





LE JET-STREAM POLAIRE

se dérègle-t-il ?

Jeff Masters

Ces dernières années, de nombreux aléas climatiques ont marqué les étés et les hivers de l'hémisphère nord. Une perturbation du jet-stream polaire, peut-être due à la fonte de la banquise arctique, est en jeu.

Durant l'hiver 2013-2014, le jet-stream polaire est devenu fou. Ce courant aérien rapide s'est aventuré bien plus loin vers le Sud que d'habitude, glaçant l'Est des États-Unis jusqu'à Atlanta, une ville subtropicale... Dans le même temps, la barrière de haute pression que ce « courant-jet » – son autre nom français – avait installé au-dessus de la Californie y a créé le plus chaud hiver depuis 1850.

En Europe, après avoir fait connaître à l'Angleterre et au Pays de Galles leur hiver le plus pluvieux depuis 1766 au moins, le jet-stream a déclenché une succession de tempêtes destructrices et entraîné des températures si élevées que des incendies de forêt se sont déclenchés spontanément en Norvège en janvier ! Par ailleurs, après que les organisateurs des Jeux olympiques d'hiver de Sotchi eurent lutté pendant toute la compétition

LES EMBRUNS ISSUS D'UN LAC
gèlent à peine retombés, lors d'une tempête hivernale dans le Michigan.

L'ESSENTIEL

- **Le jet-stream polaire est un courant d'air rapide évoluant à une dizaine de kilomètres d'altitude.**
- **Ces dernières années, ses méandres entre Nord et Sud se sont amplifiés, ce qui a déclenché une série d'aléas climatiques.**
- **Pour certains chercheurs, la forte réduction de la banquise arctique est à l'origine du phénomène ; d'autres sont en désaccord avec cette explication.**
- **Quoi qu'il en soit, si le jet-stream polaire reste perturbé, sécheresses, inondations et vagues de chaleur vont se succéder.**

contre la fonte de la neige, un tiers de la Bosnie se retrouva noyé sous les eaux de pluie au printemps suivant.

Nous verrons pourquoi ces effets du jet-stream polaire sont tout à fait anormaux. Puis, en examinant l'explication que certains climatologues proposent à ses errements, et les fortes critiques qu'elle suscite, nous constaterons que toutes ces idées ont en commun de faire jouer un rôle essentiel au changement climatique.

Les ondes de Rossby

Tel un grand serpent, le jet-stream polaire ondule sous les latitudes moyennes. Nommés ondes de Rossby ou ondes planétaires, ses gigantesques méandres l'amènent loin vers le Sud, puis le ramènent vers le Nord. Typiquement, ces ondes traversent les États-Unis en trois à cinq jours, où elles font littéralement « la pluie et le beau temps ». Quand l'ondulation s'amplifie, les masses d'air déplacées par le courant-jet parcourent le globe plus lentement, voire restent

stationnaires, ce qui engendre des conditions climatiques inhabituelles pendant un certain temps, plusieurs semaines parfois. C'est ce qui s'est produit pendant l'hiver 2013-2014; de fait, Shih-Yu Wang de l'Université d'État de l'Utah, a établi que le jet-stream de cette période présentait une onde d'une amplitude inédite.

Un cas exceptionnel? Peut-être pas, si l'on prend conscience de la répétition des événements météorologiques violents associés aux configurations tourmentées du jet-stream. Durant l'été 2010, la pire vague de chaleur jamais enregistrée en Russie a tué... 55000 personnes. Au même moment, le déluge qui s'abattait sur le Pakistan y entraînait les pires inondations de l'histoire du pays. Dans l'Oklahoma, l'été 2011 fut le plus chaud jamais noté dans un État américain, et il fut suivi en 2012 par la pire sécheresse ayant sévi aux États-Unis depuis les années 1930...

Qu'ont de commun les configurations du courant-jet polaire observées lors de ces événements? Selon une étude publiée en

2013 par Vladimir Petoukho et son équipe, de l'Institut de recherche de Potsdam, sur les effets du changement climatique, les méandres du jet-stream se propageant habituellement vers l'Est «se sont tous immobilisés et amplifiés». Or le phénomène est déjà ancien: pendant les 11 étés qui se sont égrainés entre 2001 et 2012, les blocages des méandres du courant-jet polaire ont duré de quelques jours à plusieurs mois. Par ailleurs, ils ont aussi été deux fois plus fréquents qu'au cours des 22 années précédentes.

Le réchauffement climatique en cause?

L'humanité a-t-elle perturbé le système climatique d'une façon qui affecte le grand courant substratosphérique? Au cours des 150 dernières années, la combustion de charbon, de gaz naturel et de pétrole a augmenté de plus de 40% la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone, le principal gaz à effet de serre après la vapeur

d'eau. La quantité d'énergie solaire réfléchie par la Terre a aussi changé parce que nous avons créé des champs, des pâturages et des villes sur plus de la moitié des terres de la planète. Les nuages de poussières rejetées par les industries et les automobiles modifient aussi la réflexion et l'absorption du rayonnement solaire. L'augmentation de la température moyenne de la planète qui en a résulté depuis 1900 a fait disparaître la moitié de la surface de banquise arctique estivale. Cela modifie aussi le bilan radiatif de la Terre, puisque la glace renvoie 60% du rayonnement solaire qu'elle reçoit. Pour Shih-Yu Wang et ses collègues, sans le réchauffement climatique d'origine anthropique (humaine), la forme du jet-stream n'aurait pas tant changé.

Le nouveau comportement du grand courant subatmosphérique est d'autant plus préoccupant que la réaction du système climatique aux facteurs dont il dépend n'est pas linéaire. En particulier, elle inclut des effets de seuil. C'est pourquoi les climatologues discutent beaucoup de la possibilité



CES NUAGES D'ALTITUDE suivent le jet-stream au-dessus du Canada oriental (l'île du Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse, est visible au centre). Les vents du jet-stream peuvent atteindre 300 kilomètres par heure.

Science Source

que le système climatique de notre planète ait durablement basculé vers un nouveau régime. Ils se demandent en particulier si les errements du jet-stream ne pourraient pas être dus au réchauffement régional le plus rapide de toute la planète : celui de l'Arctique.

Un courant d'air méandreux

Pour mieux comprendre la question, commençons par décrire la structure générale d'un courant-jet. Situés entre 9 et 14 kilomètres d'altitude, ces grands couloirs de vent font le tour de la planète dans les deux hémisphères. Le fait que leurs latitudes varient suivant les saisons est important, car ce sont les courants-jets qui guident les dépressions porteuses de précipitations. Celui qui nous intéresse plus particulièrement ici – le jet-stream polaire – court normalement au-dessus du centre des États-Unis et vient s'épuiser au-dessus de l'Europe. En été, il s'approche de la frontière canadienne. De grandes ondes de Rossby le caractérisent, qui influencent beaucoup la météorologie : là où le jet-stream polaire s'incurve vers le Nord, se dessine une crête de haute pression, de sorte que de l'air chaud s'écoule du Sud vers le Nord ; là où le jet-stream s'incurve vers le Sud, se forme une vallée dépressionnaire, et de l'air froid va du Nord au Sud.

Le jet-stream polaire trouve son origine dans le transport de l'énergie des tropiques vers les pôles (voir les deux pages suivantes). Par ailleurs, l'atmosphère accumule plus ou moins d'énergie en fonction du flux solaire, de la forme et de la position des continents, des océans et des courants océaniques, de la présence ou non de chaînes de montagnes, de la quantité de gaz à effet de serre et de poussières, etc. Selon l'évolution de ces facteurs d'une région ou d'une saison à l'autre, les masses d'air qui la composent adoptent des modes de circulation différents, comparables aux modes de vibration d'un système résonnant : ce que l'on nomme des téléconnexions atmosphériques. Une certaine variabilité due à ces téléconnexions peut modeler le jet-stream polaire, de sorte qu'il est difficile de savoir si son comportement récent dénote ou pas un changement durable.

Les deux plus importantes téléconnexions de l'hémisphère Nord sont d'une part le couple associant El Niño – un

■ L'AUTEUR



Jeff MASTERS, météorologue américain, dirige l'entreprise de prévisions météorologiques *Weather Underground*. Il tient le blog météo *WunderBlog*.

Qui a découvert le courant-jet ?

Des cerfs-volants puis des ballons ont signalé la présence de vents rapides de haute altitude dès le XIX^e siècle. Mais le météorologue japonais Oishi Wasaburo (1874-1950) fut le premier à en mesurer la vitesse par des lâchers de ballons-sondes depuis le Mont Fuji. L'Occident, qui ignorait ces travaux, découvrit l'existence de « fortes rivières d'air » à haute altitude grâce à l'aviateur américain Wiley Post (1898-1935) à la fin des années 1920.

réchauffement saisonnier de l'eau du Pacifique dû au courant marin du même nom, qui suit un cycle de trois à huit ans – à l'oscillation australe – une oscillation de la pression atmosphérique dans le Pacifique Sud ; et d'autre part l'oscillation arctique – une fluctuation variable de semaine en semaine de la pression au niveau de la mer entre l'Arctique et les latitudes moyennes.

Nommée ENSO (de l'anglais *El Niño–Southern Oscillation*) dans le jargon climatologique, la première téléconnexion a pour effet d'attirer le jet-stream polaire vers le Sud au-dessus du Pacifique. L'oscillation arctique, la deuxième oscillation, rend pour sa part possible des méandres du jet-stream de grande amplitude, lorsqu'une baisse des différences de pression entre latitudes hautes et moyennes affaiblit ses vents ; cela explique que de l'air froid s'aventure en hiver loin au Sud au-dessus de l'Est des États-Unis, de l'Europe occidentale et de l'Asie orientale.

Or ces téléconnexions atmosphériques peuvent se contrecarrer ou au contraire se renforcer, car elles sont entrelacées. Un changement de l'état de base de l'atmosphère pourrait donc modifier le fonctionnement de l'ENSO et de l'oscillation arctique, et, partant, celui du jet-stream polaire. Les conformations inhabituelles observées récemment s'expliquent-elles de cette façon ?

Une situation jamais vue par les climatologues

C'est ce qu'a pensé Jennifer Francis de l'Université de Rutgers, quand elle a constaté la conformation prise par le jet-stream en 2011. Un jet-stream extrêmement méandreux a en effet cohabité une partie de l'année en question avec un événement La Niña (l'inverse d'un événement El Niño) d'intensité faible à modérée, une situation que les climatologues n'avaient jamais vue. Pour l'expliquer, Jennifer Francis émet l'hypothèse que cet événement inédit était relié à la diminution de la superficie de banquise arctique, laquelle influerait sur l'oscillation arctique. Selon ses propres mots, la question n'est pas de savoir si la diminution de la banquise affecte la circulation atmosphérique, mais plutôt : comment ne le pourrait-elle pas ?

L'Arctique se réchauffe en effet deux fois plus vite que le reste de l'hémisphère Nord, phénomène que l'on nomme « amplification arctique ». Selon Jennifer Francis, l'amplification arctique pourrait perturber

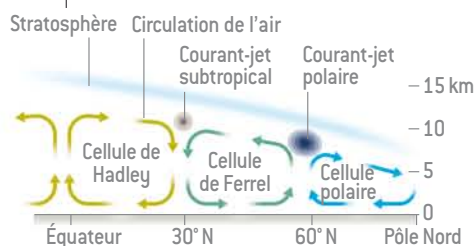
Dans chaque hémisphère, deux grands courants rapides de haute altitude – ou jet-streams – font le tour de la Terre : le jet-stream polaire et le jet-stream subtropical. Les ondulations du courant polaire s'amplifient parfois, amenant de l'air anormalement chaud ou froid vers de vastes régions continentales. Le blocage de ces ondulations plusieurs semaines d'affilée entraîne vagues de chaleur et sécheresses, inondations ou gels prolongés. Deux causes possibles de ces grandes ondulations sont avancées, qui font notamment intervenir le changement climatique (voir la page ci-contre).

LA FORMATION DU JET-STREAM

L'équateur recevant plus d'énergie solaire que les pôles, l'air chaud s'y élève, se heurte à la stratosphère, puis s'écoule vers les pôles. La rotation de la Terre entraîne une circulation de cet air au sein des cellules polaires et subtropicales, aux limites desquelles des jet-streams naissent afin d'équilibrer les différences de pression entre cellules.

QUAND LES JET-STREAMS ONDULENT, FROID OU CHAUD S'ACCENTUE

Quand les ondulations d'un jet-stream polaire s'amplifient, d'énormes masses d'air chaud parviennent bien plus loin au Nord qu'à l'habitude sous certaines longitudes, tandis que des masses d'air froid envahissent le Sud sous d'autres longitudes. Ces ondulations se déplacent vite et changent les conditions météorologiques en quelques jours.



CELLULES ATMOSPHÉRIQUES

Cellule polaire

Cellule de Ferrel

Cellule de Hadley

ANORMALEMENT
CHAUD ET SEC

ANORMALEMENT
FROID ET HUMIDE

H Hautes pressions

B Basses pressions

Il arrive que les ondes de Rossby, c'est-à-dire les incurvations du jet-stream polaire, s'immobilisent. Il s'ensuit alors de longues périodes de conditions inhabituelles.

Rayonnement solaire

Chaleur absorbée

Conséquences à long terme

Si la reconfiguration du jet-stream polaire devenait permanente, tempêtes, sécheresses et autres événements climatiques extrêmes deviendraient dans l'hémisphère Nord la norme plutôt que l'exception.

POURQUOI LE JET-STREAM ONDULE-T-IL DAVANTAGE ? DEUX THÉORIES

1 Les téléconnexions atmosphériques

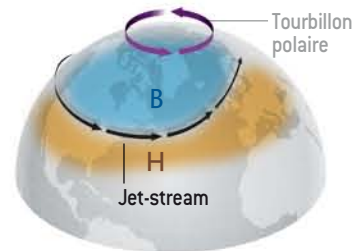
Les téléconnexions, c'est-à-dire les modes de circulation de l'air dans l'atmosphère, peuvent changer, ce qui altère la trajectoire du jet-stream. Deux téléconnexions auraient des effets notables sur le jet-stream polaire : l'ENSO et l'oscillation arctique.



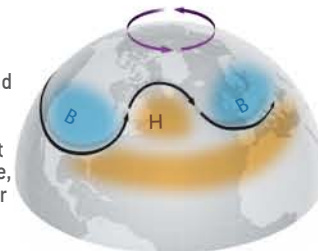
L'ENSO ou la téléconnexion El Niño-Oscillation australe

Cette oscillation de la pression atmosphérique tropicale a deux phases : El Niño, qui déplace vers l'Est l'eau plus chaude de l'océan Pacifique et décale le jet-stream vers le Sud ; La Niña, qui apporte de l'eau froide et décale le jet-stream vers le Nord. La forte amplitude récente de ces phases, liée à la structure du jet-stream, est peut-être liée au réchauffement climatique.

La trajectoire du jet-stream est rectiligne quand la différence de pression entre latitudes polaires et moyennes est grande, ce qui maintient l'air froid au pôle.



Le jet-stream décrit des méandres quand la différence de pression entre latitudes polaires et moyennes est faible, ce qui amène de l'air froid au Sud et de l'air chaud au Nord.



L'oscillation arctique

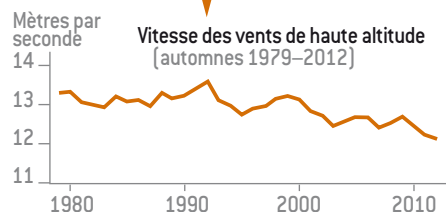
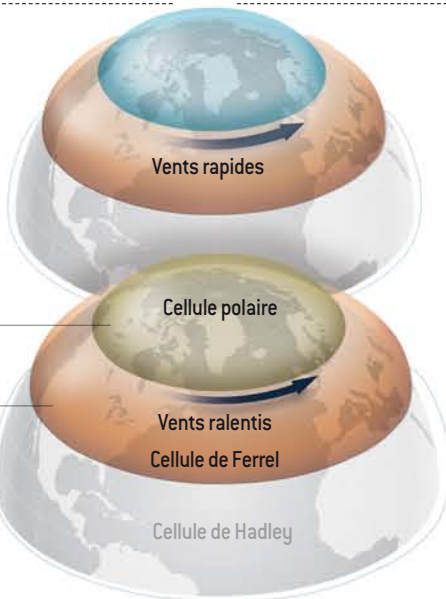
De semaine en semaine, la pression au niveau de la mer entre l'Arctique et les latitudes moyennes varie, ce qui fait évoluer le jet-stream entre les deux états décrits ci-dessus.

2 L'amplification arctique

Dans l'Arctique, l'air se réchauffe deux à trois fois plus vite que sous les latitudes moyennes, surtout à cause de la réduction de la banquise. La faible différence de température entre les latitudes polaires et moyennes (à droite) qui en résulte ralentit le jet-stream et amplifie ses ondulations.



Moins de banquise et de vents
Entre 1980 et 2010, la banquise arctique a perdu 40 % de sa superficie, tandis que les vents de haute altitude traversant l'Amérique du nord perdaient 14 % de leur vitesse. Ce ralentissement est associé à l'apparition de grandes incurvations dans le jet-stream.



Sur le front de la lutte contre le dérèglement climatique

Fin 2014, à Lima au Pérou, les négociations de la COP20 (la 20^e Conférence des Parties signataires de la Convention Climat) ont préparé la signature espérée d'un accord mondial sur le climat lors de la COP21, qui se tiendra en décembre 2015 à Paris.

Cet accord devient urgent, car si le jet-stream est bien sur le point d'entrer dans un régime nouveau, cela ne présage rien de bon. Dans un article publié en août 2014, James Screen, de l'Université d'Exeter en Angleterre, et un collègue en identifient les effets potentiels. Si les oscillations du jet-stream « sont amplifiées en réponse au changement climatique anthropique, comme il a été proposé », écrivent-ils, « nos résultats suggèrent que cela augmentera surtout la fréquence des vagues de chaleur dans l'Ouest de l'Amérique du Nord et en Asie centrale, des vagues de froid

dans l'Est de l'Amérique du Nord ainsi que des sécheresses dans le centre de l'Amérique du Nord, en Europe et en Asie centrale, ou encore des précipitations massives en Asie occidentale. »

Ce nouveau régime signifierait plus de sécheresses estivales massives dans le Midwest. Des séries de tempêtes de neige hivernales, telle le *Snowmageddon* (le « monstre de neige ») qui a isolé Washington en 2010, frapperont souvent l'Amérique du Nord. Étant donné l'augmentation du prix des denrées alimentaires due aux sécheresses à répétition qui affecteront le centre de l'Amérique du

Nord, l'Europe et l'Asie centrale, le nouveau régime du jet-stream signifierait aussi des famines dans le monde entier.

Comme l'illustre l'article de Jeff Masters, de plus en plus de climatologues pensent que le réchauffement climatique est à l'origine de l'évolution du jet-stream. Dès lors, quels sont les espoirs de limiter les dégâts ?

Il en existe, puisque le dialogue international sur les moyens de limiter la hausse de la température terrestre moyenne s'améliore. Tout d'abord, plus aucun pays n'affirme qu'il est trop tôt pour parvenir à un accord, a-t-on constaté pendant la COP20. Les signes encourageants se multiplient par ailleurs. Ainsi, l'Union européenne a fait savoir qu'elle veut réduire de 40 % ses émissions de gaz à effet de serre avant 2030. Par ailleurs, les deux

plus grands pollueurs de la planète se sont pour la première fois accordés sur des objectifs de réduction de leurs émissions. Tandis que les États-Unis veulent les réduire de 26 à 28 % avant 2030, la Chine s'est engagée... à commencer à les faire décroître la même année.

Le ministère français des Affaires étrangères annonce que le but de la COP21 est de parvenir à un « accord ambitieux et contraignant face au défi du dérèglement climatique qui s'appliquerait à tous les pays ». La France, qui accueillera les participants sur le site de Paris-Le Bourget, cherchera à y établir un « agenda de solutions », c'est-à-dire une batterie d'initiatives complémentaires suffisante pour maintenir le réchauffement planétaire à moins de 2 °C.

– François Savatier
Pour la Science

de façon significative la forme et la position du jet-stream dans l'hémisphère Nord. En effet, l'une des principales causes de l'amplification arctique est la disparition de la banquise. La fonte des glaces et un régime de vents défavorables ont fait disparaître 49 % de la superficie moyenne de la banquise depuis 1979, ce qui correspond à six fois la surface de la France ! Or, puisqu'elle est de couleur foncée, la mer absorbe davantage le rayonnement solaire que la banquise. Moins de banquise signifie donc un océan et une atmosphère plus chauds, ce qui signifie moins de banquise, donc plus de réchauffement, etc.

Après avoir emmagasiné de la chaleur pendant le printemps et l'été, l'eau marine la libère en automne et en hiver, ce qui exerce une grande influence sur l'état de l'atmosphère arctique. L'inhabituelle amplification arctique résulte aussi de la diminution de la couverture neigeuse, dont témoignent les trois jours d'avance que prend le printemps chaque décennie récente. En effet, la disparition de la neige expose le sol arctique, qui, étant foncé, absorbe mieux le rayonnement solaire que la neige. Résultat : il sèche, d'où une

saison chaude plus précoce dans les régions arctiques continentales.

L'amplification arctique due à la disparition de surfaces importantes de banquise et de couverture neigeuse a considérablement diminué la différence de température entre les latitudes hautes et moyennes, ce qui réduit l'énergie transférée entre ces régions. De fait, depuis 1979, la baisse de l'écart de température entre les latitudes polaires et moyennes s'est accompagnée d'une réduction automnale de 14 % de la vitesse des vents d'altitude au-dessus de l'Amérique et de l'Atlantique nord.

Le courant-jet ralenti qui en résulte parcourt de larges méandres sinueux, et Jennifer Francis a montré que leur amplitude a augmenté depuis 2000. En conséquence, d'énormes masses d'air chaud ou d'air froid parviennent plus loin que d'habitude, les premières vers le Nord et les secondes vers le Sud. Les modèles physiques montrent que le ralentissement du jet-stream freine la progression des ondes de Rossby vers l'Est, voire l'interrompt, ce qui fait perdurer des conditions climatiques anormales.

Parmi les spécialistes de météorologie, le comportement fantasque du jet-stream

a soulevé une... tempête. Si de nombreux experts s'accordent sur le fait que le jet-stream change, beaucoup notent que l'amplification arctique n'est réellement marquée que depuis 15 ans, une période trop brève pour conclure.

Pas le bon bilan énergétique ?

D'autres doutent que l'amplification arctique puisse expliquer le comportement erratique du jet-stream pour des raisons énergétiques. L'énergie contenue dans l'air déplacé par le jet-stream étant énorme, la quantité de chaleur nécessaire pour faire évoluer la forme du grand courant aérien est considérable. Or Kevin Trenberth, du Centre national américain de recherche atmosphérique, a fait observer que la quantité de chaleur que l'amplification arctique a apportée à la région polaire est dix fois inférieure à celle accompagnant les évolutions naturelles du jet-stream induites par l'ENSO (El Niño-oscillation australe). Avec des collègues, il a montré que dans l'océan Pacifique tropical, les transferts naturels d'énergie visibles ces récentes années sont

dus à une téléconnexion nommée oscillation décennale du Pacifique. Selon ces chercheurs, les évolutions de cette téléconnexion au cours des dix dernières années traduiraient la façon dont le changement climatique modifie les transferts d'énergie dans le Pacifique tropical.

Aussi n'est-il pas étonnant que Kevin Trenberth ait fait partie d'un groupe de cinq éminents climatologues qui, en février 2014, a critiqué le travail de Jennifer Francis dans la revue *Science*. Pour ces cinq chercheurs, la thèse d'un lien entre réchauffement de l'Arctique et l'ondulation excessive du jet-stream « mérite qu'on y prête attention ». Toutefois, écrivent-ils aussi, les « arguments théoriques qui la sous-tendent ne sont pas irréfutables ».

Pénuries et famines en perspective ?

D'autres chercheurs doutent carrément de l'amplification des oscillations du jet-stream. Après les avoir étudiées en appliquant une définition différente de celle de Jennifer Francis, ils trouvent peu de différences statistiques dans les amplitudes des méandres du jet-stream ces dernières années et avant... Pour sa part, Dim Coumou, de l'Institut de recherche sur les effets du changement climatique à Potsdam, avance avec des collègues que la réduction de l'écart de température entre les latitudes polaires et moyennes suffit sans doute à amplifier les méandres du jet-stream, voire leurs blocages, en été du moins.

Les chercheurs peuvent polémiquer, mais la météorologie parle : les événements météorologiques les plus destructeurs de toute l'histoire des États-Unis, tels les 148 tornades qui ont frappé le Midwest en 1974, les sécheresses et les tempêtes de poussière des années 1930, la grande inondation du Mississippi de 1927 – ont tous été égalés ou dépassés entre 2011 et 2012 seulement... La planète se réchauffant, les températures de plus en plus élevées qui nous attendent ne pourront qu'induire la pénétration de vagues de chaleur dans les crêtes dessinées par le jet-stream. Si les théories avancées par Jennifer Francis et ses collègues sont correctes, aucun retour vers notre ancien climat ne sera possible, sauf à trouver un moyen de produire de la banquise. Par ailleurs, aucun climatologue ne croit en un rétablissement de la banquise sur le long terme, puisque la concentration atmosphérique du dioxyde

de carbone continue d'augmenter d'environ 0,5 % par an.

Parmi tous les événements climatiques catastrophiques que subit l'humanité, les pires sont les sécheresses, car elles affectent nos ressources alimentaires. Ainsi, si une zone de haute pression associée à un méandre de forte amplitude du jet-stream devait stationner tout un été au-dessus des greniers à blé de la Russie et des États-Unis, les pluies indispensables à ces cultures n'arriveraient pas. Les mauvaises récoltes qui s'ensuivraient entraîneraient alors une forte hausse des prix des denrées alimentaires, voire des famines.

C'est ce qui s'est produit en 2010, lorsqu'une zone de haute pression s'est installée durablement au-dessus de la Russie. Les dépressions qui apportent normalement les pluies estivales en Russie ont été déviées vers le Pakistan, où elles ont causé des inondations catastrophiques. Si la sécheresse qu'ont alors endurée les grandes plaines russes est la pire catastrophe naturelle jamais endurée par la Russie, elle a aussi eu des conséquences ailleurs : comme le pays avait interrompu ses exportations, les cours du blé ont grimpé sur les marchés mondiaux et contribué à déclencher les révoltes des « printemps arabes » de 2011.

Pour le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), nous devons agir vite, afin de maintenir le réchauffement prévisible sous la barrière des deux degrés Celsius (voir l'encadré page précédente). Le GIEC préconise pour cette raison le triplement avant 2050 des productions d'énergie sans émission de gaz à effet de serre, à commencer par les productions d'électricité éolienne, solaire et nucléaire. Sans cela, nous ne parviendrons pas à faire chuter les émissions de gaz à effet de serre de 40 à 70 % par rapport aux niveaux de 2010. Le GIEC assure que ce changement pourrait être réalisé sans réduire la croissance économique mondiale de plus de 0,06 % par an. En revanche, si nous attendons jusqu'à 2030, il sera bien plus difficile d'agir. L'année 2030 est justement celle où, d'après les projections, la banquise estivale aura complètement disparu...■

2030

L'année où, d'après les projections, la banquise estivale aura complètement disparu.

■ BIBLIOGRAPHIE

K. Thomas *et al.*, *Linkages between Arctic Warming and Mid-Latitude Weather Patterns: Summary of a Workshop*, National Academies Press, 2014 [téléchargement gratuit sur www.nap.edu].

Le site de prévisions météorologiques de l'auteur, en français : <http://french.wunderground.com/>

UN HÉRITAGE d'un nouveau genre

Michael K. Skinner

**Des polluants ou un stress peuvent altérer l'expression
des gènes sans modifier les séquences génétiques.
Certaines de ces anomalies – et les maladies associées –
se transmettraient aux générations suivantes.**

Lorsque mes enfants sont nés, il y a environ 30 ans, je savais qu'à peu près la moitié de leur ADN était un héritage du mien. À l'époque, on pensait qu'il n'existait qu'une seule voie de transmission des informations biologiques hérissables des parents aux enfants, du moins chez les humains et autres mammifères : le transfert de l'ADN du spermatozoïde et de l'ovule à l'embryon.

Bien sûr, on savait que l'ADN n'est pas tout. Si de nombreux traits y sont inscrits sous la forme de gènes codants – des séquences qui déterminent la forme et la fonction des protéines –, ce que nous absorbons compte aussi. Les conditions de vie – l'alimentation, la pollution, le stress – influent sur le fonctionnement des gènes. Par exemple, on invoque souvent les facteurs sociaux et environnementaux pour expliquer pourquoi de vrais jumeaux souffrent parfois de maladies différentes, malgré un patrimoine génétique très similaire.

Ce que l'on ignorait en revanche, c'est qu'on lègue à ses descendants bien plus qu'un code d'ADN. Nos enfants, mais aussi leurs enfants et petits-enfants, pourraient hériter d'une information dite épigénétique. Comme

L'ESSENTIEL

- L'expression des gènes est régulée par des facteurs dits épigénétiques – des marques biochimiques sur les chromosomes qui laissent inchangée la séquence d'ADN.
- La plupart de ces marques sont réinitialisées peu après la fécondation.
- L'environnement (polluants, stress, alimentation, etc.) peut introduire des erreurs épigénétiques et modifier ainsi le comportement des cellules.
- Certaines de ces erreurs pourraient être transmises aux descendants.

© Chris Frazer/Smith Gallery/Stock

l'information génétique portée par l'ADN, l'information épigénétique est contenue dans les chromosomes et régule le fonctionnement des cellules. Mais il ne s'agit pas de séquences d'ADN et cette information peut être sensible à l'environnement. Ses vecteurs sont divers, incluant de petites molécules biochimiques qui se fixent sur l'ADN et les protéines composant les chromosomes.

Les recherches menées dans notre laboratoire et d'autres, principalement sur des rats et des souris, ont révélé que certains polluants – notamment des produits chimiques agricoles, le kérosène et même certains plastiques – sont en mesure d'entraîner des aberrations épigénétiques. Et ces anomalies peuvent elles-mêmes se traduire en maladies et problèmes de fertilité, sans que la séquence d'ADN soit modifiée. Plus étonnant, lorsque de telles « épimutations » surviennent dans les cellules qui deviendront des ovules ou des spermatozoïdes, elles peuvent devenir permanentes et être transmises aux générations suivantes – avec leurs éventuels risques pour la santé.

Des études sur le long terme suggèrent que les épimutations se transmettraient de génération en génération aussi chez les