

les SAVANTURIERS²³

FÉVRIER 2018



EAU ET LA GLACE
mémoires
DU TEMPS



**UN
POSTER**
À TÉLÉCHARGER
ET DÉCOUVRIR
EN VERSION ANIMÉE

DES INTERVIEWS

à retrouver sur **cea.fr**



LE CYCLE DE L'EAU

La circulation de l'eau se déroule en plusieurs étapes.

Précipitation : lorsque les gouttes deviennent trop lourdes, l'eau des nuages retombe sur Terre, sous forme de pluie ou de neige.

Condensation :
dans l'atmosphère,
l'eau évaporée redevient
gouttes ou cristaux.

Évaporation au-dessus des océans,
des sols, des lacs et des rivières
et évapotranspiration sur les
continents pour former des nuages.

Et le cycle recommence :
évaporation, condensation,
précipitation, infiltration...

L'eau, dans ses différents états, suit un cycle continu : évaporation, condensation, précipitation, infiltration... qui recommence indéfiniment. En moyenne, 65 % de l'eau des pluies s'évaporent et 35 % restent sur Terre, pendant des périodes plus ou moins longues : quelques semaines dans l'atmosphère, des milliers d'années dans les océans et les glaciers, et jusqu'à des millions d'années dans les calottes glaciaires, au centre de l'Antarctique, par exemple.

H₂O, UNE MOLÉCULE ET SES ISOTOPES

Une molécule d'eau est composée de 2 atomes d'hydrogène et 1 atome d'oxygène : H_2O .

99,7 % des molécules d'eau de mer sont dites légères, constituées de l'isotope hydrogène. Le reste est de l'eau « lourde » qui contient les isotopes deutérium et tritium. Le tritium radioactif se forme naturellement dans la stratosphère. La proportion de deutérium et d'hydrogène varie lors des changements d'état de l'eau, comme l'évaporation et la condensation.

ISOTOPES : QUATIZIT ?

Ce sont des atomes qui possèdent le même nombre d'électrons et de protons (pour rester neutres électriquement) mais un nombre différent de neutrons. Les isotopes d'un même élément ont des propriétés chimiques identiques mais des propriétés physiques différentes (ils sont stables ou radioactifs, par exemple). L'hydrogène a trois isotopes : l'hydrogène a 1 neutron, le deutérium 2 et le tritium 3.



Infiltration et ruissellement : la pluie pénètre dans le sol jusqu'aux nappes souterraines ou ruisselle et fait grossir les rivières, fleuves... qui se jettent dans les océans. Aux pôles, la neige s'accumule et se transforme en glace.

PÉRIODE GLACIAIRE



PÉRIODE CHAUDE



Tout au long de son cycle, l'eau est entraînée par la circulation atmosphérique, des vents générés par la rotation de la Terre, de l'équateur aux hautes latitudes (pôles).



DÉCOUVREZ L'ANIMATION
ET LE POSTER TÉLÉCHARGEABLE
SUR coq.fr

Idem pour l'oxygène, qui compte 3 isotopes mesurables : ^{16}O , ^{17}O et ^{18}O .

QU'EST-CE QU'UN THERMOMÈTRE ISOTOPIQUE ?

Lorsque le phénomène de condensation se passe au sein des nuages, au point de donner lieu à des précipitations, les gouttelettes d'eau ou de neige contiennent plus de deutérium que l'eau restée sous forme de vapeur. Les masses d'air humide migrent des tropiques vers les pôles. En chemin,

elles se refroidissent et se condensent, puis précipitent. Aux pôles, ces précipitations s'accumulent sous forme de glace. Plus il fait froid, plus il y a de précipitations entre la région source d'évaporation et les pôles. Ces précipitations vont donc beaucoup s'appauvrir en isotopes lourds (deutérium et oxygène 18) sur leur chemin. Au contraire, pendant les périodes chaudes, la différence de température est moins importante entre la région source d'évaporation et les pôles. Par conséquent, les précipi-

tations sont moins appauvries en isotopes lourds quand elles atteignent les régions polaires.

Il existe donc une relation entre température et taux d'isotopes lourds présents dans les glaces ; c'est le principe du thermomètre isotopique. •



LEXIQUE

Évapotranspiration : transpiration de la végétation.
Stratosphère : deuxième couche de l'atmosphère terrestre, au-delà de 10 km d'altitude.



On cherche !

FOCUS SUR LES RÉGIONS POLAIRES

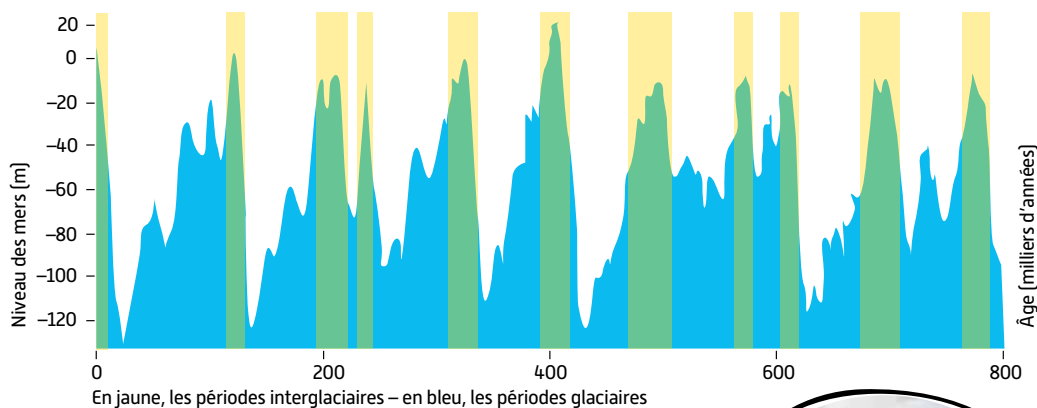
Dans les régions polaires, les précipitations (neige et glace) s'accumulent. Les couches les plus profondes sont donc les plus anciennes ! Il y a un équilibre de la calotte polaire entre les régions côtières, qui subissent la fonte des glaces et le détachement d'icebergs, et l'intérieur des calottes, où la glace est plus stable. Au final, l'épaisseur de glace au centre des calottes reste à peu près constante, environ 3 km. Pour comprendre les climats passés, les forages sont effectués sur les dômes, là où la glace est peu sensible à la dynamique d'écoulement vers les côtes.

Le navire de l'Institut Paul-Émile Victor assure les liaisons jusqu'en Antarctique.



LES MERS SOUS LA TOISE

L'oxygène 18 se retrouve aussi dans les océans. En utilisant les mesures isotopiques des foraminifères benthiques, les climatologues en déduisent le volume total des glaces et le niveau des océans. Ainsi, lors de la dernière période glaciaire, le niveau des mers était de 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui ; les hommes ont pu habiter la grotte Cosquer, dont l'entrée a depuis été immergée.



L'ÂGE DES CAROTTES

La mesure isotopique de certaines molécules (oxygène, argon, azote) de l'air piégé dans la glace permet de dater les carottes sur lesquelles vont travailler les chercheurs.

MÉTÉO GLAGLA DES DINOSAURES

Les climatologues analysent la composition isotopique de la glace des carottes, centimètre par centimètre, et cherchent ainsi à connaître la température des climats passés et à reconstituer l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires. Les molécules d'air emprisonnées dans les bulles retenues par les cristaux renseignent sur la composition atmosphérique du passé, notamment sur la concentration des gaz à effet de serre (CO_2 , méthane), gaz intimement liés à la température du globe.





800 000 ans

c'est l'âge de la plus vieille carotte
prélevée par la mission Epica
(European Project for
Ice Coring in Antarctica
1995-2004).

COMMENT NAÎT LA GLACE

Pour calibrer et interpréter de façon quantitative les analyses isotopiques, les chercheurs s'intéressent aussi aux couches superficielles. Là se mêlent la glace, la neige nouvellement tombée et celle « soufflée » par les vents, qui se remélange avant de se déposer.

ÉTABLIR LE BILAN DE MASSE

Comment réagit le continent Antarctique face au réchauffement climatique ? Avec un climat de plus en plus chaud, les chutes de neige peuvent-elles devenir plus importantes et compenser la fonte des glaces sur les côtes ? ●



**AMAËLLE
LANDAIS**

Chercheuse
et Directrice
de recherche

« Je ne suis pas
une vraie aventurière... »



QUELS SONT VOS OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ?

Avec mon équipe, nous analysons des carottes de glace, recueillies au Groenland et en Antarctique, afin de reconstruire les climats du passé, jusqu'à 800 000 ans ! Nous travaillons beaucoup sur les isotopes. Dans la glace pour déterminer température et dynamique du cycle hydrologique passées. Dans les bulles d'air pour dater les carottes, étudier le cycle de l'oxygène, et déduire les températures. Toutes ces informations sont complémentaires..

COMMENT SE RÉPARTIT VOTRE TRAVAIL ENTRE MISSION ET LABO ?

Je suis partie en Antarctique il y a plus de dix ans et je vais y retourner cette année. Entre-temps, j'ai supervisé de nombreuses missions de prélèvements, le rapatriement des échantillons, les analyses sur les phases glace et gaz, l'interprétation des données, la publication des résultats... Je passe aussi du temps à chercher des financements pour nos missions polaires. Je travaille avec des ingénieurs, des techniciens et des étudiants. Nous interagissons beaucoup avec les modélisateurs du laboratoire et leur apportons notre expertise. Grâce à nos mesures très précises de température, ils valident leurs modèles, puis les font tourner pour prévoir le climat de la prochaine centaine d'années.

QUELLE SERA VOTRE PROCHAINE MISSION ?

Je vais me rendre sur la base Concordia pour réaliser des mesures destinées à comprendre comment se forme la neige de surface. Ce sera aussi le démarrage d'un raid unique : en 30 jours, 1 700 km entre la station du dôme C et le pôle Sud ! Le long

FORMATION

BAC S

CLASSES PRÉPARATOIRES INTÉGRÉES ÉCOLE
NATIONALE SUPÉRIEURE DE CHIMIE DE RENNES

INGÉNIEUR PHYSIQUE À L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE
PHYSIQUE ET DE CHIMIE DE PARIS

THÈSE DE DOCTORAT "OCÉANOLOGIE,
MÉTÉOROLOGIE ET ENVIRONNEMENT"
À L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE, PARIS

de ce trajet, de nombreux prélèvements seront effectués en surface pour comprendre l'acquisition du signal isotopique, mais aussi pour repérer l'endroit idéal pour forer une carotte qui remontera jusqu'à un million d'années ! Une prochaine mission à suivre !

QU'EST-CE QUI VOUS PASSIONNE ?

Le changement climatique, c'est un sujet dont il est facile de parler et qui correspond à des préoccupations de société. Au quotidien, les tâches sont diverses : sur le terrain, en laboratoire, au bureau... Tout cela rend le travail passionnant ! ●



RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ
DE L'INTERVIEW SUR cea.fr



LEXIQUE

Foraminifère benthique : animal planctonique au squelette carboné du fond des océans.



Comment on fait



LE PREMIER RAID ANTARCTIQUE, ENTRE DÔME C ET PÔLE SUD

Entre 2018 et 2020, une équipe de scientifiques français, australiens, italiens et américains va traverser le continent, de la base Concordia à celle d'Amundsen-Scott. Un aller-retour de 3 500 km au cours duquel ils quantifieront la neige accumulée dans le passé et celle plus récente

pour évaluer le bilan de masse du continent; ils étudieront aussi le rôle du vent dans la formation du relief. En chemin, ils installeront aussi divers sismographes, stations météo automatiques... et réaliseront toute une batterie d'analyses physico-chimiques de la neige.

Le projet de recherche « Oldest Ice » porte sur la glace la plus ancienne

en Antarctique : un million d'années !

Le lieu du forage est en train d'être choisi : il semble qu'il y ait un endroit bien adapté à 40 km du Dôme C.

Lors du raid, les chercheurs effectueront des prélèvements réguliers qui aideront à analyser cette carotte.

SUR LA CÔTE

Dans le même temps, sur la base côtière de Dumont-d'Urville, une équipe va installer une panoplie d'instruments de mesure. Autonomes pendant deux ans, ils mesureront les caractéristiques de la vapeur d'eau pour déterminer les cycles diurnes et nocturnes et remonter à l'origine des masses d'air. Ces masses d'air continuent ensuite leur chemin vers le Dôme C, où les mêmes dispositifs vont être installés.



ARCTIQUE ANTARCTIQUE QUELLE DIFFÉRENCE ?

Tandis que l'Antarctique, au pôle Sud, est un continent recouvert entièrement de glace, l'Arctique, au pôle Nord, est un océan gelé, une banquise de 13 millions de km² environ. Les forages se passent donc dans des bases au Groenland : celui du projet Neem, qui a atteint en 2010 le socle rocheux à 2 500 mètres, retrace le climat jusqu'à la dernière période interglaciaire.



DE L'ÉCHANTILLON À L'ANALYSE



Sonia choisit, dans l'un des congélateurs du laboratoire, un échantillon de carotte provenant de la campagne Epica.

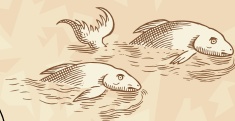


Bénédicte découpe les échantillons en chambre froide (-20 °C) pour préparer l'analyse de la glace et des bulles d'air qui y sont incluses.



Puis elle lance la mesure en oxygène 18 sur un spectromètre de masse.





RACONTEZ-NOUS VOTRE PREMIÈRE MISSION EN ANTARCTIQUE

Il y a trois-quatre ans, j'y ai effectué un hivernage dans le cadre d'une mission d'astronomie. J'étais responsable de la mise en route d'un télescope. On s'installe pour vivre là-bas une année complète, on prend ses habitudes... En hiver, on est en équipe réduite d'une dizaine de personnes ; la base devient notre maison, les relations entre nous sont exacerbées mais globalement, cela se passe bien.

Après cette première expérience, comme la majorité d'entre nous, j'avais hâte d'y retourner. L'idée d'un continent où peu de gens vont, d'une terre relativement vierge, et la part d'aventure, même si elle est plus minime qu'il y a 30 ans... provoquent cet attachement.

ET VOTRE PROCHAINE MISSION ?

Je vais partir un ou deux mois, fin 2018, sur la base de Dumont-d'Urville, pour installer un spectroscope laser qui analysera la composition isotopique de la vapeur d'eau. Une partie est déjà fonctionnelle mais doit être adaptée aux conditions climatiques extrêmes, et nous allons créer de toutes pièces la seconde partie. Il faut bien concevoir cet instrument – robuste, relativement automatique et fiable – pour que les personnes, non-spécialistes, qui resteront sur place, puissent en assurer la maintenance. Je suivrai en temps réel la qualité des données depuis mon bureau puis



CHRISTOPHE LEROY-DOS SANTOS

« Pour travailler, ce sont de petits combats quotidiens – contre l'environnement... »

les récupérer en totalité à la prochaine campagne d'été, fin 2019. Je commencerai alors leur traitement et analyse. Je cherche à tracer le signal dans la vapeur, les précipitations, la neige de surface et la glace profonde ; l'idée est de comprendre le cycle de l'eau, de l'équateur aux pôles.



Doctorant
ingénieur
de recherche

FORMATION

BAC S

CLASSES PRÉPARATOIRES

LICENCE, MASTER EN PHYSIQUE

MASTER 2 "INSTRUMENTATION
ASTROPHYSIQUE" À L'UNIVERSITÉ,
DONT UN STAGE AU CHILI

QUELS SONT VOS SOUVENIRS LES PLUS MARQUANTS ?

Le ciel polaire est inoubliable ! La base Concordia est à 3 000 mètres d'altitude ; l'atmosphère y est très fine et très sèche. C'est là que j'ai vu le ciel le plus beau du monde : les aurores australes y étaient féeriques.

À l'inverse, le froid rend la moindre intervention difficile. À -60°C , on ne peut retirer ses gants que quelques minutes pour travailler ; puis il faut rentrer dans le bâtiment, se réchauffer, repartir pour poursuivre l'intervention... si les fils n'ont pas gelé ! En plus du froid, avec l'altitude, on manque aussi d'oxygène et il faut une énergie considérable pour tenir. •

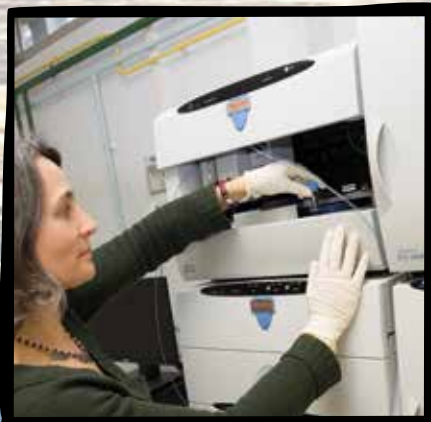


RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ
DE L'INTERVIEW SUR ceq.fr

07



Après avoir fait fondre l'échantillon, Amaëlle injecte l'eau obtenue dans un spectromètre laser pour réaliser des mesures isotopiques.



Puis elle complète l'analyse des isotopes en utilisant un chromatographe ionique.

TOP MODÈLE

Un modèle est un outil d'expérimentation numérique. Il sert à repérer des différences entre plusieurs périodes climatiques et le rôle de chaque processus à un temps donné. Modéliser les climats passés aide à mieux comprendre le changement climatique en cours et à prévoir le climat futur. Des codes de modélisation sont développés à plusieurs échelles, en fonction des phénomènes que les chercheurs veulent étudier.

Les isotopes de l'eau sont intégrés dans les modèles pour mieux interpréter, de façon quantitative, les carottes de glace.

La dynamique de la neige est décrite sur une petite échelle, très détaillée. Puis les modèles concernent des régions : Antarctique, Groenland... voire le système Terre dans sa globalité.



Scénario : Félix Elvis Le Pottier – dessins : Guillaume Penchinat

ENVIE D'EN SAVOIR PLUS SUR LA GLACIOLOGIE, DÉCOUVREZ LES RESSOURCES DIGITALES SUR



cea.fr/go/savanturiers

À VOIR



« Paroles de climatologues »

Comme les climatologues, jouez au détective en relevant des indices sur tous les échantillons que vous aurez prélevés sur Terre et dans l'atmosphère. D'études en hypothèses, d'analyses en simulations, vous saurez tout sur le climat.

À LIRE



Le climat

Un livret pédagogique pour en savoir plus sur la machine climatique, l'état des recherches et les prévisions futures.

SITES

CEA : www.cea.fr
CEA Jeunes : www.cea.fr/jeunes
CEA Enseignants : www.cea.fr/enseignants

Éditeur :
Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives,
RCS Paris B 775 685 019

Directeur de la publication :
Xavier Clément

Conseiller scientifique :
Amaëlle Landais

Ont participé à ce numéro :
Margaux Israël, Florence Klotz,
Christophe Leroy-Dos Santos, Lucia Le Clech

Infographies : Antoine Levesque

Crédits : P. Bazoge, A. Gonin, C. Leroy-Dos Santos,
F. Prié, S. Renard, F. Rhodes, F. Vigouroux,
CEA-IPEV, Thinkstock

Animation : Gary Levesque

Création, réalisation : Alexandre Cheyrou

Secrétariat de rédaction : Ellipse

Impression : Valblor – Février 2018
ISSN 2271-6262



Nous remercions Fabienne
Chauvière d'avoir accepté
que nous empruntions le titre
de son émission.

NE PEUT ÊTRE VENDU

