

Des vents particulièrement dévastateurs

Il ne faut pas confondre tornades, tempêtes extratropicales et cyclones tropicaux (aussi nommés ouragans pour l'Amérique ou typhons pour l'Asie). Ces trois types de phénomènes peuvent être accompagnés de vents violents, mais les conditions de leur formation, la superficie touchée et la violence des éléments associés sont très différentes. Ainsi, les tempêtes et les cyclones tropicaux sont des phénomènes de grande échelle qui se déplacent sur des milliers de kilomètres et dont les effets dévastateurs touchent parfois plusieurs millions de kilomètres carrés : souvenons-nous par exemple de la tempête Xynthia qui, entre le 26 février et le 1^{er} mars 2010, a traversé l'Europe du Portugal à la Scandinavie, faisant 59 morts et près de deux milliards d'euros de dommages ; ou encore de Katrina, un ouragan qui, en août 2005, a traversé l'Amérique du Nord depuis la Floride jusqu'au Québec en laissant la Louisiane sous les eaux et en provoquant plus de 1 800 décès et des dommages estimés à plus de 60 milliards d'euros.

Au contraire, les tornades sont des phénomènes de petite dimension (rarement plus d'un kilomètre de diamètre horizontal) et de courte durée (quelques minutes à quelques dizaines de minutes), qui touchent des superficies de quelques kilomètres carrés. Mais ces systèmes peuvent atteindre une violence extrême avec des vitesses de vent, parfois supérieures à 400 ou 500 kilomètres par heure, qui peuvent raser les maisons même les plus solides et projeter à plus de 100 mètres des objets de la taille d'une automobile. Aux États-Unis, pays très touché par ce phénomène, on répertorie en moyenne chaque année entre 1 000 et 1 500 tornades dont une trentaine est meurtrière et fait plus d'une centaine de morts et d'énormes dégâts. En France, les tornades meurtrières sont peu fréquentes, environ une tous les cinq ans.

En raison de leur petite taille et de leur courte durée de vie, les tornades échappent souvent à la surveillance des radars et des satellites météorologiques, même les plus performants. Celles qui provoquent peu de dégâts passent inaperçues et ne

sont pas répertoriées. Il n'est pas non plus possible de prévoir leur lieu d'impact en extrapolant la trajectoire observée, comme on le fait par exemple pour les cyclones tropicaux, et l'échéance de prévision qui pourrait être ainsi obtenue (au plus quelques minutes) est trop courte pour alerter la population. Pour les mêmes raisons, les tornades ne peuvent être représentées de façon explicite dans les modèles actuels de prévision du temps dont la résolution horizontale (maille de grille ou pixel) est rarement inférieure à dix kilomètres. De ce fait, leur prévision fait appel à l'observation et à la prévision d'éléments précurseurs de plus grande dimension et d'indi-

cateurs de conditions favorables à leur développement (instabilité verticale de l'atmosphère, rotation du vent, etc.).

Dans ce domaine, *Météo-France* a un atout de taille avec le modèle *Arome*, un modèle de prévision numérique particulièrement fin (2,5 kilomètres de résolution horizontale) et précis qui a été spécialement conçu pour détecter les conditions d'instabilité favorables au développement des orages les plus violents, ceux qui produisent les crues rapides, les chutes de grêle, les foudroiements ou les tornades.

Jean-Pierre Chalon
Météo-France



Un cyclone tropical est un système qui s'enroule autour d'une zone calme, l'œil du cyclone.

© Shutterstock/Vladislav Gurfinkel

✓ SUR LE WEB

Service météorologique américain de la NOAA :
<http://weather.gov>

Centre de prévision des orages violents de la NOAA :
www.spc.noaa.gov

Carte de vigilance de Météo-France :
http://bit.ly/PLS417_vigilance

Par exemple, avec une résolution d'environ 1,6 kilomètre, les modèles simuleront les conditions régnant à petite échelle qui transforment subitement un orage ou un ouragan classiques en un phénomène monstrueux. B. Lapenta prévoit que des simulations numériques à haute résolution pourraient commencer à voir le jour à partir de 2020. Il estime que dans les dix prochaines années, le potentiel toujours croissant des nouveaux radars et des nouveaux satellites sera associé à une nouvelle génération de modèles de prévisions météorologiques d'une extrême précision, fonctionnant en temps réel sur des ordinateurs dont la vitesse dépasserait le milliard de milliards d'opérations par seconde. Cela nécessite de repenser la structure des systèmes de modélisation et du traitement informatique des données.

Si ces investissements considérables se révèlent payants, les prévisionnistes n'auront pas besoin d'attendre qu'une image radar détecte une tempête en train de se former pour déclencher

une alerte dans un délai de 14 à 18 minutes. À la place, ils seront en mesure de lancer un avertissement de tornade, de violent orage ou de crue subite en se fondant sur des prévisions élaborées par des modèles extrêmement précis et obtenues suffisamment à l'avance pour laisser aux habitants les 30 à 60 minutes qu'il leur faut pour se préparer.

Grâce à toutes ces améliorations, les météorologues seront en mesure de prévoir plus tôt et avec plus d'exactitude les aléas météorologiques qui sont susceptibles de paralyser une ville, comme une tempête de neige ou du verglas. Les prévisions pourront être établies cinq jours à l'avance pour des mauvaises conditions atmosphériques, et plus de sept jours avant un ouragan. La menace des crues de printemps dues à la fonte des neiges serait anticipée des semaines à l'avance. Cette perspective d'un pays qui aura assez de temps pour se préparer à résister à tous les scénarios est motivée par le désir d'éviter le fiasco constitué par les catastrophes de 2011. ■

Des GÈNES SAUTEURS dans le cerveau

Fred Gage et Alysson Muotri

Comment des vrais jumeaux, élevés de la même façon, peuvent-ils avoir des personnalités différentes ? Des fragments d'ADN qui se déplacent dans le génome des neurones l'expliqueraient en partie.

L'ESSENTIEL

- ✓ Les « gènes sauteurs », des copies de fragments d'ADN, s'insèrent en divers endroits du génome, ce qui peut modifier le fonctionnement des cellules.
- ✓ Les sauts de gènes sont fréquents dans l'organisme, surtout dans le cerveau ; des différences de comportement et de sensibilité aux maladies mentales en résulteraient.
- ✓ Un tel mécanisme, potentiellement délétère, aurait été préservé au cours de l'évolution, car il rend le cerveau plus adaptable.

Deux cerveaux ne sont jamais parfaitement identiques. Des différences apparaissent, de la cellule à l'architecture macroscopique : le cerveau humain contient 100 milliards de neurones, qui se déclinent en milliers de types distincts ; en outre, il existe plus de 100 000 milliards de connexions entre ces neurones. Ces différences favorisent la diversité de la pensée et des comportements, et influent sur la sensibilité aux maladies mentales.

D'où vient la diversité des réseaux de neurones et des fonctions cérébrales ? Elle résulte en partie de celle du patrimoine génétique. Les expériences vécues interviennent aussi, par exemple en influant sur l'intensité des connexions entre des ensembles particuliers de neurones. Pourtant, des vrais jumeaux, élevés par les mêmes parents, peuvent avoir des différences marquées de caractère, de comportement et de sensibilité aux maladies du cerveau. Ainsi, des souris génétiquement semblables, d'âge et de sexe identiques et traitées de la même façon en laboratoire, n'ont ni les mêmes capacités d'apprentissage ni les mêmes réactions d'évitement et de réponse au stress.

Des facteurs différents de l'hérédité et de l'environnement sont donc à l'œuvre. Susceptibles d'intervenir à un stade précoce du développement embryonnaire ou plus tard au cours de la vie, ils modifient par exemple les gènes ou la production de protéines. Ainsi, lors de l'épissage alternatif, les ARN issus de la transcription d'un gène sont « taillés » de diverses façons, de sorte qu'un même gène peut coder deux protéines différentes, voire davantage. Les protéines effectuant la plupart des opérations dans les cellules, cela influe sur le fonctionnement des tissus. De nombreux chercheurs étudient également le rôle des modifications épigénétiques, qui changent l'activité des gènes (en augmentant ou en diminuant la quantité de protéines synthétisées) sans modifier le code génétique.

Au cours des dernières années, nous avons découvert, avec nos collègues, des suspects fascinants, qui semblent plus actifs dans le cerveau que dans d'autres tissus : des gènes sauteurs, aussi nommés éléments mobiles. Identifiés chez presque toutes les espèces, y compris chez l'homme, ces derniers sont capables de se dupliquer et de s'insérer dans diverses régions du

génom. Ils peuvent ainsi changer le fonctionnement de la cellule, qui ne se comporte plus comme ses voisines. En grand nombre, ces sauts de gènes seraient susceptibles de modifier certains aspects du fonctionnement du cerveau.

Pourtant, le cerveau ne doit pas se dérégler. Dès lors, pourquoi l'évolution a-t-elle permis à un processus qui modifie sa programmation génétique de persister ? Bien que nous n'ayons pas de réponse à cette question, nous pensons qu'en créant de la variabilité dans les cellules cérébrales, les gènes sauteurs rendent les organismes plus flexibles et aptes à s'adapter plus

rapidement à un nouvel environnement. Ces gènes sauteurs auraient donc été conservés par l'évolution, car le bénéfice serait supérieur aux risques.

Si l'on sait depuis longtemps que des éléments mobiles se déplacent dans le génome, on découvre chaque jour un peu plus l'importance de leur activité dans le cerveau. Le saut de gènes a été découvert pour la première fois dans des plantes, avant même que James Watson et Francis Crick ne décrivent la structure en double hélice de l'ADN en 1953. Dans les années 1940, Barbara McClintock, du Laboratoire de Cold Spring Harbor, a observé

que des éléments contrôlant l'expression des gènes se déplaçaient d'un endroit à un autre dans le génome du maïs. Sous l'effet du stress, certaines régions du génome migraient et activaient ou inactivaient des gènes à proximité de leur nouvel emplacement. Lors de ses expériences, McClintock a produit des épis de maïs aux grains de couleurs différentes. Elle a ainsi créé des mosaïques génétiques, où les gènes étaient activés et inactivés selon des schémas parfois différents d'une cellule à la cellule voisine.

Une mosaïque génétique

Les recherches de McClintock, qui se sont d'abord heurtées au scepticisme de la communauté scientifique, lui ont valu le prix Nobel en 1983. Progressivement, il est devenu évident que le phénomène des mosaïques génétiques ne se limite pas aux plantes, mais concerne de nombreux organismes, y compris l'homme.

McClintock a étudié des transposons, des éléments mobiles qui se déplacent dans le génome de la cellule par un mécanisme de « couper-coller » : ils s'extraient de l'ADN environnant, puis s'insèrent en un nouvel endroit. Des recherches plus récentes sur les éléments mobiles du cerveau portent sur des rétrotransposons, qui agissent plutôt par copier-coller : ils se répliquent au lieu de s'extraire de l'ADN, et c'est la copie qui se déplace.

Les rétrotransposons représentent la moitié de l'ADN du génome humain. En comparaison, les quelque 25 000 gènes codant des protéines constituent moins de deux pour cent de notre ADN. Les gènes sauteurs sont des descendants des premiers systèmes moléculaires de réplication, qui ont envahi les génomes des eucaryotes (des organismes dont les cellules ont un noyau). On les a longtemps considérés comme de l'ADN non fonctionnel, mais en 1988, un groupe dirigé par Haig Kazazian, de l'Université de Pennsylvanie, a montré qu'ils étaient actifs chez l'homme.

En particulier, un type de rétrotransposon nommé LINE 1 ou L1 (pour *Long Interspersed Nuclear Element*, soit Long élément nucléaire disséminé) joue un rôle clé dans le génome humain. Il se déplace souvent, probablement parce que, contrairement à d'autres éléments mobiles, il code sa propre machinerie de saut ; elle lui permet d'insérer des copies dans des



1. CHAQUE CERVEAU EST UNIQUE,
à l'image de chaque empreinte digitale.

Jean-François Pothuizen