

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'en suivraient 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](http://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.**

**L**orsque 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



humains. Si tel est bien le cas, les implications pour la santé publique seraient considérables. La forte progression de l'obésité, du diabète et d'autres maladies chez les enfants du *baby-boom* et les plus jeunes générations pourrait être liée, en partie, à l'exposition de leurs parents et de leurs grands-parents à des polluants tels que la dioxine et le DDT, un insecticide abondamment utilisé dans les années 1950-1960.

## La matière noire du génome

Les effets épigénétiques sont connus depuis quelque temps, mais l'étendue de leur rôle n'est apparue que récemment. Il y a plusieurs dizaines d'années, des biologistes ont remarqué que des groupes méthyle ( $\text{CH}_3$ ) sont attachés à l'ADN en de nombreuses positions (voir l'encadré pages 68-69). Chez les mammifères, dont l'homme, cette modification se rencontre souvent aux endroits où la lettre C du code génétique (la cytosine) précède la lettre G (la guanine) – une configuration que l'on retrouve environ 28 millions de fois dans l'ADN.

Les scientifiques ont tout d'abord cru que la fonction principale de cette méthylation de l'ADN était de réprimer les transposons – des fragments d'ADN capables de se déplacer dans le génome, provoquant parfois des maladies. Aujourd'hui, nous savons que la méthylation participe aussi à la régulation de l'activité des gènes et qu'elle est perturbée dans de nombreuses maladies, dont le cancers.

Dans les années 1990, des biologistes ont mis en évidence d'autres types de marques épigénétiques et leur fonctionnement. Ils ont découvert que des groupes méthyle, acétyle ( $\text{COCH}_3$ ) et d'autres modifications biochimiques marquent des groupes de protéines nommées histones. Dans un chromosome, la molécule d'ADN s'enroule autour de chaque groupe d'histones, formant comme un collier de perles. Les marques épigénétiques contrôlent le degré de resserrement des boucles d'ADN autour des perles et l'écart entre chaque perle, ce qui active ou inhibe des ensembles entiers de gènes. Par exemple, les gènes situés dans les endroits très compacts sont mis sous silence, car inaccessibles à la machinerie qui lit les gènes.

Depuis, on a identifié d'autres acteurs épigénétiques tels que la structure tridimensionnelle changeante de l'ADN