dans la forêt boréale, la zone de végétation la plus septentrionale de l'hémisphère nord.

Dans le cas des pins, il s'agit de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) qui peuvent donc être clairement

rattachés au continent eurasién. A 90%, ils proviennent du bassin versant du lenisseï, un fleuve de Sibérie centrale, où les forêts de pins sont prédominantes. C'est ce qu'ont montré les mesures de la largeur des cernes annuels et la comparaison avec les courbes de croissance de la même espèce d'arbres (chronologies de référence) présents sur les bords du lenisseï. Le bassin versant du lenisseï, l'un des plus longs fleuves du monde, était le centre sibérien de l'industrie forestière et la principale voie d'acheminement du bois. Des années 1920 au milieu des années 1970, les quantités de bois abattu dans la région ont atteint des niveaux record.

Les études du bois flotté montrent que plus de la moitié des pins ont été abattus: en effet, le bois échoué sur les plages présente des traces de coupe, contrairement au bois mort naturellement. Le bois de pin peut donc être considéré comme un déchet de l'industrie forestière sibérienne, dont les débuts remontent au XIX^e siècle. Avec l'industrialisation, les besoins de bois ont augmenté, parallèlement au transport et à l'exportation. La méthode la plus utilisée était l'acheminement du bois par flottage sur les grands fleuves, même si au début, ce mode de transport occasionnait jusqu'à 50% de pertes. A la fin des années 1970, les pertes étaient inférieures à 1%. Depuis le milieu des années 1980, le transport du bois par flottage s'est marginalisé.

La recherche sur le bois flotté menée par le WSL a trois objectifs à long terme : premièrement, elle entend constituer la plus grande banque de données au monde sur le bois flotté arctique, qui précisera l'espèce sur la base des caractéristiques anatomiques du bois (structure et croissance). Cette banque de données sera accessible en ligne à des scientifiques du monde entier et complètera la banque de données internationale sur les cernes d'arbres (*International Tree-Ring Data Base, ITRDB*).

Deuxièmement, on pourra dater les échantillons de bois à l'année près et déterminer leur provenance grâce à des analyses statistiques comparatives avec des chronologies constituées à l'aide de l'étude des anneaux de croissance d'arbres des forêts boréales eurasiennes et nord-américaines.

Troisièmement, l'étude des caractéristiques d'échantillons de bois flotté d'époques et de provenance géographique différentes permettra de reconstituer à long terme les variations des courants océaniques et de l'étendue de la banquise. Ainsi, grâce à une meilleure compréhension des processus du passé, nous serons à même de mieux évaluer les réactions aux changements climatiques d'un écosystème extrêmement sensible, l'Arctique.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Groenland, Sibérie

NOM DU PROJET : Projet sur le bois flotté dans l'Arctique

BUDGET : 300'000 CHF

CONTRIBUTION SUISSE : 200'000 CHF

DURÉE DU PROJET : 2012–2015

PARTENARIAT : Institut für Forstwissenschaften IWW, Universität Freiburg, (D), V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoïarsk, (RU), Iceland Forest Service, Reykjavik (IS), Universität Johannes Gutenberg, Mainz (D), Institute of Plant and Animal Ecology UD RAS, Iékaterinbourg (RU), North-Eastern Federal University, Yakutsk (RU), Stolby National Wildlife Nature Reserve, Krasnoïarsk (RU), Siberian Federal University, Krasnoïarsk (RU), Department of Plant Pathology, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota (USA)



Relevé d'échantillons de bois flotté à l'aide d'une tronçonneuse, est du Groenland.
© Willy Tegel, Université de Freiburg (D)

LENA HELLMANN

Doctorante, groupe de recherche Dendroécologie de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf

ULF BÜNTGEN

PD Dr., directeur du groupe de recherche Dendroécologie de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf





Mise à l'eau, dans l'océan Austral avec le « Southern Surveyor », des instruments de mesure (température, salinité, pression, etc.) et des flacons pour l'analyse de l'eau. © Bethany Ellis, Juli 2013

LA FENÊTRE POLAIRE, OBJET DE TOUS LES REGARDS

Comparativement à leur taille, les océans polaires, et en particulier les immensités de l'océan Austral, jouent un rôle central dans le contrôle du cycle mondial du carbone et des nutriments ainsi que dans la répartition de la chaleur et de la production biologique primaire (production de biomasse par les plantes, les algues et les bactéries à l'aide de lumière ou d'énergie chimique). Ce sont également les océans polaires qui seront probablement les plus touchés par les variations climatiques et l'acidification.

L'importance des océans polaires réside dans leur fonction de « fenêtre vers les abysses ». En effet, le brassage des eaux profondes froides, riches en carbone et en nutriments, et des eaux de surface chaudes, où le carbone et les nutriments sont consommés, n'est possible que dans ces régions. Non seulement cette fenêtre polaire explique les variations de la concentration de dioxyde de car-

bone (CO_2) dans l'atmosphère entre les glaciations et les périodes interglaciaires, mais elle permet également de comprendre le mécanisme par lequel le CO_2 produit par l'activité humaine et la chaleur excédentaire sont absorbés par les océans.

Le rôle essentiel de la fenêtre polaire explique l'intérêt que lui accorde la recherche suisse en biogéochimie, qui étudie les cycles du carbone et d'autres éléments importants. Les scientifiques suisses, en particulier de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) et de l'Université de Berne ont apporté une contribution décisive à la compréhension de la fenêtre polaire. Grâce à leurs observations et à leurs modèles informatiques, il a notamment été possible de déterminer la manière dont les océans polaires emmagasinent le CO_2 et la chaleur, ou encore l'influence de la biologie marine sur la fenêtre polaire de l'océan Austral.

Les chercheurs suisses ont développé des modèles informatiques à haute résolution pour simuler l'influence du vent, des tourbillons océaniques et des variations des flux nets d'eau douce sur la production biologique primaire de l'océan ainsi que les ef-

fets de ces facteurs sur les flux nets de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan. Des modèles informatiques combinés avec des observations ont également été utilisés pour déterminer l'acidification passée et présente de l'océan, ainsi que pour formuler des prévisions sur son évolution. Il s'agit par exemple de déterminer combien d'émissions de CO₂ la planète peut encore supporter sans que l'acidification des océans polaires ne devienne excessive et sans contrevenir aux objectifs de protection du climat.

Les données les plus récentes sur la concentration de CO₂ dans l'océan servent de base à des estimations sur l'absorption et le stockage de CO₂ anthropogène dans les océans polaires. Les résultats obtenus montrent que les zones de l'océan Austral situées au sud du 30^e parallèle ont absorbé presque la moitié de ce CO₂, alors qu'elles ne totalisent qu'environ 30 % de la superficie des océans de la planète. Ces dix dernières années, il semble que la quantité de CO₂ emmagasinée ait augmenté plus fortement que ce qu'on prévoyait sur la base de la hausse de la teneur de CO₂ dans l'atmosphère. Cela pourrait être dû au déplacement vers le sud des vents forts de secteur ouest et aux effets de ce phénomène sur la circulation des eaux de l'océan Austral. Le nombre croissant de mesures du taux de CO₂ à la surface de l'océan permet également d'étudier le lien entre la quantité de CO₂ dissous dans l'océan et les échanges de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan. Les dernières analyses indiquent que l'absorption de CO₂ a connu une progression particulièrement forte après l'an 2000.

Si le climat profite de cette absorption accrue de CO₂ par l'océan, celle-ci diminue le pH des océans polaires ainsi que leur saturation en carbonate de calcium (CaCO₃), processus communément qualifié d'acidification. Selon les études les plus récentes, l'océan Arctique souffrira très prochainement d'une sous-saturation généralisée en carbonate de calcium. Dans quelques décennies déjà, l'océan Austral sera lui aussi touché. L'acidification et la sous-saturation en carbonate de calcium qu'elle entraîne sont une cause de stress pour les organismes marins concernés et peuvent nuire à l'écosystème dans son ensemble.

En revanche, l'analyse d'observations et les modèles informatiques indiquent que les derniers changements climatiques en Antarctique n'ont eu qu'un effet marginal sur la production biologique primaire de l'océan Austral. Cependant, la fonte persistante des glaces de l'Arctique a entraîné une croissance d'algues à des endroits où ces microorganismes n'étaient pas présents antérieurement.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Antarctique

DIFFÉRENTS PROJETS, DONT :

Projets du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)
SOGate, « Phytoplankton ecosystem control of the Southern Ocean biogeochemical gate » (Contrôle de l'écosystème phytoplanctonique de la barrière biogéochimique de l'océan Austral)

Projet Ambizione « Anthropogenic carbon and heat intake by the Southern Ocean » (Absorption de carbone anthropogène et de chaleur par l'océan Austral)

Septième Programme-cadre de recherche de l'UE (PC)

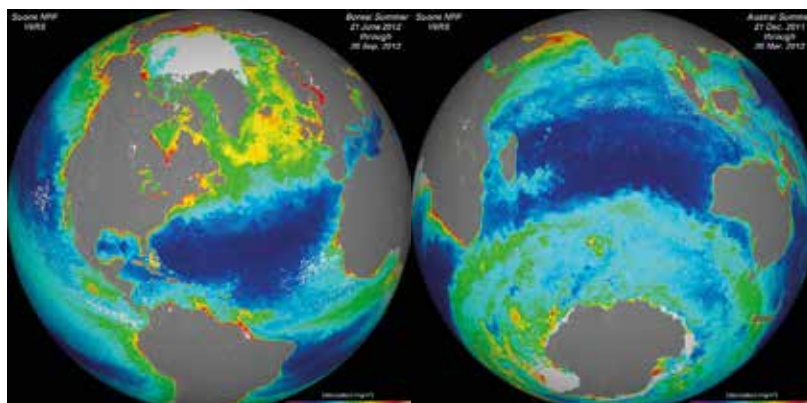
CarboChange, Geocarbon, PAST4FUTURE

BUDGET : environ 500'000 CHF par an

CONTRIBUTION SUISSE : environ 300'000 CHF par an

LANCEMENT DU PROJET : 2009

PARTENARIAT : Princeton University (USA), Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (D), University of East Anglia (UK), Universitetet i Bergen (N)



Concentration de chlorophylle océanique : La concentration de chlorophylle dans l'Arctique et l'Antarctique au cours des mois correspondant à leur été respectif. Les nuances de bleu correspondent à des concentrations faibles, les nuances de jaune à des concentrations moyennes et les nuances de rouge à des concentrations élevées. © NASA/Suomi NPP/Norman Kuring

NICOLAS GRUBER

Professeur en physique de l'environnement,
Institut de biogéochimie et de
dynamique des polluants, EPF Zurich

THOMAS FRÖLICHER

Docteur en physique de l'environnement,
Institut de biogéochimie et de
dynamique des polluants, EPF Zurich

FORTUNAT JOOS

Professeur, Centre Hans Oeschger pour la
recherche climatique, Université de Berne

SAMUEL JACCARD

Professeur, Centre Hans Oeschger
pour la recherche climatique et Institut
de géologie, Université de Berne



Icebergs tabulaires au nord de la péninsule Antarctique.
© KEYSTONE/LAIF/Andre Schumacher/laif

LA BIOLOGIE DE L'OcéAN AUSTRAL – COMPRENDRE LA BIODIVERSITÉ ET L'ÉCOSYSTÈME

Lorsqu'on entend « biodiversité en Antarctique », on pense spontanément aux manchots et aux phoques. Pourtant, ce sont des organismes marins microscopiques, souvent invisibles à l'œil nu, qui constituent le véritable trésor en la matière. Ces micro-organismes jouent un rôle important pour le climat et la biodiversité ainsi que pour la reconstitution de l'histoire du climat. Des chercheurs de l'Université de Genève y consacrent plusieurs projets.

L'un d'entre eux porte sur le phytoplancton, des algues microscopiques flottant dans l'eau. Ces algues apportent une contribution majeure à l'absorption de carbone atmosphérique par l'océan et à son transfert vers les profondeurs. Elles transforment le carbone en composés organiques et assument une fonction essentielle pour l'écosystème puisqu'elles sont à la base de la chaîne alimentaire.

Dans ce processus, l'océan Austral joue un rôle clé. En effet, le phytoplancton a besoin de fer pour croître et pour transformer le carbone. Or, le fer est rare dans les eaux qui entourent l'Antarctique. Des études sur le terrain et des analyses en laboratoire se penchent sur les processus de transformation et en particulier sur les interactions entre la concentration en fer et la présence de phytoplancton. Afin d'obtenir une vue d'ensemble sur les effets du « manque » de fer, les scientifiques étudient également d'autres micro-organismes dont le métabolisme est tributaire du fer. Ils se penchent ainsi sur les interactions entre les bactéries et le zooplancton, lui aussi un élément important de l'écosystème puisqu'il sert de nourriture aux poissons et à un grand nombre d'autres espèces marines. Les chercheurs de l'Université de Genève se concentrent en particulier sur l'influence des sucres (polysaccharides) et des composés organiques excrétés par les organismes sur la disponibilité du fer pour la fixation du carbone.

Ces études permettent d'acquérir de nouvelles connaissances sur l'interaction entre le cycle du fer et celui du carbone à la surface de l'océan, et

notamment sur son effet sur le développement du phytoplancton, la biodiversité et l'absorption par les organismes marins du gaz à effet de serre qu'est le CO₂. Elles contribuent également à une meilleure compréhension de l'écosystème de l'océan Austral et facilitent l'évaluation de sa vulnérabilité aux changements climatiques. Les résultats de ces études présentent un intérêt pour différents programmes, réseaux et groupes de travail internationaux. Ils sont utilisés notamment pour développer la modélisation de l'écosystème de l'océan Austral. Cet aspect est d'autant plus important que ces modèles sont aujourd'hui le seul moyen de faire des prévisions.

Un autre projet de l'Université de Genève examine les foraminifères, des organismes unicellulaires qui produisent des coquilles de carbonate de calcium. Les chercheurs ont développé des méthodes génétiques pour identifier les foraminifères et les classer. De nombreux nouveaux genres et espèces ont ainsi été découverts dans l'océan Austral. Des centaines de foraminifères de l'Antarctique ont pu être répartis en classes et sous-classes selon des critères uniformes. Le Comité scientifique pour la recherche antarctique a publié les résultats obtenus avec la participation de la Suisse dans l'« *Atlas biogéographique de l'Océan Austral* », qui présente la répartition actuelle et l'évolution sur des temps géologiques de la présence de micro- et de macro-organismes autour de l'Antarctique, ainsi que leur interaction avec l'environnement.

L'étude des foraminifères permet notamment de mieux évaluer l'influence du tourisme sur l'écosystème de l'Antarctique. Les scientifiques suisses participent à l'observation internationale des côtes de l'Antarctique, où accostent chaque année des centaines de bateaux touristiques. Les migrations des foraminifères entre le sud de la Patagonie et la péninsule Antarctique retiennent également l'attention des scientifiques. Les résultats obtenus dans ce domaine montrent que les eaux de l'Antarctique sont peuplées principalement d'espèces locales, qui se distinguent de leurs cousins sud-américains sur le plan génétique. Cependant, certaines espèces découvertes ne présentent pas de telles différences génétiques. La question de savoir si ces espèces ont été introduites par des bateaux ou si elles sont arrivées par des moyens naturels dans l'Antarctique est aujourd'hui encore ouverte.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Antarctique/océan Austral

NOM DES PROJETS : « Novel technologies to reveal the impacts of nutrients limitation in aquatic systems: from biodiversity to biogeochemical cycles » (Révéler l'impact des carences en nutriments sur les systèmes aquatiques à l'aide de technologies novatrices : de la biodiversité aux cycles biogéochimiques)

« Molecular diversity and evolution of Antarctic foraminifera »

(Diversité moléculaire et évolution des foraminifères de l'Antarctique)

BUDGET : 1'600'000 CHF et environ 5'000'000 USD

CONTRIBUTION SUISSE : 1'600'000 CHF et environ 500'000 CHF

FINANCEMENT : Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)

DURÉE DU PROJET : 2012–2016 et 1998–2015

PARTENARIAT : US Antarctic Program (USA), Académie polonaise des sciences (PL), British Antarctic Survey (UK), Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (D)



Foraminifères d'eau peu profonde (*Globocassidulina* sp) dans le détroit de McMurdo.

© Jan Pawlowski



CHRISTEL S. HASSLER

Professeure boursière du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), cheffe du groupe Biogéographie marine et lacustre, Institut F.-A. Forel, Université de Genève



JAN PAWLOWSKI

Professeur extraordinaire, Département de génétique et évolution, Université de Genève



Champ d'expérimentation ITEX dans le Val Bercla, Mulegns, GR
© Christian Rixen

LA SUISSE PARTICIPE À L'EXPÉRIENCE INTERNATIONALE SUR LA TOUNDRA (ITEX)

L'International Tundra Experiment (ITEX) est un réseau scientifique d'expérimentations visant à étudier l'influence du changement climatique sur une sélection de plantes dans des zones circum-polaires, dans la toundra et dans la région alpine. Des équipes de chercheurs réalisent ainsi des observations de terrain sur plus de quarante sites dans le monde. Depuis de nombreuses années, ils influencent la croissance des plantes par des expériences comparables simulant le réchauffement climatique afin de comprendre l'effet des variations climatiques sur les plantes, et notamment sur leur développement.

Ce projet de recherche combine des expériences à court et à long terme avec des observations sur le terrain. Il s'agit d'une méthode simple permettant d'étudier la réaction des écosystèmes aux change-

ments de température et de déterminer leur degré de vulnérabilité. L'objectif est d'étudier sur une longue période l'influence des variations de température sur les différentes espèces végétales en couvrant la zone géographique la plus vaste possible avec un équipement et des moyens techniques limités au minimum.

L'étendue des études de terrain menées sur chaque site dépend de l'intérêt spécifique des chercheurs et des moyens financiers disponibles. Quelle que soit leur forme, les observations visent néanmoins à étudier le même phénomène dans chaque champ d'expérimentation ITEX: le réchauffement. La plupart des équipes de chercheurs utilisent à cette fin des chambres passives à ciel ouvert pour accroître la température ambiante. Ce réchauffement a des incidences sur le développement des plantes et peut notamment se répercuter sur leur croissance, le début de leur floraison, leur frondaison ou la coloration de leurs feuilles.

Un protocole prédéfini précise les données devant être collectées lors des observations sur le terrain ainsi que la procédure standardisée applicable en la matière. Au sein du réseau ITEX, les données

peuvent néanmoins être combinées et exploitées de manières différentes. Il est par exemple possible de comparer différents écosystèmes entre eux ou de suivre leur développement sur le long terme.

Les résultats obtenus dans les surfaces de contrôle de tous les sites étudiés montrent que le taux de croissance et la diversité des formations végétales correspondent largement aux prévisions formulées dans le cadre des expériences sur le réchauffement. Des comparaisons entre différentes études de terrain ont démontré que les arbustes – surtout ceux aux feuilles caduques – se sont étendus de manière particulièrement marquée dans les endroits qui se réchauffaient rapidement, mais seulement là où régnaient déjà à l'origine des températures plutôt élevées. Dans les régions les plus froides, la végétation n'a en revanche guère réagi au réchauffement.

La Suisse participe à l'analyse mondiale des données et gère un site sur son propre territoire. Elle détache en outre des chercheurs sur les sites ITEX d'autres Etats, par exemple dans le fjord Alexandra dans l'Arctique canadien. Le champ d'expérimentation ITEX en Suisse se trouve à Mulegns dans le Val Bercla, dans la région grisonne de Surses (Oberhalbstein), entre Tiefencastel et le col du Julier. Lancée en 1994, l'observation est assurée depuis 2009 par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) à Davos.

Dans le Val Bercla, la végétation alpine est composée de plantes pulviniformes (en coussinet), de saules nains, d'herbes et de laïches. Pour étudier l'impact du réchauffement sur le monde végétal, les scientifiques utilisent des chambres passives à ciel ouvert. Le SLF compare ainsi sur un même site les plantes « réchauffées » avec la nature « intacte ». Il a l'intention de poursuivre ses expériences dans le cadre d'ITEX, puisque tout laisse à penser que l'influence exercée par le réchauffement climatique sur la végétation alpine se maintiendra à l'avenir.

INDICATEURS

PAYS/RÉGION : Arctique, Suisse

NOM DU PROJET : Champ d'expérimentation ITEX en Suisse

LANCEMENT DU PROJET : 1994

PARTENARIAT: Universités et instituts, en particulier d'Australie, du Danemark, d'Allemagne, de Finlande, d'Islande, du Japon, du Canada, des Pays-Bas, de Norvège, de Russie, de Suède, des Etats-Unis et de Grande-Bretagne



Champ d'expérimentation ITEX dans le Fjord Alexandra dans l'Arctique canadien.
© Anne Bjorkman



CHRISTIAN RIXEN

Dr., WSL-Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF), Davos



ANTARCTIQUE

00° 00' 00" E

30° 00' 00" E

60° 00' 00" E

90° 00' 00" E

120° 00' 00" E

AUSTRAL

steinen Nunatak Station « Princess Elizabeth »

« EPICA »

Terre de la Reine-Maud

re de la Reine-Maud

Terre d'Enderby

ANTARCTIQUE
ORIENTAL

Plateau antarctique

Terre de Wilkes

« EPICA » dôme C

Déroit de
McMurdo

« Talos dôme »

Terre
Victoria

O C É A N I N D I E N

AUSTRAL

1,000 1,500 km

ception officielle par la Suisse

150° 00' 00" E

Sites de recherche



Station de recherche

Carottage de glace avec
participation suisse

IMPRESSUM

Edition :

Département fédéral des affaires étrangères (DFAE)

Direction politique DP

3003 Berne

www.dfae.admin.ch

Mise en page :

Communication visuelle DFAE, Berne

Photos de couverture:

« Swiss Camp » sur la calotte glacière du Groenland © Konrad Steffen

Manchots empereurs en Antarctique © KEYSTONE/CHROMORANGE/Peter Kirschner

Cartes :

Sources : Natural Earth, ESRI, CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)

Copyright: 2014 Natural Earth

Commandes :

Information DFAE

Tél. : +41 (0)58 463 31 53

Courriel : publikationen@eda.admin.ch

Contact spécialisé :

Division Politiques extérieures sectorielles

Tél. : +41 (0)58 465 14 26

Courriel : pd-asa@eda.admin.ch

Cette brochure est le fruit d'une collaboration étroite avec la Commission suisse pour la recherche polaire et de haute altitude (CSPH) des Académies suisses des sciences.

Cette publication est également disponible en allemand, italien et anglais et elle peut être téléchargée sous www.dfae.admin.ch/publications

Berne, 2015

