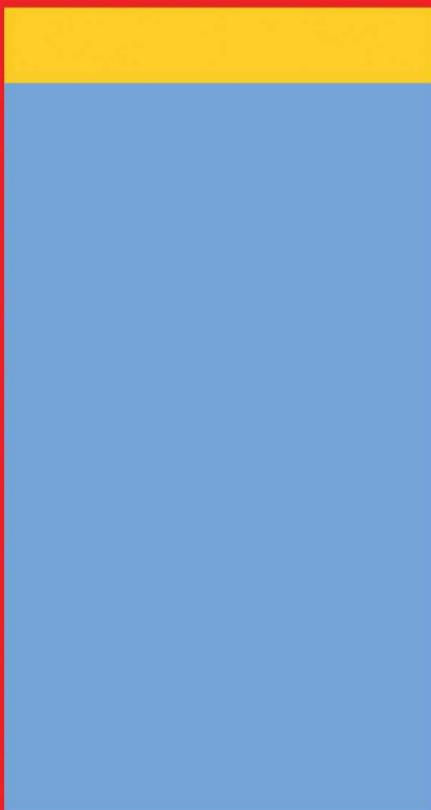
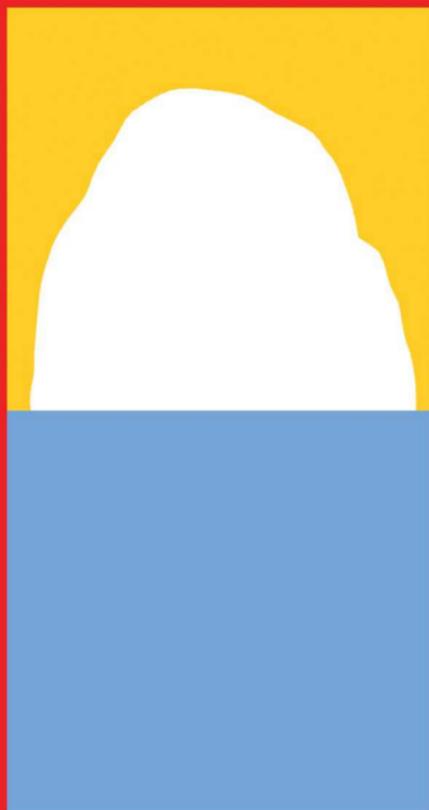


JEAN JOUZEL

CLIMATS PASSÉS, CLIMATS FUTURS

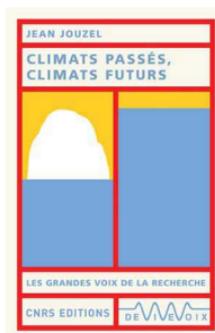


LES GRANDES VOIX DE LA RECHERCHE

CNRS EDITIONS

DE VIEUX VOIX

Présentation de l'éditeur



Le réchauffement climatique et le rôle des activités humaines sur notre climat deviennent de plus en plus perceptibles, et occupent une place grandissante dans notre vie quotidienne. Lutter contre le réchauffement climatique est un véritable défi : c'est celui que s'est fixé Jean Jouzel tout au long

de sa carrière scientifique. L'analyse des molécules emprisonnées depuis des dizaines de milliers d'années dans les carottes de glace des forages polaires lui a permis, avec d'autres glaciologues, de comparer températures et composition de l'atmosphère à différentes époques. Ils ont ainsi souligné, pour la première fois, l'importance de l'effet de serre dans le réchauffement climatique. Dans ce texte clair et enlevé, Jean Jouzel nous parle de son parcours, de ses travaux, de son engagement au sein du GIEC et nous introduit de manière claire à l'étude des climats passés pour mieux connaître et comprendre les climats futurs.

Médaille d'or du CNRS, Jean Jouzel est climatologue. Il a été vice-président du groupe scientifique du GIEC entre 2002 et 2015. Il est co-auteur, avec Pierre Larrouturou de Pour en finir avec le chaos climatique et financier (2017).

Jean Jouzel

Climats passés,
climats futurs

CNRS ÉDITIONS

DE VIVE VOIX

La version audio du présent ouvrage
est disponible à l'achat sur le site www.devivevoix.com

couverture Paul Cox
© CNRS Éditions / De Vive Voix,
coll. « Les Grandes Voix de la Recherche »,
Paris, 2019.
ISBN : 978-2-271-12770-9

www.cnrseditions.fr
www.devivevoix.com

Les Grandes Voix de la Recherche

Une collection CNRS Éditions / De Vive Voix

Donner la parole aux lauréats et lauréates de la médaille d'or du CNRS, la plus prestigieuse récompense scientifique française : telle est l'ambition de la collection *Les Grandes Voix de la Recherche*.

En des textes courts et vivants, les médailles d'or retracent leur parcours, nous transmettent leur passion, nous présentent leurs travaux. Grâce à des contenus accessibles et à jour des dernières avancées scientifiques, ils nous introduisent au meilleur de la recherche française.

En passeurs et médiateurs, ces grandes voix de la recherche explorent tous les domaines de la connaissance et présentent de manière claire les grands défis de la science.

À écouter ou à lire, ces grandes voix de la recherche sont disponibles sous forme de livre audio et de livre papier.



Jean Jouzel, dôme de GRIP, Groenland, 1991-1992.

© Fonds Lorius/CNRS Photothèque.

Introduction

Indéniablement, le problème du réchauffement climatique et du rôle des activités humaines sur notre climat devient chaque jour plus perceptible. Il prend, je crois, de plus en plus d'importance dans notre vie quotidienne. Ses conséquences sont désormais mieux connues, comme en témoignent de grandes conférences internationales comme celle qui a conduit à l'Accord de Paris. Une prise de conscience s'est faite jour : lutter contre le réchauffement climatique, le limiter de façon à ce que les jeunes générations puissent s'y adapter, constitue un véritable défi que j'ai souhaité relever au cours de ma carrière scientifique.

Au départ, je ne m'intéressais pas du tout au réchauffement climatique. D'ailleurs, quand j'ai commencé ma carrière, dans les années 1970, on parlait plutôt de la prochaine période glaciaire. En effet, les trois dernières périodes chaudes appelées aussi interglaciaires, ont duré au maximum 10 000 ans. Comme nous étions depuis 10 000 ans dans une période chaude, l'idée selon laquelle nous pourrions assez rapidement revenir à une période glaciaire était largement répandue, et était au cœur des conversations. En fait, ce n'est pas le cas : notre civilisation s'est développée dans une période interglaciaire qui devrait durer environ 25 000 ans. Pourquoi ? Tout simplement parce que l'orbite terrestre est actuellement quasiment circulaire, avec peu de variation d'insolation.

Notre problème n'est donc pas la prochaine période glaciaire. Notre problème porte sur le fait que ce sont nos activités qui vont modifier notre climat. Je m'y suis consacré, en partant du principe que les climats passés pourraient nous apporter des informations pertinentes pour mieux appréhender son évolution future.

La rencontre avec Claude Lorius

Je considère que j'ai eu beaucoup de chance d'avoir rencontré Claude Lorius lorsque je suis arrivé, grâce à Etienne Roth, au laboratoire de géochimie isotopique à Saclay en 1968. Glaciologue qui a une quinzaine d'années de plus que moi, il avait déjà soutenu sa thèse et participé à plusieurs expéditions polaires. Au début de l'année 1969, il revenait tout juste de Terre Adélie où il avait fait une grande campagne de prélèvement d'échantillons de surface avec une expédition américaine. Toute sa carrière s'est organisée autour d'un seul objectif : reconstituer les climats et l'environnement du passé, à partir de l'analyse des glaces polaires. À cette époque, il en était au tout début de ses travaux. Il

a d'abord essayé de cartographier la distribution dans les neiges de surface des molécules d'eau H_2O dans lesquelles soit un des atomes d'hydrogène, soit l'atome d'oxygène est remplacé par un isotope, atome constitué d'un nombre identique de protons, mais d'un nombre différent de neutrons. Il a montré de façon très claire que les molécules d'eau à l'état de glace contenaient davantage d'isotopes lourds (un isotope de l'hydrogène – le deutérium – et un isotope de l'oxygène – l'oxygène 18) que celles de l'eau sous forme liquide ou vapeur. Dans la partie de l'Antarctique sur laquelle il a travaillé, en Antarctique de l'Est, il a ainsi observé un lien très marqué entre la teneur isotopique de la neige de surface et la température du site. La corrélation forme une courbe quasiment linéaire.

Mais Claude Lorius n'avait pas de laboratoire. À deux ou trois, ils découpaient les échantillons de glace qu'ils avaient recueillis puis les apportaient dans le laboratoire où je travaillais pour en réaliser l'analyse isotopique. Alors que je travaillais sur la grêle et non sur la neige, je me suis pourtant intéressé immédiatement

à ces échantillons polaires. Mais je n'étais pas le seul, puisque deux thésards de Claude Lorius, Dominique Raynaud et Robert Delmas, membres de la même équipe que moi au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) se sont également penchés sur ces échantillons. Leur objectif était d'extraire les bulles d'air de la glace pour en analyser la composition, Robert Delmas s'intéressant plus à la chimie de la glace.

À l'époque, il n'y avait qu'une petite équipe de glaciologues mais déjà un intérêt très fort pour ces sujets-là. Et Claude Lorius bénéficiait déjà d'une certaine aura. Pour un jeune comme moi, c'était une chance de travailler avec lui. Ainsi, quand il est revenu d'Antarctique en 1969, j'ai naturellement beaucoup interagi et sympathisé avec lui. Nous avions par ailleurs un autre point commun : nous étions tous les deux fans de football. Claude Lorius a même joué au niveau international universitaire. Il a dû, à un moment, faire un choix entre une carrière de footballeur et une carrière de chercheur. À la fin des années 1950, il a vu une annonce dans le cadre de l'année géophysique

internationale pour aller en Antarctique, et a décidé de s'y rendre. C'est ce qui a déterminé sa carrière.

Pendant cinq ou six ans, alors que je préparais ma thèse sur la grêle, je travaillais donc dans le même temps avec Claude sur ces échantillons de glace, et notamment sur le tritium. À la fin de ma thèse, sur ses conseils, j'ai fait le choix d'étudier les glaces polaires et d'abandonner progressivement l'analyse des grêlons. C'est donc grâce à Claude Lorius que cette grande aventure a commencé. Elle me conduira à m'intéresser aux glaces du Groenland et de l'Antarctique.

Premiers forages, premiers résultats

Dans les années 1970, Claude Lorius crée une section dédiée aux régions polaires dans le laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement de Grenoble. C'est le début d'une collaboration très forte entre notre laboratoire de géochimie isotopique, au CEA, et ce laboratoire de glaciologie de Grenoble, collaboration qui se poursuit d'ailleurs depuis près de 50 ans. Comme Claude Lorius souhaite continuer à s'appuyer sur le laboratoire de Saclay pour la mesure des isotopes de l'eau, cette tâche m'est rapidement confiée par l'océanographe Liliane Merlivat, responsable du laboratoire.

Si à Saclay on étudie la composition de la glace, à Grenoble on développe davantage l'extraction des bulles d'air, permettant l'analyse de la composition de l'atmosphère du passé, mais aussi l'étude des modèles d'écoulement de glace, celle de sa chimie, avec l'équipe de Michel Legrand, et des poussières dont Jean-Robert Petit est spécialiste. Nous travaillons également avec une équipe à Orsay (qui compte notamment Grant Raisbeck et Françoise Yiou) qui s'intéresse à des isotopes rares tel le béryllium 10, d'origine cosmogénique.

La première chose que Claude Lorius met en place, c'est une équipe de forage. L'idée d'extraire des carottes de glace au Groenland ou en Antarctique doit beaucoup aux chercheurs pionniers comme le Danois Willi Dansgaard, à l'origine du premier forage réalisé à Camp Century, au nord-ouest du Groenland, en collaboration avec des Américains. Ce forage ne remontait que jusqu'à 80 000 – 100 000 ans, c'est-à-dire à la dernière période glaciaire. À la fin des années 1960, un autre forage de deux

kilomètres est réalisé par les Américains en Antarctique de l'Ouest, sur le site de Byrd. Là encore, il n'a atteint que la dernière période glaciaire, et qui plus est le carottier est resté au fond du trou ! C'est en Antarctique de l'Est que Claude Lorius jette son dévolu pour mettre en place le premier forage français. Des équipes russes travaillent déjà sur le site de Vostok, mais les Français vont s'installer sur un site nommé le Dôme C, dans une zone relativement accessible, en tout cas depuis Dumont d'Urville. L'intérêt d'aller sur un dôme, c'est que l'écoulement est relativement plus simple que dans les régions côtières. Au départ, on a pensé qu'il permettait de couvrir 30 000 ans, mais il s'est avéré beaucoup plus important, puisqu'il a permis de remonter jusqu'à 45 000 ans. Mais il n'est pas si facile de dater ! Les morceaux de glace peuvent nous livrer des informations multiples sur le climat, la composition de l'atmosphère, l'origine du volcanisme, et toute la chimie atmosphérique. Dans les années 1970, les échantillons du forage français nous arrivent à Saclay, où nous analysons les

teneurs en deutérium et en oxygène 18. C'est cette teneur en deutérium qui nous montre de façon très claire que ce forage remonte au-delà du dernier maximum glaciaire.

Concernant ces forages, la première chose qu'il faut retenir, c'est que, plus on creuse, plus on remonte dans le temps. La neige qui tombe se densifie sous son propre poids jusqu'à se transformer en glace, à peu près à une centaine de mètres de profondeur (suivant l'accumulation et les conditions de température). Il y a d'abord le névé, ensuite la glace. À mesure que l'on descend, on trouve de la glace dont l'origine est de plus en plus vieille. En théorie. Car parfois des couches de glace se mélangent, ce qui rend l'analyse plus complexe.

Sans refaire toute l'histoire du climat, je voudrais évoquer quelques notions intéressantes qui permettent de bien comprendre l'enjeu de ces forages. Nous sommes dans une période géologique appelée Holocène depuis à peu près 11 000 ans. Le dernier maximum glaciaire, c'était il y a 20 000 ans. La précédente période chaude date d'environ 125 000 ans,

et il y a quatre cycles de 100 000 ans qui nous permettent de remonter jusqu'à une période chaude il y a 420 000 ans.

Nous l'avons dit, le forage du Dôme C nous a permis de reconstituer le climat sur 45 000 ans grâce aux premières analyses de deutérium de notre laboratoire dans ces glaces profondes. L'étude de l'autre isotope, l'oxygène 18, nous donne également une information intéressante. La teneur en oxygène 18 est en effet d'autant plus faible que la température de formation des précipitations est froide. Si on utilise les deux isotopes en même temps, on a une information supplémentaire sur l'origine des précipitations, et sur les conditions de température et d'humidité qui prévalent dans les régions de l'océan d'où viennent ces précipitations. En étudiant ces deux isotopes issus d'un même échantillon, on peut ainsi parler de changement d'humidité et de température dans les régions source des précipitations aux échelles de temps glaciaires/interglaciaires.

Pendant ces années 1970, je me suis beaucoup intéressé à la modélisation des isotopes. En

réalité, il s'agit de développer des modèles rendant compte de l'observation un peu empirique. Au Groenland et en Antarctique, on observe que les teneurs isotopiques de la neige dépendent des températures. Mais il s'agit de transformer ces observations en outil, en modèle expliquant ces variations. Cela a constitué une bonne partie de mon travail, d'abord avec des modèles qu'on va qualifier de simples. On suit ce qui se passe dans une masse d'air depuis son origine océanique jusqu'aux précipitations dans les régions polaires, en prenant en compte les phénomènes de fractionnement, c'est-à-dire de sélection entre isotopes, de discrimination isotopique. Il y a des fractionnements liés à la différence de pression de vapeur saturante entre les isotopes lourds et l'eau normale, entre le deutérium et l'oxygène 18. Il y a aussi des fractionnements liés à la diffusivité de ces molécules (les molécules lourdes ont une pression de vapeur saturante un peu moindre que les molécules d'eau normales, ont donc plus de mal à s'évaporer et ont aussi un peu plus de difficulté à se déplacer dans l'air).

J'avais commencé à développer ce type de modèle dans le cas d'un cumulonimbus pour exploiter les analyses faites sur les grêlons ; c'est assez compliqué parce que, dans ces nuages, il y a à la fois des gouttelettes, des cristaux de glace, du grésil, des grêlons, et donc des interactions très complexes. Je me suis rendu compte que c'était finalement plus simple de modéliser des isotopes dans les régions polaires que dans les cumulonimbus.

Ainsi, j'ai consacré une large partie de mon temps à cette modélisation. Ce premier forage a donné une visibilité très forte à nos travaux et a encouragé les coopérations internationales. En 1957-1958, au cours de l'Année géophysique internationale, les Soviétiques décident d'explorer le coin le plus inaccessible et le plus froid de l'Antarctique : le site de Vostok. Ils y établissent leur base dans des conditions extrêmement difficiles, avec un record de température l'hiver proche de -90 °C. Au Dôme C, les températures moyennes annuelles avoisinent -50 °C, contre -55 °C à Vostok. Quand débute le forage du

Dôme C en 1977, les Soviétiques ont déjà réalisé un forage de 500 mètres, puis un autre de 900 mètres. Au début des années 1980, ils réussissent à dépasser deux kilomètres. Claude Lorius, qui s'était lié d'amitié avec le responsable russe Vladimir Kotlyakov, lui propose d'analyser leurs échantillons, puisqu'eux-mêmes n'étaient pas très outillés. C'est le début d'une riche collaboration, d'abord entre la France et l'Union soviétique, avec les laboratoires de Leningrad et de Moscou, d'un côté et les équipes françaises de Grenoble, de Saclay, puis d'Orsay de l'autre.

Cette collaboration se concentre sur le forage de Vostok, qui présente un double intérêt : d'une part, au début des années 1980, c'est le premier forage qui permet d'aller au-delà de la précédente période chaude, c'est-à-dire à peu près 120 000 à 130 000 ans. Ce forage permettait même de remonter jusqu'à 150 000 ans, donc dans la période glaciaire précédente. C'était exceptionnel, car on pouvait ainsi décrire un cycle glaciaire/interglaciaire complet. De plus, c'est à ce moment-là que nos collègues

Les Grandes Voix de la Recherche

Dans la même collection

Thibault Damour, *Ondes gravitationnelles et trous noirs*

Gérard Berry, *La pensée informatique*

Nicole Le Douarin, *Les secrets de la vie*

À paraître

Claude Hagège, *Les langues*

Alain Connes, *La géométrie et le quantique*

Philippe Descola, *Une écologie des relations*

Jules Hoffmann, *L'immunité innée*

Claire Voisin, *Faire des mathématiques*

Jean Weissenbach, *Dépolluer la planète*

Alain Aspect, *Einstein et les révolutions quantiques*

Maurice Godelier, *Fondamentaux de la vie sociale*

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions sur
notre site www.cnrseditions.fr