

ailleurs, des fragments d'assiettes de terre cuite ressemblent aux assiettes découvertes à Sardes. Mais ce n'est pas tout : sur la pente surmontant le champ de pommiers, une de nos étudiantes a découvert dans un buisson un fragment de sculpture en calcaire (voir la figure 6) comportant des plumes stylisées. Il semble qu'elles faisaient partie d'une statue d'oiseau de grande taille. Son style la fait remonter au VI^e siècle avant notre ère, et on peut l'attribuer à l'aire culturelle gréco-lydienne. Or, à Sardes, ont été retrouvées des œuvres de style comparable, de sorte qu'il s'agit sans doute d'une représentation de faucon, le second des animaux-attributs de Cybèle (le premier étant le lion). Une telle sculpture ne peut provenir que d'un sanctuaire, ce qui explique les coûteuses assiettes de terre cuite, ainsi que la tête de cheval : toutes sont des offrandes sacrificielles.

Depuis ces découvertes, nous avons pu établir que la cité consistait en quelques dizaines de maisons d'adobe construites sur des terrasses aménagées et reliées par des ruelles. Il est probable que, quelque 40 mètres au-dessus du lac, une plate-forme taillée dans le roc accueillait une acropole comportant des bâtiments de prestige, et surmontant le sanctuaire. L'organisation de cette petite cité devait être comparable à celle de Sardes, et sans doute y vivait-on sur place comme dans la capitale, quoiqu'à une échelle provinciale.

Le caractère lydien de cette ville est confirmé par la nécropole de la ville, située au Sud du lac : plus de 50 tertres funéraires en pierre y ont été répertoriés, même s'ils ne sont presque plus reconnaissables tant ils ont été bouleversés par les pillards, puis leurs pierres réemployées par les villageois turcs voisins. C'est pourquoi nous n'y avons découvert que des restes d'offrandes funéraires, consistant en fragments de céramiques archaïques, morceaux de vase de bronze, ou armatures métalliques de chariot. Six tumulus étaient encore dotés de leur pierre sommitale (voir la figure 8). Si l'on imagine à quel point ces tertres devaient dominer le paysage dans l'Antiquité, il semble bien que l'agglomération que nous avons étudiée devait être de quelque importance. Les nombreux objets importés que l'on y a retrouvés attestent par ailleurs de contacts avec l'extérieur.

Quelle place jouait exactement «Cibyra l'ancienne» dans l'ensemble lydien ? Peut-être s'agissait-il d'une petite cité, que les



9. CETTE TOMBE LYDIENNE CREUSÉE DANS UNE FALAISE est ornée d'un bas-relief représentant un lion bondissant et trois chèvres sauvages ; elle se trouve à quelque 90 kilomètres de l'ancienne cité lydienne de Cybira.

Lydiens fondèrent sur la frontière afin de stabiliser un territoire nouvellement conquis ?

Les constatations faites à «Cibyra l'ancienne» posent par ailleurs un problème archéologique. La plupart des céramiques retrouvées datent de l'époque archaïque ; pourquoi n'en retrouve-t-on pas datant des trois siècles qui séparent l'époque archaïque du déplacement de la cité à l'origine de la Cibyra grecque, d'après Hérodote ? La cité lydienne a-t-elle été abandonnée parce que, comme Sardes, elle était tombée dans les griffes perses ? C'est possible, puisque nous savons qu'après la chute de Sardes, le général Harpage, principal lieutenant de Cyrus, s'est occupé de soumettre la province lydienne.

Quoi qu'il en soit, il y a enfin du nouveau en archéologie lydienne ! Une demi-douzaine de projets internationaux ont été lancés pour répondre aux questions ouvertes, et les découvertes se multiplient. Notre équipe vient par exemple de mettre au jour près de Yes, à quelque 90 kilomètres du lac de Gölhisar, une fortification en pierre taillée sur un plateau, qui date approximativement de la même époque. À quelques kilomètres de là, une tombe creusée dans une falaise (voir la figure 9) est ornée par un bas-relief montrant un lion bondissant et trois chèvres sauvages. Le style de cette œuvre fait penser au VI^e siècle avant notre ère, et le même motif se trouve sur un autel en marbre dédié à Cybèle à Sardes. L'archéologie lydienne est une affaire à suivre. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

N. D. Cahill (dir.),
The Lydians and their World,
Yapı Kredi Kültür Sanat
Yayıncılık, İstanbul, 2010.

C. H. Roosevelt,
The Archaeology of Lydia,
Cambridge University Press,
2009.

DES HIVERS plus rigoureux ?

Charles Greene

Le recul de la banquise en Arctique perturbe la dynamique atmosphérique et serait responsable d'hivers rigoureux aux États-Unis et en Europe.

Ces trois dernières années, différentes régions de l'Amérique du Nord et de l'Europe ont connu des hivers exceptionnels. Tout d'abord, pendant les hivers de 2009 à 2011, l'Ouest et le Nord de l'Europe ainsi que la côte Est des États-Unis ont subi une série de tempêtes froides et neigeuses, dont celle que les Américains ont nommée *snowmageddon* – contraction de *snow*, la neige, et *armageddon*, l'apocalypse. Cette tempête s'est abattue en février 2010 sur la ville de Washington, et a empêché le gouvernement fédéral de fonctionner pendant près d'une semaine.

En octobre de cette même année, le Centre des prévisions climatiques de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, l'agence américaine responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère) avait prévu pour l'Est des États-Unis un hiver 2010-2011 doux en raison du phénomène La Niña (des eaux de surface plus froides dans le Pacifique tropical Est, qui favorisent la remontée d'air chaud du Mexique vers les États-Unis). Mais, malgré les effets modérateurs de La Niña, des

L'ESSENTIEL

■ Avec le réchauffement global, la fonte estivale de la banquise arctique s'accroît. Cela modifierait les conditions atmosphériques qui influent sur le temps hivernal aux États-Unis et en Europe.

■ Ces changements entraîneraient des incursions d'air arctique aux latitudes moyennes, augmentant la probabilité d'épisodes hivernaux rudes.

■ Il est difficile de prévoir la rigueur d'un hiver même si les conditions suggèrent de possibles vagues de froid intense.

températures très basses et des chutes de neige inédites ont frappé les villes de New York et de Philadelphie en janvier 2011, contredisant tous les prévisionnistes.

L'hiver 2011-2012 a aussi apporté son lot de surprises. L'Est des États-Unis a connu l'un des hivers les plus doux de son histoire, tandis que d'autres parties de l'Amérique du Nord et de l'Europe avaient moins de chance. En Alaska, la température moyenne de janvier a été, dans l'ensemble de l'État, inférieure de 10 °C aux valeurs typiques pour cette saison. Lors d'une tempête, des villes du Sud-Est de l'Alaska se sont retrouvées sous deux mètres de neige. En même temps, une importante vague de froid a submergé l'Europe centrale et de l'Est, avec des températures de -30 °C et des congères allant jusqu'aux toits. Quand le dégel a fini par arriver mi-février, plus de 550 personnes avaient perdu la vie.

Comment expliquer de tels épisodes de froid au cours d'une décennie 2002-2012 qui fut par ailleurs la plus chaude de ces 160 dernières années, depuis le début du suivi des températures globales ? Certains



Victimes de l'hiver

1. En Bosnie-Herzégovine, 6 février 2012 : un village est coupé du monde.

2 et 3. Carligu Mic, Roumanie, 11 février 2012 : toute une région est isolée et 35 000 personnes ne peuvent plus se ravitailler en nourriture et en eau.

4. Constanta, Roumanie, 1^{er} février 2012 : les températures tombent à -34°C .

5. Chicago, 2 février 2011 : des centaines de conducteurs restent bloqués pendant 12 heures sur une autoroute.

6. Washington, 10 février 2010 : le blizzard paralyse le gouvernement fédéral pendant une semaine.

7. Palma de Majorque, Espagne, 4 février 2012 : chute de neige inattendue sur l'île de Majorque, où la population est habituée à un climat doux.

© Getty Images/Daniel Mihallescu (2, 3, 4) ; © Getty Images/Jamie Reina (7) ; AP Photo/Pablo Martinez Monsivals (6) ; Reuters/Dado Ruvic (1) ; AP Photo (5)

scientifiques semblent avoir trouvé une réponse surprenante avec un phénomène qui se déroule plusieurs mois avant l'hiver et dans une région différente de celle où sévissent les hivers rigoureux en question : les fontes record subies par la banquise de l'océan Arctique au cours de l'été précédent.

Le facteur déclenchant : une fonte record de la banquise

L'Arctique a beaucoup changé depuis mon premier voyage au-delà du cercle polaire en avril 1989. Le changement le plus visible est le recul de plus en plus marqué de la banquise au cours de l'été. Alors qu'au cours de l'hiver, l'océan Arctique gèle presque complètement, la banquise fond l'été, son étendue devenant minimale en septembre.

Il résulte de cette dynamique que la banquise est composée d'une épaisse couche de glace qui s'est accumulée au fil des ans, et d'une couche beaucoup plus mince de

glace qui se forme chaque année, à des endroits libérés des glaces en été.

En 1989, l'étendue de la banquise en hiver était légèrement supérieure à 16 millions de kilomètres carrés. La moitié environ était de la glace ancienne – ou pérenne – épaisse qui perdurait pendant l'été. La situation est différente aujourd'hui. Bien que l'étendue de la banquise hivernale en 2012 approche celle de 1989, la quantité de glace en septembre 2012 était deux fois moins importante que celle de septembre 1989 (voir l'encadré page 64).

La fonte estivale de la banquise arctique n'a pas été régulière. Depuis les premières mesures satellitaires de la glace, en 1979, et jusqu'au milieu des années 1990, la diminution de la banquise restait limitée. De 2000 à 2006, le déclin s'est accéléré, mais il a fallu attendre le net changement de 2007 pour que le monde en prenne conscience. Au cours de cette seule année, l'étendue minimale de la banquise estivale a chuté de 26 pour cent, passant de quelque 5,8 millions de kilomètres carrés en septembre 2006 à environ 4,3 millions en septembre 2007.



■ L'AUTEUR



Charles GREENE
est professeur
de sciences
de la Terre
et de l'atmosphère.
Il dirige

le Programme des ressources
et écosystèmes océaniques
de l'Université Cornell,
aux États-Unis.

Cette fonte sans précédent de la glace pérenne a obligé les scientifiques à revoir leurs projections du moment où l'océan Arctique connaîtrait son premier été sans glace. D'après les données collectées avant 2007, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Groupe international d'experts sur l'évolution du climat) avait estimé que le premier été sans glace se produirait vers la fin du XXI^e siècle. Certains modèles projettent maintenant que cet événement pourrait avoir lieu des décennies plus tôt, entre 2020 et 2040.

La fonte estivale de la banquise est l'un des aspects de l'amplification du réchauffement global qui touche l'Arctique depuis quelques décennies. Alors que le reste du monde a subi une hausse des températures moyennes de l'ordre de 0,8 °C depuis le début du XX^e siècle, les températures moyennes de l'Arctique ont augmenté de plus du double au cours des 50 dernières années. En raison de ce réchauffement rapide, les régimes climatiques arctiques ont été modifiés et de vastes étendues de pergélisol (où le sous-sol est gelé en permanence) ont dégelé. De telles modifications de l'environnement ont per-

turbé des habitats cruciaux pour la faune de la région et menacent la survie à long terme de nombreuses espèces. De même, les populations des régions polaires, bien connues pour leurs adaptations culturelles au froid et aux glaces de leurs contrées, voient leur mode de vie bouleversé.

Bien que ces changements puissent sembler lointains à la plupart de ceux qui vivent bien au Sud des régions polaires, le reste de l'hémisphère Nord est concerné par les effets de l'amplification arctique et de la fonte de la banquise. Les régimes climatiques des latitudes moyennes sont influencés par le climat arctique, ce qui soulève une question clef : le réchauffement global est-il impliqué dans les épisodes récents de froid hivernal intense, ou bien ces épisodes s'inscrivent-ils dans le schéma général des oscillations climatiques naturelles de la planète ?

Des oscillations barométriques

La nature s'est clairement manifestée pendant mon enfance dans la région de Washington, dans les années 1960, quand, avec mes camarades, nous avançons péniblement dans la neige pour aller à l'école en cette décennie aux hivers plus rudes que d'habitude. Les climatologues ont observé que ces hivers froids et neigeux pouvaient être associés à deux variations naturelles du climat qu'on nomme aujourd'hui l'oscillation arctique, OA, et l'oscillation nord-atlantique, NAO (pour *North Atlantic Oscillation*) (voir l'encadré page 65). De nombreux facteurs agissent sur ces deux oscillations, telles les interactions atmosphère-océan. Les effets les plus remarquables des oscillations se produisent en hiver.

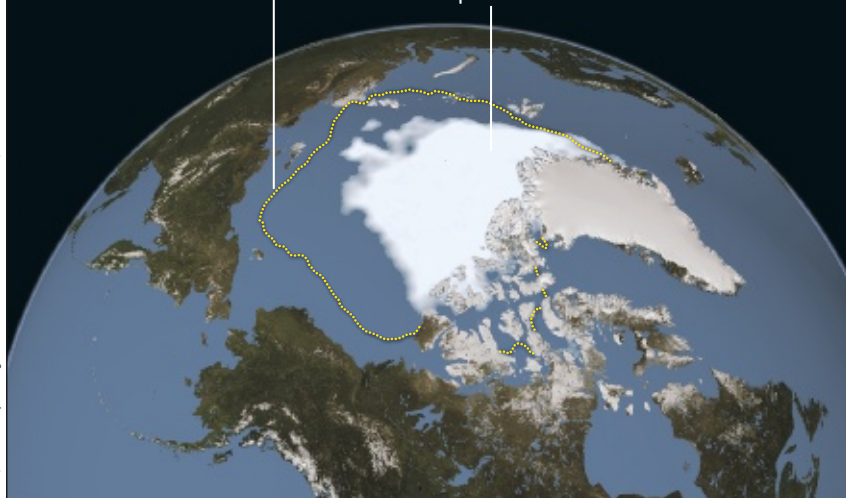
L'intensité de chaque oscillation est caractérisée par un indice qui quantifie les anomalies (par rapport aux pressions moyennes) dans la distribution hivernale de la pression atmosphérique au-dessus d'une région spécifique. Dans le cas de l'oscillation arctique, la région concernée est très vaste ; elle comprend l'essentiel de l'hémisphère Nord, du pôle Nord jusqu'à la limite des tropiques à 20 degrés de latitude Nord (à peu près la latitude de Cuba). L'indice OA peut être positif ou négatif. Les valeurs positives correspondent à des pressions inférieures à la moyenne dans l'Arctique et supérieures à la moyenne dans la région subtropicale. Durant les phases positives de l'indice OA, des pressions très basses dans

UNE BANQUISE QUI RECULE DE PLUS EN PLUS

Durant l'hiver, la glace recouvre l'ensemble de l'océan Arctique. Une partie de cette glace disparaît en été, découvrant la mer. Le réchauffement global du climat a augmenté le recul de la banquise estivale, ce qui a modifié les échanges de chaleur entre l'océan et l'atmosphère, d'où une influence sur le temps hivernal aux États-Unis et en Europe. En 1979, quand les mesures par satellite ont débuté, l'étendue de la banquise estivale avoisinait sept millions de kilomètres carrés. Depuis 2007, le recul estival a augmenté de façon spectaculaire ; un nouveau record d'étendue minimale a été atteint le 16 septembre 2012 avec seulement 3,44 millions de kilomètres carrés.

Moyenne du minimum de couverture en glace (1979-2010)

16 septembre 2012



l'Arctique conduisent à un renforcement du vortex polaire – une circulation permanente des vents d'altitude s'écoulant d'Ouest en Est autour de l'Arctique. Un vortex polaire renforcé tend à retenir les masses d'air arctique froid au Nord du cercle polaire.

À l'inverse, durant les phases d'indice OA négatif, les pressions anormalement élevées dans l'Arctique affaiblissent le vortex polaire. Des masses d'air arctique s'engouffrent au Sud vers les latitudes moyennes, où elles dispensent des épisodes froids et neigeux. La côte Est des États-Unis et le Nord de l'Europe sont en première ligne face à de tels phénomènes lorsque l'indice OA est négatif.

Quant à l'indice NAO, il caractérise les anomalies de la distribution de la pression atmosphérique, en période hivernale, sur

une région beaucoup plus petite, comprenant le secteur atlantique de l'hémisphère Nord allant du centre des hautes pressions subtropicales, près des Açores, au centre des basses pressions subarctiques, près de l'Islande. Comme l'indice OA, l'indice NAO peut être positif ou négatif. Les valeurs positives correspondent à des pressions atmosphériques supérieures à la moyenne au niveau de l'anticyclone des Açores et inférieures à la moyenne près du centre des basses pressions subarctiques.

Quand l'indice NAO est positif, les différences de pression accentuées renforcent les vents d'Ouest sur l'Europe, qui soufflent toute l'année d'Ouest en Est au niveau des latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. Les différences de pression aiguillent aussi le courant-

jet ou *jet stream* (un flux d'air rapide qui fait le tour de la Terre) sur une trajectoire Nord-Est depuis la côte Est de l'Amérique du Nord jusqu'à l'Europe septentrionale. Les tempêtes hivernales qui traversent l'Atlantique Nord suivent une trajectoire similaire, apportant un temps plus doux et humide sur l'Europe du Nord.

Le courant-jet débousolé

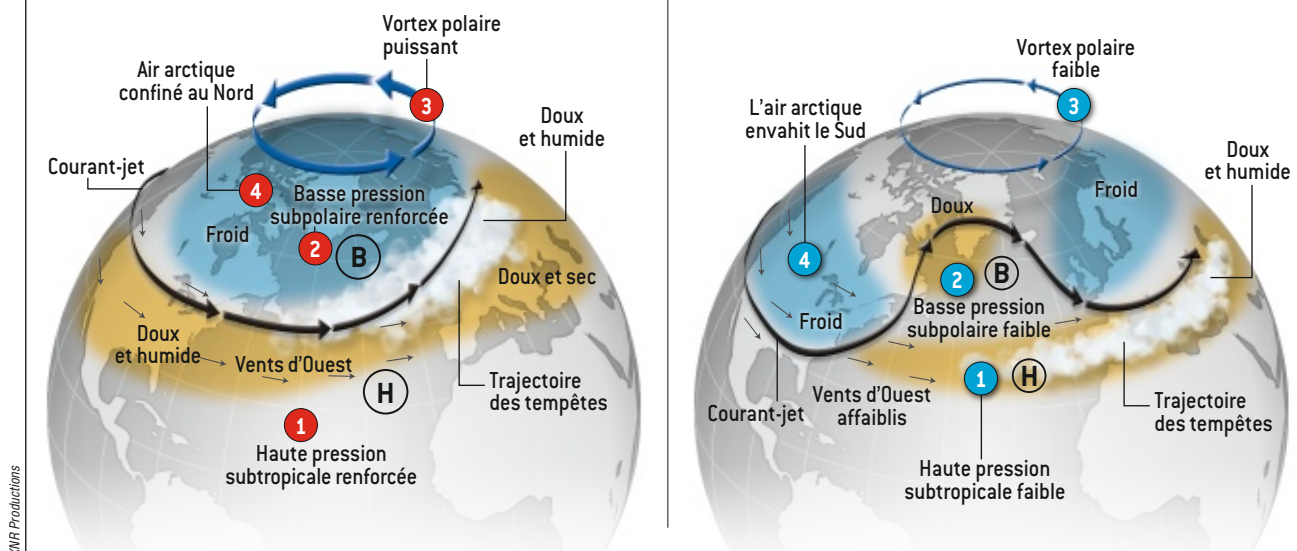
En revanche, avec un NAO négatif, les différences de pression sont moins marquées et affaiblissent les vents d'Ouest, et le courant-jet qui part de l'Amérique du Nord vire plus au Nord, atteignant le Groenland avant de dévier vers le Sud en direction de l'Europe. Mais dans ce cas, la trajectoire des

LIER LE CLIMAT ET LA MÉTÉO

Deux oscillations climatiques naturelles, l'Oscillation arctique (OA) et l'Oscillation nord-atlantique (NAO), peuvent influencer sur le temps hivernal des États-Unis et de l'Europe. Les indices OA et NAO qui caractérisent leur état peuvent être positifs ou négatifs, de façon généralement synchronisée. Le recul important de la banquise arctique estivale a entraîné des modifications climatiques qui favorisent des conditions OA et NAO négatives, conduisant à des hivers plus rigoureux.

Les états d'indices NAO et OA positifs sont caractérisés par un centre de haute pression atmosphérique (H) dans la zone subtropicale (1) et un centre de basse pression (B) dans la zone subarctique (2). Un indice OA positif est associé à un fort vortex polaire (3) ; ce dernier confine l'air arctique froid au Nord (4) et permet à l'air chaud des latitudes plus basses de remonter très au Nord à l'intérieur des États-Unis et en Europe. Dans ces conditions, le courant-jet et la trajectoire générale des tempêtes traversent l'Atlantique en remontant vers le Nord-Est, apportant chaleur et humidité à l'Europe du Nord.

Les états d'indices NAO et OA négatifs correspondent à des pressions atmosphériques plus modérées dans la zone subtropicale (1) et la zone subarctique (2). Un indice OA négatif est associé à un vortex polaire affaibli (3), ce qui permet aux masses d'air froid d'envahir les États-Unis et le Nord de l'Europe (4). Dans ces conditions, le courant-jet emprunte une trajectoire plus sinusoïdale : il passe au Sud de la côte Est des États-Unis et remonte haut au-dessus de l'Atlantique près du Groenland, avant de replonger vers l'Europe du Sud. Les tempêtes tendent à traverser l'Atlantique en filant directement vers l'Est, apportant ainsi de l'humidité au Sud de l'Europe.



tempêtes diverge du courant-jet, traversant l'Atlantique Nord directement vers le Sud de l'Europe et la Méditerranée, où cela apporte un temps plus humide et doux. L'Europe du Nord, au contraire, connaît alors une période de froid sec.

Quant à savoir s'il faut traiter l'OA et le NAO comme deux modes distincts de la variabilité naturelle du climat, les avis des climatologues sont partagés. Certains affirment que le NAO n'est qu'une manifestation nord-atlantique de l'OA ; pour d'autres, les dynamiques sont assez différentes pour justifier un traitement séparé. Si les deux indices sont souvent très corrélés, leurs comportements divergent parfois de façon importante, comme cela fut le cas durant l'hiver 2011-2012.

Il est difficile de distinguer les changements météorologiques liés aux oscillations naturelles du climat de ceux dus aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Comme ces deux phénomènes se superposent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes statistiques pour les sépa-

rer. Des études récentes ont apporté de nouveaux éléments qui renforcent l'idée selon laquelle le réchauffement global et la fonte de la banquise arctique modifient nos hivers actuels en perturbant les rythmes normaux de l'OA et du NAO.

Des conditions réunies pour un temps hivernal

En revenant sur les années 1960, nous constatons que les indices OA et NAO étaient surtout négatifs, conduisant à des hivers plus neigeux et plus froids que la moyenne le long de la côte Est des États-Unis et en Europe du Nord. Il n'y a pas de raison de soupçonner que cette décennie d'hivers rudes ait été liée à autre chose qu'à la variabilité naturelle des indices OA et NAO. Cependant, des années 1970 aux années 1990, l'indice NAO a été le plus souvent positif, à une exception près. Il en a résulté des hivers doux, qui ont coïncidé avec la prise de conscience par la société du problème du réchauffement

global. Cela a conduit de nombreux scientifiques à faire l'hypothèse que l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre expliquerait ce qui semblait être une longue série d'hivers à indice NAO positif. Les modèles auxquels le GIEC se réfère prédisaient que cette tendance allait se poursuivre avec l'augmentation continue des gaz à effet de serre. Et pourtant, la prédominance des hivers à indices OA et NAO fortement positifs s'est inversée peu avant l'an 2000.

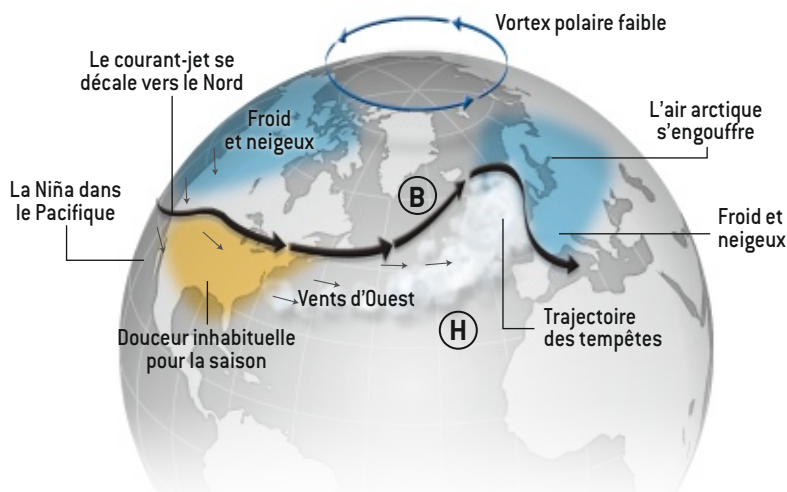
Le fait que cette série d'hivers à indice NAO positif ait pris fin ne signifie pas qu'on se soit trompé en supposant qu'il y avait un rapport entre la hausse des concentrations de gaz à effet de serre et l'oscillation nord-atlantique. Mais ce qui n'avait pas été anticipé à l'époque, c'est l'accélération de l'amplification arctique depuis la fin des années 1990. À partir du moment où les effets du réchauffement global se sont fait sentir au-dessus du cercle polaire, les conditions climatiques ont entamé une phase que Jim Overland et ses collègues de la NOAA ont qualifiée de « période arctique chaude ». Cette période a été caractérisée par un recul rapide de la banquise arctique, du pergélisol et des glaciers continentaux, mais aussi par la fonte en surface de l'inland-sis du Groenland – la calotte de glace qui recouvre 80 pour cent de cette île.

Dans chacun de ces changements, le processus dit de rétroaction glace-albédo jouerait un rôle crucial. Il s'agit de la diminution de l'albédo (la réflexion vers l'espace du rayonnement solaire incident sur une région), diminution due à la fonte de la couverture de glace, des surfaces terrestres et maritimes plus sombres se retrouvant exposées. La rétroaction glace-albédo inquiète beaucoup les scientifiques, car le recul de la banquise estivale expose davantage d'eau de mer. Celle-ci absorbe le rayonnement solaire, ce qui conduit à une hausse de la température des eaux de surface et a deux principaux effets de rétroaction. Premièrement, une partie de la chaleur en excès renforce encore davantage la fonte estivale de la banquise. Deuxièmement, l'océan libère lentement le reste de cet excédent de chaleur dans l'atmosphère au cours de l'automne. La pression atmosphérique et l'humidité augmentent dans l'Arctique et réduiraient les différences de température entre les latitudes arctiques et moyennes.

Une hausse de la pression atmosphérique arctique et une diminution du gradient de

CE QUI S'EST PASSÉ DURANT L'HIVER 2011-2012

Des conditions atmosphériques inhabituelles ont conduit à une étrange combinaison de conditions météorologiques extrêmes aux États-Unis et en Europe en 2012. Les oscillations OA et NAO sont souvent synchronisées, avec des indices soit positifs, soit négatifs pour les deux. Durant l'hiver 2011-2012, les deux indices étaient positifs en décembre et début janvier, mais l'OA est devenu négatif à partir de la mi-janvier et jusqu'au début février. Ce changement a permis à de l'air arctique d'envahir l'Europe centrale et de l'Est, où il a apporté un temps très froid et neigeux. En même temps, la combinaison d'un OA négatif et d'un événement La Niña a entraîné des conditions très froides et neigeuses en Alaska. La Niña a aussi influé sur la trajectoire du courant-jet dans le Nord des États-Unis, permettant à de l'air doux du golfe du Mexique de remonter sur l'Est des États-Unis.



Banquise antarctique : une dynamique différente

Si le déclin accéléré de la banquise Arctique fait depuis quelques années la une des journaux, en particulier à l'occasion des records successifs du minimum d'extension estivale, la situation de l'autre côté de la planète semble bien différente.

Le suivi satellitaire de l'extension des glaces de mer antarctiques sur la période 1978-2012 montre même une faible tendance positive pour l'extension spatiale à certaines saisons (une hausse de 0,3 pour cent par an en automne, mais une baisse de 0,08 pour cent par an en hiver). Ces tendances sont toutefois peu significatives, en raison des fortes fluctuations interannuelles et de l'importante variabilité spatiale. En particulier, le déclin est marqué autour de la péninsule Antarctique et de la mer de Weddell, alors que le secteur de la mer de Ross a plutôt vu une extension récente des glaces de mer vers le Nord. Concer-

nant l'épaisseur, autre paramètre crucial pour juger l'évolution de la couverture de glace, on ne dispose pas, à ce jour, de suffisamment de données dans l'hémisphère Sud pour établir une quelconque tendance. Quoiqu'il en soit, aucun déclin généralisé de la banquise australe n'est observé, contrairement à l'Arctique.

Les raisons de ces différences, encore mal comprises, sont diverses. En premier lieu, à la différence de l'Arctique où, du moins jusqu'aux années 1980, la majeure partie du bassin demeurait prise par les glaces toute l'année, la banquise antarctique est saisonnière, réduite en été depuis longtemps. Cette banquise saisonnière subit des fluctuations interannuelles plus marquées du fait de sa plus faible « inertie », ce qui rend difficile le dégagement d'une tendance à long terme.

Une autre raison pourrait résulter de la combinaison de la géogra-

phie et de la circulation atmosphérique australe. L'Antarctique, continent entouré d'un océan, implique que les glaces de mer sont en « dérive libre ». Cela signifie qu'elles sont entraînées par les vents de surface alors que la glace de l'Arctique est bloquée par les côtes canadiennes et groenlandaises proches, ce qui crée des efforts mécaniques internes à la glace. La composante vers le Nord de la circulation atmosphérique circum-Antarctique étant importante, les glaces de mer peuvent être déportées vers le Nord, ouvrant ainsi plus au Sud des zones d'eau libre qui pourront regeler en surface. Cela pourrait expliquer la variabilité régionale constatée.

En outre, il a été montré récemment que, dans l'Arctique, l'association de l'amincissement de la couche de glace et des contraintes mécaniques, qui fragilisent la banquise, entraîne son déclin. Du fait de la dérive libre de la

banquise australe, la mécanique des glaces jouerait un rôle plus limité sur l'évolution globale en Antarctique.

Par ailleurs, et paradoxalement, l'accroissement (très relatif) des glaces de mer antarctiques résulterait du réchauffement climatique ! En effet, dans les zones polaires, un réchauffement peut renforcer les précipitations neigeuses qui participent au bilan positif de masse de la banquise en l'épaississant par le dessus. Ce mécanisme est souvent évoqué également pour les glaces continentales. En conclusion, si la banquise australe ne joue pour l'instant pas le rôle de sentinelle du changement climatique comme la banquise boréale, son absence d'évolution marquée n'est pas en contradiction avec le réchauffement global.

Jérôme Weiss

Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement, (CNRS/Univ. Joseph Fourier), Grenoble

température favorisaient le développement de conditions OA et NAO négatives au cours de l'hiver. Cette situation affaiblirait le vortex polaire et le courant-jet, qui deviendraient moins efficaces pour empêcher les masses d'air arctique froides, avec leur teneur en eau élevée, de s'étendre vers les latitudes moyennes et d'y apporter des épisodes de froid intense et de chutes de neige importantes. De surcroît, un courant-jet affaibli présenterait une trajectoire plus ondulante, et pourrait ainsi enfermer certaines régions dans un régime froid pendant une durée importante. Combinés, ces motifs perturbés de circulation atmosphérique tendraient à provoquer des épisodes de froid hivernal plus fréquents et plus longs en Amérique du Nord et en Europe.

D'autres facteurs peuvent jouer un rôle. Il en est ainsi du phénomène d'oscillation australe El Niño ou ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Il s'agit d'une autre oscillation climatique puissante touchant l'océan Pacifique tropical, un phénomène très irrégulier dont la période évolue entre deux et sept ans : un réchauffement des eaux de surface de l'Est de l'océan Pacifique tropical (événement El Niño) s'accompagne de hautes pressions atmosphériques dans le Pacifique Ouest ; inversement, un refroidissement des eaux à l'Est de l'océan Pacifique (événement

La Niña) s'accompagne de basses pressions dans le Pacifique Ouest.

L'impact de l'Oscillation australe El Niño/La Niña se ressent jusque sur la côte Est des États-Unis, où le courant-jet se décale vers le Sud au cours des années El Niño, ce qui entraîne un temps hivernal plus froid et humide. Inversement, le courant-jet se décale vers le Nord au cours des années La Niña, ce qui produit un hiver plus doux et sec dans cette même région.

Réunies, les conditions d'indices OA et NAO négatifs pendant les années El Niño pourraient renforcer le risque d'hivers froids le long de la côte Est des États-Unis ; c'est ce qui s'est produit en 2009-2010. Les conditions d'indices OA et NAO négatifs peuvent également s'opposer aux effets de La Niña et empêcher les hivers doux attendus : ainsi, durant l'hiver 2010-2011, les températures basses et les chutes de neige record à New York et à Philadelphie ont surpris les prévisionnistes qui, à partir de l'événement La Niña en cours, attendaient des conditions plus douces.

Les changements dans l'Arctique ont beau suggérer pour l'avenir des vagues de froid plus fréquentes et de durée plus longue, nous ne pouvons jamais savoir avec certitude comment cela se traduira pour une année donnée : les prévisions

■ BIBLIOGRAPHIE

J. A. Francis et S. J. Vavrus, **Evidence linking arctic amplification to extreme weather in mid-latitude**, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, L06801, 2012.

C. H. Greene *et al.*, **An arctic wild card in the weather**, *Oceanography*, vol. 25, pp. 7-9, 2012.

J. E. Overland *et al.*, **The recent arctic warm period**, *Tellus*, vol. 60(4), pp. 587-597, 2008.

J. Weiss, **Recul des banquises et réchauffement climatique**, *Dossier Pour la Science*, n° 54, janvier-mars 2007.

C. H. Greene et A. J. Pershing, **Climate drives sea change**, *Science*, vol. 315, pp. 1084-1085, 2007.

Les vagues de froid en France

Le réchauffement planétaire observé depuis le début du XX^e siècle est un phénomène bien expliqué par la théorie et bien représenté dans ses grandes lignes par les modèles climatiques actuels. À l'horizon 2100, si les émissions de gaz à effet de serre sont réduites, le climat devrait encore se réchauffer de un à deux degrés en moyenne, voire trois à quatre degrés sans contrôle des émissions.

Ces dernières années semblent pourtant marquées par des périodes de froid et de neige en Europe, ce qui peut sembler contradictoire avec le réchauffement global observé. Par exemple, la France a connu un mois de janvier 2010 très neigeux avec une température inférieure de près de trois degrés aux normales de saison. Pendant cet hiver 2010, la circulation atmosphérique en Atlantique Nord était caractérisée par la deuxième valeur la plus négative de l'indice NAO jamais observée depuis la fin du XIX^e siècle. Cette situation favorise une circulation atmosphérique de secteur Nord, apportant froid et humidité. Les conditions de cet hiver

étaient comparables à celui de 1963, l'un des plus extrêmes du XX^e siècle – et bien plus froid que 2010. Le réchauffement global de ces 50 dernières années a sans doute limité le froid de janvier 2010.

Le froid qui s'est abattu sur la France du 1^{er} au 13 février 2012 était plus exceptionnel. En termes d'intensité, il s'agit de la cinquième vague de froid la plus sévère observée depuis 1947, même si elle reste bien loin des vagues de froid historiques de 1956, 1963 et 1985. Mais, si ces 13 jours ont frappé les esprits, la moyenne des températures de l'hiver 2011-2012 était en réalité proche de la normale. La tendance au réchauffement observée depuis plusieurs décennies sur l'Europe n'est pas remise en cause. Ce n'est d'ailleurs pas non plus le cas aux États-Unis, malgré plusieurs hivers froids et neigeux ces dernières années : sur la période 1896-2012, le climat s'y est réchauffé de 0,8 °C.

Sans remettre en cause la tendance au réchauffement du climat sur le long terme, plusieurs études suggèrent que l'augmentation de la fréquence des

hivers froids sur certaines régions de l'hémisphère Nord serait une conséquence inattendue du réchauffement global, et cherchent à en comprendre les causes. Il est possible d'établir un lien entre le recul spectaculaire de la banquise depuis les années 1990 et des événements relativement rares tels que les vagues de froid. Il reste cependant difficile d'obtenir une tendance statistiquement fiable, car la période est récente et courte.

D'autres études ont recours à des simulations : les modèles climatiques permettent en effet de reproduire assez fidèlement le climat moyen, son évolution et certains éléments de la variabilité observée. Mais aucun modèle n'est en mesure de systématiquement reproduire les caractéristiques observées d'un hiver particulier sur une région donnée, même en imposant la régression constatée de la banquise. Plusieurs modèles sont cependant capables de simuler correctement la fréquence d'occurrence actuelle des vagues de froid. Ainsi, en attendant que les années à venir apportent de nouveaux éléments

d'observation, une approche raisonnable pour estimer les risques futurs de vagues de froid est d'utiliser un ensemble aussi large que possible de modèles climatiques. Une étude récente, s'appuyant sur 13 modèles, conclut qu'à l'horizon de 2100, l'Europe de l'Ouest continuera à connaître des vagues de froid, mais moins fréquentes et en général moins intenses qu'aujourd'hui.

Il est sans doute encore trop tôt pour établir un lien – ou une absence de lien – entre l'évolution de la banquise et une recrudescence des hivers rigoureux. La prévision saisonnière peut apporter de l'information quelques mois à l'avance sur la probabilité qu'un hiver soit plus froid ou plus chaud que la normale sur une région donnée. Mais cette information ne permet pas de prévoir à l'avance une vague de froid comme celle de février 2012 sur l'Europe. De tels événements ne peuvent être annoncés que quelques jours avant par les prévisions météorologiques.

David Salas y Méliá
CNRM (Météo-France/CNRS)

météorologiques ont toujours une part d'incertitude.

Peut-on prévoir les conditions de l'hiver à venir ?

L'hiver 2011-2012 illustre bien les difficultés de faire des prévisions. Le Centre américain des prévisions climatiques avait annoncé un temps relativement doux dans l'Est des États-Unis en raison du développement d'un phénomène La Niña dans le Pacifique. Les indices OA et NAO étaient positifs au début de l'hiver, mais des conditions d'indice OA négatif sont apparues à la mi-janvier et ont persisté jusqu'au début de février, alors que le NAO restait positif. L'Alaska et certaines régions de l'Europe centrale et de l'Est ont essuyé de grosses tempêtes de neige et enduré un froid polaire, tandis que le temps à l'Est des États-Unis restait inhabituellement doux pour la saison. En effet, alors même que l'indice OA devenait négatif au milieu

de l'hiver, La Niña a dévié le courant-jet plus au Nord que d'habitude au-dessus de l'Amérique du Nord, permettant à l'air chaud du golfe du Mexique de remonter sur l'Est des États-Unis, ce qui a donné le quatrième hiver le plus chaud jamais enregistré. La trajectoire plus septentrionale du courant-jet a aussi apporté des conditions plutôt douces sur l'Atlantique Nord et l'Europe de l'Ouest.

Début mars 2012, un système de hautes pressions atmosphériques puissant et persistant s'est développé sur le Pacifique Est, amplifiant encore davantage ces conditions inhabituelles et produisant des températures record dans tout le Midwest et l'Est des États-Unis. Malgré la persistance de cette chaleur exceptionnelle, il faut noter que d'autres régions de l'hémisphère Nord ont connu un hiver et un début de printemps très froids. En fait, le Centre américain des prévisions climatiques a rapporté que la température globale moyenne pour mars 2012 était la plus basse depuis 1999.

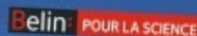
Pour l'hiver 2012-2013, les conditions semblent propices à des vagues de froid

en Amérique du Nord et en Europe. La fonte record de la banquise arctique observée durant l'été 2012 devrait renforcer la probabilité que des masses d'air arctique froid envahissent les latitudes moyennes. Bien qu'il soit difficile de prévoir quelles régions de latitude moyenne seront les plus affectées, les conditions El Niño qui se sont développées dans le Pacifique pendant l'automne 2012 pourraient favoriser un décalage vers le Sud de la trajectoire du courant-jet, augmentant les probabilités d'un hiver froid et rude dans l'Est des États-Unis. La côte Est pourrait être très vulnérable aux redoutables tempêtes de Nord-Est, qui apportent un froid vif et beaucoup de neige. Bien que personne ne puisse dire si nous verrons une réédition des vents de Nord-Est particulièrement froids de l'hiver 2009-2010, l'hiver actuellement en cours succédera à un été et un automne qui ressemblent davantage aux conditions de 2009 qu'à toute autre année depuis 2007, quand la brusque accélération de la fonte de la banquise arctique a eu lieu. ■

un aiguillon pour la pensée

Jean-Paul Delahaye

Éditions Belin/Pour la Science 2012
200 pages — 27 euros — ISBN 978-2-8424-5115-8



à découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

**POUR LA
SCIENCE**

..... exemplaires × 27,00 € (Réf. 075115)	=	€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)	+	€
TOTAL À REGLER	=	€

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

C.P.: [] [] [] [] Ville: _____
Pays: _____ Tél.: [] [] [] [] [] [] [] []

E-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscules).

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐

LOGIP424

offre valable jusqu'au 28.02.2013, dans la limite des stocks disponibles.

Petites merveilles

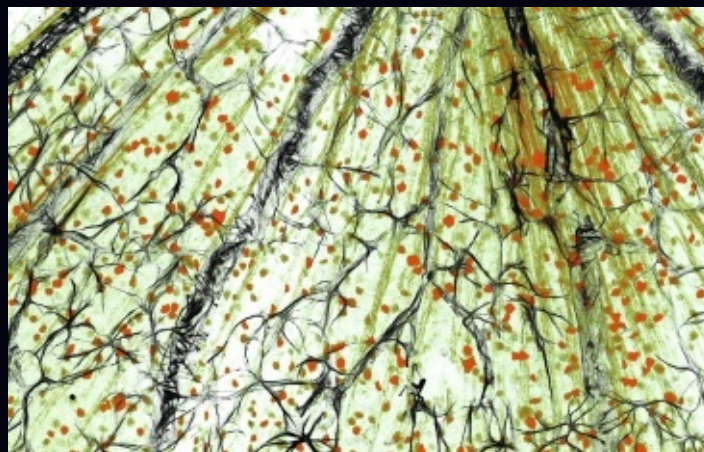
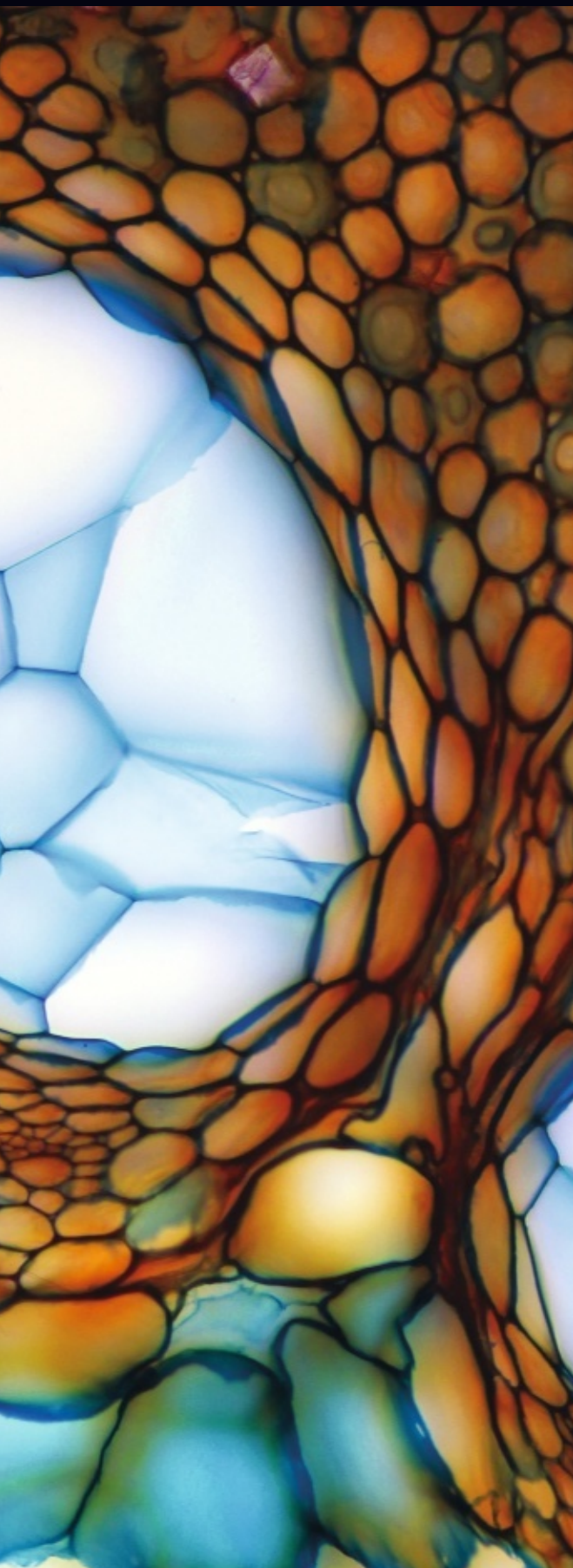
Kate Wong

**La microscopie optique révèle
des splendeurs cachées de la nature.
Les images du concours 2012 d'Olympus
le prouvent une fois de plus.**

Une spirale colorée de cellules d'un cactus, une forêt de cellules de la rétine d'une souris, une mer de poils végétaux en forme d'étoiles couvrant une feuille – les organismes vivants dévoilent sous l'objectif du microscope des facettes souvent spectaculaires. Dans ces mondes minuscules, la beauté émerge aussi bien de l'ingéniosité des solutions sélectionnées par l'évolution aux défis de la vie, que des techniques inventées par les microscopistes pour visualiser des structures et des processus biologiques. En regardant à travers l'oculaire de l'instrument, on découvre tout un univers dans un embryon, un organe ou une cellule. L'un des gagnants du concours 2012 organisé par la Société Olympus (*Olympus BioScapes International Digital Imaging Competition*), Igor Siwanowicz, de l'Institut médical Howard Hughes, en témoigne : « La microscopie me permet de voir au-delà de la cuticule, d'explorer l'étrange disposition des fibres musculaires ou toute la complexité d'un réseau de neurones, et de me rendre compte que la beauté [...] ne se limite pas à la surface des choses. » Les pages qui suivent présentent certaines de ses images et celles d'autres scientifiques ou amateurs, pour le plaisir des yeux.

CELLULES SÉCRÉTRICES D'ALOÏNE. Le botaniste Anatoly Mikhaltsov, du Centre biologique et écologique des enfants à Omsk, en Russie, étudiait l'anatomie de *Aloe erinacea*, un cactus endémique de la Namibie – une espèce menacée. Grâce à une technique de coloration qu'il a développée, il a pu photographier des cellules (en bleu) qui sécrètent de l'aloïne – un composant de la sève épaisse exsudée par les feuilles de cet *Aloe* lorsqu'on les casse. La taille de l'amas de cellules sécrétrices est ici de 0,3 millimètre.

Pour toutes les images : www.olympusbioscapes.com



ASTROCYTES RÉTINIENS. Cette vue d'une rétine de souris a été obtenue par Alejandra Bosco, neurobiologiste à l'Université de l'Utah. Elle révèle un réseau d'astrocytes (*en noir*), des cellules indispensables au bon fonctionnement des neurones (*en orange, avec leur axones en vert*). Les bras des astrocytes s'enroulent autour des capillaires sanguins.

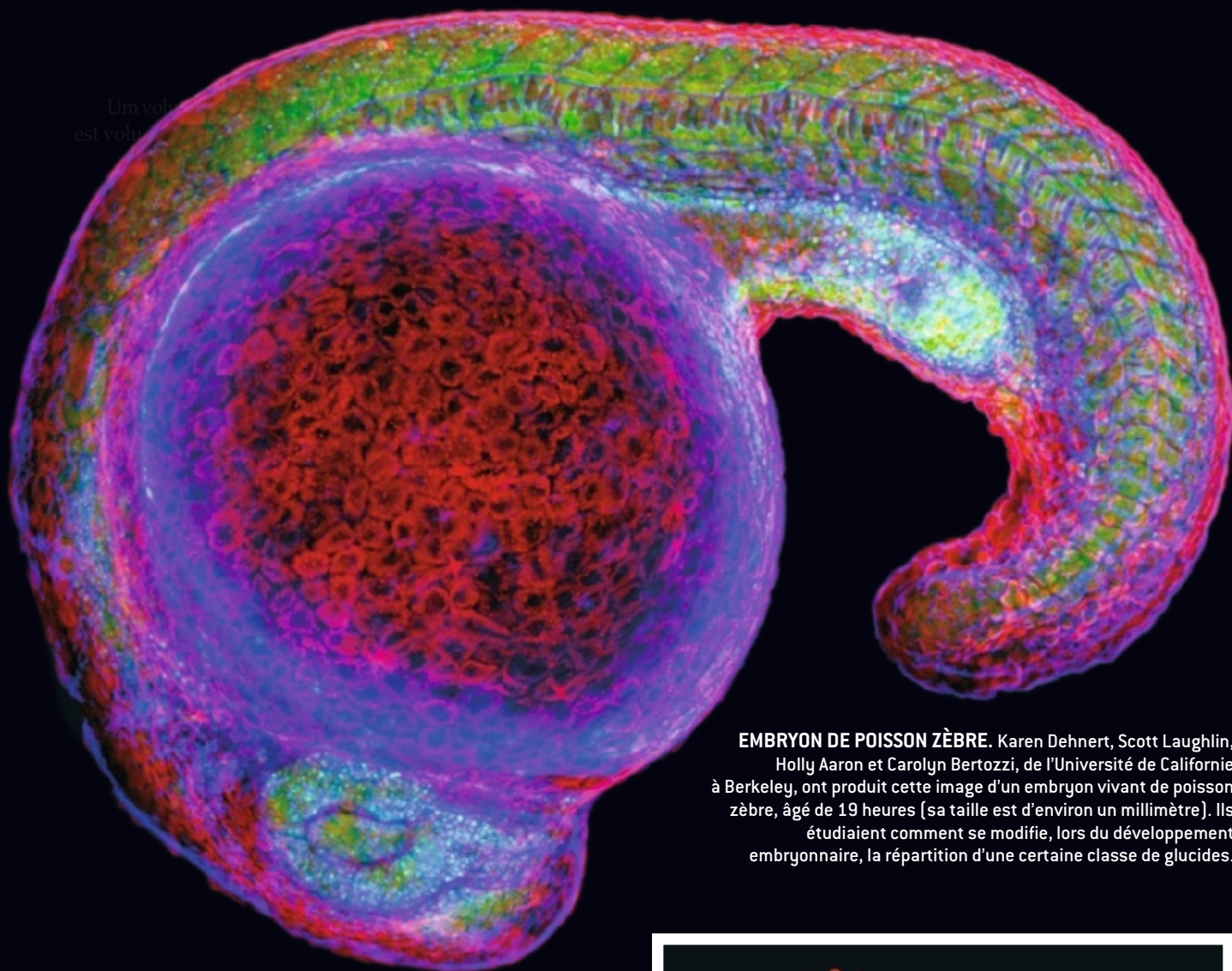


DIVISION D'UNE DIATOMÉE. La diatomée marine *Rhizosolenia setigera* subit ici une division cellulaire, mode de reproduction asexué où une cellule mère donne naissance à deux cellules filles. Les structures dorées sont des chloroplastes, où s'effectue la photosynthèse. Wolfgang Bettighofer, un amateur allemand, a obtenu cette image bien nette en combinant 15 photographies.

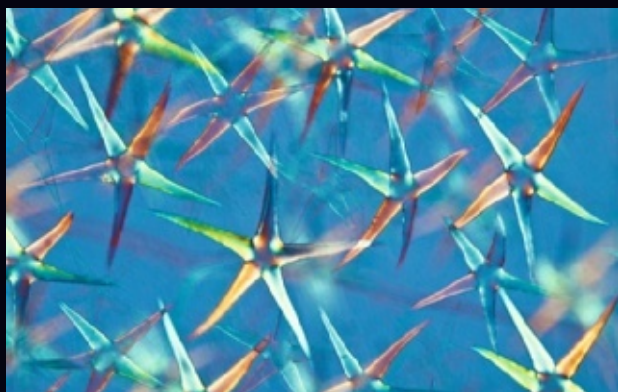


AILE DE PAPILLON. La beauté abstraite d'une aile de papillon se révèle dans cette image proposée par Sahar Khodaverdi, étudiant en biologie végétale à l'Université de Tabriz, en Iran. Les ailes de papillons sont recouvertes de délicates écailles. La couleur et l'iridescence des ailes sont dues à la fois aux pigments des écailles et à l'interaction de la lumière avec leurs microstructures.

Un vol
est volu



EMBRYON DE POISSON ZÈBRE. Karen Dehnert, Scott Laughlin, Holly Aaron et Carolyn Bertozzi, de l'Université de Californie à Berkeley, ont produit cette image d'un embryon vivant de poisson zèbre, âgé de 19 heures (sa taille est d'environ un millimètre). Ils étudiaient comment se modifie, lors du développement embryonnaire, la répartition d'une certaine classe de glucides.



POILS RECOUVRANT UNE FEUILLE. Ces poils en forme d'étoiles tapissent les feuilles de l'arbuste ornemental *Deutzia scabra*. Mesurant un quart de millimètre, ces poils photographiés par Steve Lowry constituent une protection contre les animaux qui broutent, le vent, le gel et le rayonnement ultraviolet. Au Japon, les ébénistes utilisent les feuilles de cet arbuste pour un polissage de qualité.



SPORANGES DE FOUGÈRE. Le dessous des feuilles de fougères présente de petits amas sombres nommés sores. Chaque sore regroupe des « sporanges » qui contiennent plusieurs spores. Le neurobiologiste Igor Siwanowicz a visualisé avec des colorants fluorescents un amas de sporanges (structures multicolores) de la fougère *Polypodium virginianum*. La taille de l'amas est d'environ un millimètre.

Retrouvez plus d'images sur
www.pourlascience.fr

