

Tornades

Des alertes plus précoces

Grâce à de nouveaux radars et satellites, il sera possible de mieux anticiper la formation des tornades et ainsi d'épargner de nombreuses vies.

Jane Lubchenco et Jack Hayes

Au grondement assourdissant d'un orage succède un silence sinistre dans la ville de Joplin dans le Missouri. Puis, dans un hurlement, les tentacules d'une gigantesque tornade émergent d'un ciel sombre. Des vents dépassant 320 kilomètres par heure entaillent la ville sur plus d'un kilomètre de large et presque dix de long, détruisant les écoles, un hôpital, des entreprises et des maisons, et faisant plus de 160 victimes sur leur passage.

Près de 20 minutes avant que la tornade ne frappe, en ce dimanche après-midi du 22 mai 2011, le Service météorologique fédéral avait émis un avertissement. Cela faisait des jours que les prévisions météorologiques annonçaient de mauvaises conditions et la vigilance aux tornades était en place depuis plusieurs heures. L'alerte a été donnée plus tôt que d'habitude. Mais cela n'était pas encore suffisant, car si les services d'intervention d'urgence étaient en état d'alerte avancée, beaucoup d'habitants ignoraient ce qui allait se passer.

La tornade qui s'est abattue sur la ville de Joplin n'est qu'une des nombreuses tragédies qui ont endeuillé les États-Unis durant le printemps 2011. Un mois plus tôt, une série de violentes tornades dévastaient plusieurs zones du Sud, tuant plus de 300 personnes. Il y eut plus de 750 tornades pour le seul mois d'avril : un record.

En 2011, les tornades ont fait près de 550 victimes, la quatrième année la plus meurtrière dans l'histoire des États-Unis. La facture matérielle, elle aussi, a été considérable. Les tornades du mois

de mai (dont celle de Joplin), les tempêtes de neige et les inondations causées par des ouragans, ont coûté à chaque événement plus de un milliard de dollars. Et le rythme ne semble pas faiblir en 2012.

Les outils de prévision d'événements climatiques extrêmes ont beaucoup évolué au cours des dernières décennies. Les chercheurs et les ingénieurs de la NOAA, l'organisme américain chargé de l'étude des océans et de l'atmosphère veulent encore accroître la capacité des radars, des satellites et des supercalculateurs à anticiper les tornades, à prévoir les inondations et l'intensité des ouragans. Si les efforts portent leurs fruits, dans dix ans, la population sera avertie une heure avant que ne survienne, par exemple, une violente tornade. Les habitants auront le temps de réagir, de rassembler leur famille et de se mettre à l'abri.

Des radars plus performants

Le météorologue Doug Forsyth dirige les programmes mis en place pour améliorer les techniques des radars, qui ont un rôle important dans les prévisions météorologiques. Travaillant dans un laboratoire de la NOAA, à Norman dans l'Oklahoma, il cherche à allonger les délais d'alerte qui précèdent les tornades. En effet, les plus meurtrières se forment très rapidement et le radar est le principal instrument permettant aux prévisionnistes de les détecter.

Un radar fonctionne en émettant des ondes radio qui sont réfléchies par

L'ESSENTIEL

✓ De meilleures prévisions météorologiques permettront d'anticiper les tempêtes.

✓ Des nouvelles générations de radars et de satellites, complétées par des modèles numériques plus précis, surveilleront mieux les tornades.

✓ Ces améliorations devraient donner les moyens de prévenir les populations près d'une heure avant l'arrivée de la tornade.

David Maynew

SÉRIEUX AVERTISSEMENTS

Beaucoup de personnes ont péri en mai 2011 lors des tornades qui ont frappé la ville de Joplin, dans le Missouri, en raison de la violence des intempéries (voir les photographies aériennes page ci-contre). Or bien des vies auraient pu être épargnées si la population avait eu le temps de s'abriter en lieu sûr. Van-kita Brown, sociologue à la NOAA, a travaillé avec les équipes du Service météorologique des États-Unis pour identifier ce qui aurait pu inciter les citoyens à agir. Ils ont découvert que de nombreuses personnes n'ont pas réagi après avoir entendu la première sirène ou la première alerte à la tornade. En fait, elles ont

attendu que la nouvelle leur soit confirmée par d'autres sources. Ce n'est qu'à ce moment qu'elles semblent avoir cherché un abri. D'autres n'ont tout simplement pas pris ce risque assez au sérieux.

Comme l'explique V. Brown, la plupart des gens pensent que des événements graves, mais peu fréquents, tels que les tornades et les ouragans, ne les concernent pas personnellement. On ne passe du sentiment d'être « en sécurité » à celui d'être « en danger » qu'après une catastrophe collective. Après la tornade de Joplin, la NOAA a appelé à un débat sur la façon dont on pouvait organiser le pays pour

être prêt à affronter les risques météorologiques.

Les résultats de plusieurs études mettent l'accent sur un certain nombre de dispositions susceptibles de persuader les gens à agir en cas d'alerte. À la radio et à la télévision, les météorologues peuvent indiquer avec précision la localisation d'une tempête sur le point de se déclencher. Parce que les personnes ont davantage tendance à entrer en action si elles voient des proches s'activer, ceux qui se préparent à l'arrivée d'une tempête peuvent utiliser *Facebook* ou *Twitter* pour inciter leurs proches à agir. La NOAA pourrait en-

courager cette attitude en actualisant sa propre page *Facebook* et son propre compte *Twitter* – une mesure testée actuellement – et en mettant en avant les alertes via *Google Maps*. L'Agence fédérale américaine de gestion des urgences et la Commission fédérale des communications ont aussi commencé à diffuser des messages à partir de chaque tour de téléphonie, à destination de tous les téléphones mobiles se trouvant dans leur périmètre. Associées aux alertes lancées en amont, de telles mesures devraient permettre de limiter l'ampleur de ces tragédies.



les particules présentes dans l'atmosphère, telles les gouttes d'eau, la glace, voire les insectes et la poussière. En analysant la puissance du signal réfléchi et le temps écoulé entre l'émission et la réception de l'onde, les prévisionnistes peuvent localiser les précipitations et en évaluer l'intensité. Le radar Doppler, utilisé aujourd'hui par le Service météorologique national des États-Unis, mesure également le changement de fréquence du signal réfléchi, ce qui indique la vitesse et la direction du déplacement des précipitations. Grâce à ces informations clés, les météorologues détectent les mouvements de rotation qui s'opèrent à l'intérieur de l'orage et qui annoncent la formation d'une tornade.

En 1973, Rodger Brown, Les Lemon et Don Burgess, des météorologues de la NOAA, ont découvert le potentiel prédictif de ces informations en analysant les données provenant d'une tornade qui avait frappé Union City, dans l'Oklahoma. En observant un cumulonimbus – le type de nuage qui donne les orages et les tornades –, ils avaient remarqué que le radar mesurait des vitesses horizontales de vent extrêmement fortes en direction du radar juste à côté de vitesses de vent aussi élevées dans le sens opposé. L'aspect visuel de cisaillement sur la carte des vents était si extraordinaire que les chercheurs, au début, ne voyaient pas bien ce que cela signifiait. Mais après avoir associé le signal radar et l'emplacement de la tornade, ils les nommèrent signature tourbillonnaire des tornades (*Tornado*

Vortex Signature). Ce phénomène est aujourd'hui le critère le plus utilisé et reconnu pour évaluer la probabilité qu'une tornade soit déjà formée ou qu'elle se développe dans un avenir proche. Ces données ont permis d'allonger le délai d'alerte d'environ trois minutes et demie en 1987 à 14 minutes aujourd'hui.

Bien que le radar Doppler ait déjà été amélioré, il n'est pas parfait. Il ne permet pas aux météorologues de percevoir la nature des particules présentes dans la zone d'intérêt, ce qui permettrait de faire la différence, par exemple, entre une tempête de pluie et une tempête de sable.

Des radars à vision double

L'une des améliorations essentielles porte le nom de double polarisation. Elle correspond à l'émission simultanée d'ondes électromagnétiques polarisées verticalement et horizontalement. Les prévisionnistes peuvent alors distinguer, avec beaucoup plus de fiabilité, les différents types de précipitation et avoir une idée de leur ampleur. Bien que les gouttes de pluie et les grêlons aient parfois la même largeur – et donc apparaissent identiques sur les images transmises par le radar Doppler –, la double polarisation permet de voir qu'elles n'ont pas la même épaisseur et que les premières sont plus plates. Distinguer les diverses formes des particules réduit le nombre d'hypothèses que le

météorologue doit faire pour interpréter les images radar. Cette approche permet de préciser les prévisions pour savoir, par exemple, si on doit se préparer à de la grêle ou à de la pluie.

Les informations recueillies sur la taille et la forme des particules aident aussi à distinguer les petits débris charriés par le vent et dont la taille donne une estimation de la force de l'orage. Il est ainsi possible d'identifier si une tornade est en train de se former. Les données relatives aux particules sont d'autant plus précieuses qu'une tornade n'est pas toujours directement visible. Elle peut être masquée par une forte pluie ou survenir de nuit. Dans ces conditions, la double polarisation détecte quand même les débris aéroportés.

Le Service météorologique des États-Unis est en train d'intégrer la technique de la double polarisation dans ses 160 radars Doppler répartis sur tout le territoire et espère avoir terminé d'ici mi-2013. Ce dispositif est utile également pour surveiller les précipitations lors des ouragans et des tempêtes de neige. En même temps, la NOAA forme son personnel à l'interprétation de ces nouvelles images. Le Bureau des prévisions météorologiques de Newport/Morehead City, en Caroline du Nord, a été le premier à observer un cyclone tropical en utilisant ce type de radar lorsque l'ouragan Irène a frappé la Caroline du Nord en 2011. Au cours de cette tempête, les radars à polarisation double ont permis d'estimer les précipitations avec une meilleure précision que les radars Doppler clas-



Joplin, Missouri, août 2009



Après le passage de la tornade en mai 2011

AP Photo/Image aérienne avec l'aimable autorisation de M.J. Harden, A Geovye Company

siques installés plus au Nord. Cette nouvelle génération de radars a conduit à une bonne anticipation des inondations et a probablement sauvé des vies parce que les populations avaient été prévenues – les régions du Nord, elles, ont déploré une trentaine de victimes.

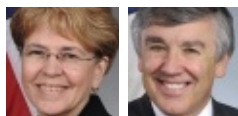
Selon Pamela Heinselman, météorologue à la NOAA, un autre type de radar de pointe améliorerait notablement les prévisions météorologiques. Ce système s'inspire de celui utilisé par la marine américaine pour détecter et suivre les navires et les missiles ennemis. P. Heinselman est à la tête d'une équipe d'ingénieurs en électricité, de prévisionnistes et de chercheurs en sciences sociales qui travaillent à l'Observatoire national de météorologie radar à Norman, dans l'Oklahoma. Leurs travaux portent sur les radars tridimensionnels à balayage électronique. Expliquons de quoi il s'agit.

Les radars Doppler actuels ne sondent qu'une seule direction à la fois, qui correspond à une petite zone du ciel. L'antenne est montée sur un moteur qui la fait tourner de 360 degrés pour un angle d'inclinaison donné par rapport au sol. À chaque tour, elle change d'inclinaison pour sonder un autre secteur de l'atmosphère. Une fois accompli cet échantillonnage du bas vers le haut qui, en période d'orage proche, équivaut à 14 rotations (le sommet d'un système orageux est plus haut que celui d'un système pluvieux et nécessite donc plus de balayages pour atteindre des angles d'inclinaisons plus importants), le radar se repositionne au point de départ

et recommence le processus. Balayer l'ensemble de l'atmosphère dans des conditions climatiques difficiles prend quatre à six minutes avec un radar Doppler.

En revanche, les radars tridimensionnels à balayage électronique émettent plusieurs faisceaux simultanément selon différents angles, ce qui évite de faire varier l'inclinaison des antennes et réduit la durée de balayage à moins d'une minute. Ce gain de temps permettra aux météorologues de détecter des évolutions rapides à l'intérieur de l'orage et, au bout du compte, de déceler plus vite les changements qui provoquent les tornades.

LES AUTEURS



Jane LUBCHENCO dirige la NOAA, l'organisme américain chargé de l'étude des océans et de l'atmosphère.

Jack HAYES dirige le Service météorologique de la NOAA.

Des réseaux de satellites

De nombreux spécialistes estiment qu'avec les radars tridimensionnels à balayage électronique, le délai d'alerte dépassera 18 minutes, mais il reste encore beaucoup à faire en matière de recherche et développement. L'idéal serait d'équiper le système tridimensionnel à balayage électronique de quatre panneaux (un pour chacun des points cardinaux) qui émettraient et recevraient des ondes radio pour fournir une vue à 360 degrés de l'atmosphère. À Norman, les chercheurs n'ont pour l'instant réalisé que des systèmes à un panneau dédiés à la surveillance météorologique et il faudra au moins une dizaine d'années avant que les radars tridimensionnels à balayage électronique ne deviennent la norme aux États-Unis.

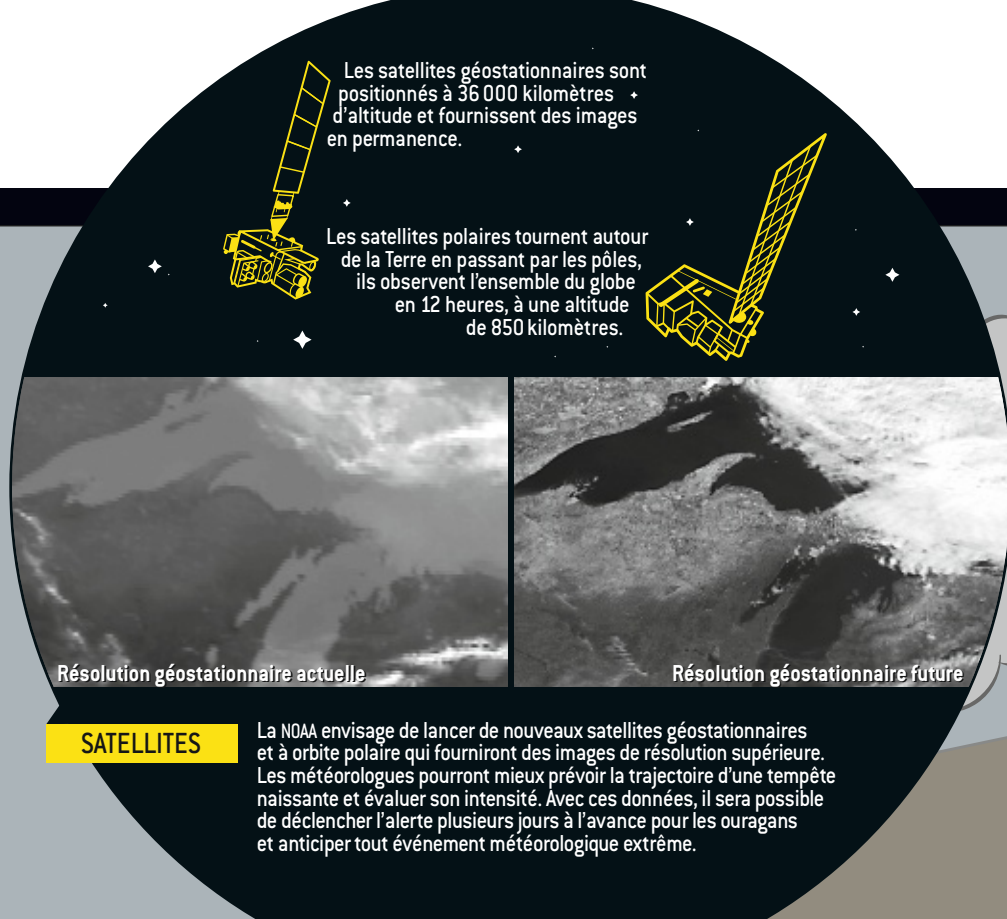
✓ BIBLIOGRAPHIE

C. B. Fields et al. (éds.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, Rapport spécial IPCC, Cambridge University Press, à paraître.
<http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/>

R. Davies-Jones, *La naissance des tornades*, *Dossier Pour la Science*, vol. 51, avril-juin 2006.

La prévision des tempêtes a beaucoup progressé. Les prévisionnistes, par exemple, peuvent désormais lancer une alerte environ 14 minutes avant qu'une tornade ne se produise. L'organisme américain chargé de l'étude des océans et de l'atmosphère (NOAA) met au point de nouveaux systèmes de prévision. Le délai pourrait être sensiblement accru pour tous les types d'événements météorologiques extrêmes.

Avec l'aimable autorisation du NOAA (cartes)



Les radars ont une portée limitée : leurs ondes ne peuvent pas atteindre les régions au large des côtes, où les ouragans se forment et elles sont bloquées par les montagnes. Les prévisionnistes se servent dans ce cas des relevés effectués par satellites, qui complètent par une information globale les données locales des radars. Les satellites météorologiques de la NOAA fournissent plus de 90 pour cent des informations utilisées pour les prévisions quotidiennes ou à plus long terme. Leur rôle est déterminant lorsqu'il s'agit de lancer des bulletins d'alerte plusieurs jours à l'avance. Afin d'améliorer la collecte de ces renseignements, la NOAA va déployer toute une gamme de nouveaux satellites dans les cinq ans à venir.

En l'absence d'observations spatiales plus détaillées, on ne peut espérer élargir l'éventail des prévisions météorologiques et augmenter leur degré de précision, surtout en ce qui concerne des événements aussi extrêmes que les ouragans. Pour étudier les conditions météorologiques, il faut deux types de satellites : en orbite géostationnaire et polaire. Les satellites en orbite géostationnaire, situés à la verticale d'un point de l'équateur, à une altitude de 36 000 kilomètres, transmettent quasiment en continu des vues de la surface de la Terre. En utilisant des images prises en boucle à 15 minutes d'intervalle,

les prévisionnistes peuvent surveiller la croissance rapide des orages ou les modifications qui surviennent dans les ouragans (mais pas dans les tornades, car elles sont trop petites, avec un diamètre de quelques mètres à quelques centaines de mètres et leur durée de vie de quelques minutes à quelques dizaines de minutes est trop courte).

Les satellites polaires sont en orbite autour de la Terre en passant au-dessus des pôles à une altitude d'environ 850 kilomètres. Ils observent de façon rapprochée et plus détaillée la température et l'humidité des différentes couches de l'atmosphère. Un réseau mondial de ces satellites en orbite terrestre basse couvre l'ensemble du globe en 12 heures.

La NOAA projette de lancer une nouvelle série de satellites en orbite terrestre basse dans les dix ans à venir, dans le cadre du Système de satellites météorologiques polaires commun entre l'Europe et les États-Unis. Ces nouveaux dispositifs, équipés d'instruments plus perfectionnés, remplaceront les satellites vieillissants. Leurs données seront intégrées dans des modèles informatiques pour améliorer les prévisions météorologiques, y compris en ce qui concerne la trajectoire et l'intensité des ouragans, les orages violents et les grandes inondations. L'ensemble des capteurs micro-

ondes et infrarouges transmettront des informations tridimensionnelles nettement plus précises sur la température, la pression et l'humidité de l'atmosphère. Il sera possible d'observer les signes avant-coureurs d'un orage violent : les variations brutales de la température et du taux d'humidité, accompagnées d'une chute de la pression atmosphérique. Les capteurs infrarouges fournissent ce type de mesures dans des zones dépourvues de nuages. Les capteurs micro-ondes, eux, peuvent « voir » à travers les nuages et prendre des mesures sur toute la surface de la Terre.

En avril 2011, cinq jours avant qu'un violent orage ne s'abatte sur six États du Sud des États-Unis, les données des satellites en orbite polaire et leur analyse par les modèles météorologiques conduisirent le Centre de prévisions nationales des orages de la NOAA à annoncer un risque de « déclenchement d'une tornade d'une puissance potentiellement historique ». Le Centre évalua que le danger était maximal à minuit juste avant l'orage. Ce niveau d'alerte est réservé aux cas les plus extrêmes, présentant un fort risque d'intempéries très violentes. Les nouveaux satellites en orbite terrestre basse devraient permettre de réaliser de telles prévisions cinq à sept jours à l'avance.

AMÉLIORER LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Des courants ascendants d'air chaud et humide participent à la formation d'une tornade qui concentre de forts tourbillons de vents.

Un radar à double polarisation peut repérer une tornade même invisible pour l'œil humain.

RADAR

Deux nouveaux types de radar devraient accroître le délai d'alerte. La technique de la double polarisation détecte les zones de fortes précipitations. Les radars tridimensionnels à balayage électronique exploreront plus vite et de façon plus approfondie le ciel, et détecteront les événements violents plus tôt.

Exemple de données fournies par un radar à double polarisation

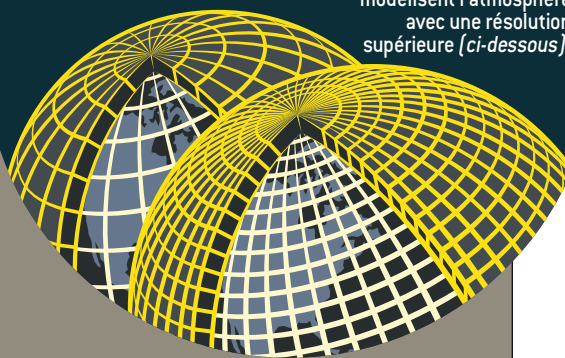
Zone de fortes précipitations

Les satellites géostationnaires font aussi l'objet d'améliorations. Des instruments de pointe, qui fourniront des images de la Terre dans les gammes visible et infrarouge seront embarqués sur les satellites GOES-R qui doivent être lancés en 2015. Les météorologues auront un meilleur suivi de l'intensification rapide des orages grâce à des images prises toutes les 5 minutes, au lieu de 15 actuellement. Les satellites GOES-R seront aussi les premiers au monde à fournir des cartes des endroits où frappe la foudre sur le continent nord-américain. Le suivi des impacts de foudre aidera les prévisionnistes à détecter une augmentation du nombre des éclairs intranuageux et nuages-sol, augmentation liée à un orage qui gagne en intensité. Les travaux de recherche menés sur le sujet laissent penser que le nombre d'éclairs augmente dans les 20 minutes qui précèdent l'arrivée de la grêle, de vents violents ou même de tornades.

SUPERCALCULATEURS

Des ordinateurs plus puissants exploiteront les données des satellites et des radars sur des modèles plus performants. Les prévisionnistes pourront émettre des bulletins d'alerte avant le début des intempéries.

Les nouveaux ordinateurs modélisent l'atmosphère avec une résolution supérieure (ci-dessous).



Chacun de ces nouveaux systèmes de radars et de satellites améliorerait de quelques minutes les délais d'alerte, et même de beaucoup plus si l'on incorporait les données obtenues par tous ces dispositifs dans des modèles numériques. Les alertes à la tornade, par exemple, pourraient être émises jusqu'à une heure à l'avance. C'est ce type de délai qui aurait fait toute la différence à Joplin.

Les modèles de prévision sont fondés sur un ensemble de lois physiques régissant les écoulements atmosphériques, les réactions chimiques, etc. Ils assimilent des milliards de données sur les conditions météorologiques, telles que la température, la pression, le vent, afin de prévoir la situation future. Les modèles reposent sur un découpage de l'atmosphère en une grille tridimensionnelle depuis la surface de la Terre jusqu'en haut de la stratosphère, à 50 kilomètres d'altitude. À chaque cellule, on associe les données mesurées par les différents moyens d'observation et qui correspondent à des moyennes sur tout le volume de la cellule. Des programmes contenant des millions de lignes de code sont nécessaires pour gérer les milliards de cellules de la grille et estimer l'évolution des conditions météorologiques.

Un modèle de prévision classique utilise des grilles dont chaque élément couvre des carrés de 10 à 50 kilomètres de côté au sol. Plus la grille est dense, plus la résolution du modèle est élevée, et plus la simulation numérique sera performante dans la détection de modifications atmosphériques à petite échelle, susceptibles d'engendrer des orages. Traiter davantage de données nécessite néanmoins des supercalculateurs plus rapides.

Modéliser l'atmosphère

La modélisation est l'étape indispensable avant l'interprétation des résultats. Bill Lapenta dirige ces travaux d'interprétation dont découlent des prévisions à différentes échéances et jusqu'à plus de 72 heures à l'avance. Les équipes de la NOAA comparent leurs résultats avec ceux des autres centres internationaux pour définir les prévisions qui seront présentées dans les bulletins météorologiques des différents médias.

Les supercalculateurs de la NOAA à Fairmont, en Virginie-Occidentale, peuvent effectuer 73 100 milliards d'opérations par seconde. Mais B. Lapenta pense que des vitesses plus grandes peuvent être atteintes, ce qui permettra aux modèles de prendre en compte des grilles plus serrées.

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



© 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. ■

Futura-Sciences, le magazine de la découverte, de la science et de l'innovation



WWW.FUTURA-SCIENCES.COM



- **Actualités** : l'actu des sciences et des technologies analysée en continu.
- **Dossiers** : du réchauffement climatique à la grippe A, les enjeux clés en images avec plus de 800 dossiers.
- **Forums** : 50 forums thématiques pour poser toutes vos questions et échanger avec 300 000 membres.
- **Questions / réponses** : des réponses simples à des questions du quotidien.
- **Services** : fonds d'écran, cartes virtuelles, emploi, téléchargements, puzzles...

Retrouvez tous ces thèmes sur
www.futura-sciences.com

Grippe A

Nutrition

Environnement

Jardinage



Réchauffement climatique

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