

Le réseau neuronal respiratoire, ou oscillateur central, situé dans le tronc cérébral est capable d'assurer à lui seul l'activité respiratoire automatique. Mais certains comportements impliquent de retenir sa respiration : pour plonger en apnée, prolonger l'expiration pour faire vibrer ses cordes vocales et terminer une longue phrase, ou encore mobiliser ses muscles abdominaux. Le cortex déclenche alors une commande volontaire des muscles respiratoires qui prend le dessus sur l'oscillateur central.

Outre les expériences mentionnées par M. Parkes et quasi impossibles à reproduire aujourd'hui pour des raisons éthiques, les recherches conduites chez les rongeurs ont permis de décrire de nombreux réflexes permettant de stopper l'oscillateur respiratoire du tronc cérébral. Parmi les mécanismes les plus puissants capables de provoquer une apnée réflexe (non volontaire), citons la stimulation des récepteurs sensoriels de l'arrière gorge (cavités du pharynx et du larynx) ou des fibres nerveuses sensibles qui en sont issues, tels les nerfs laryngés supérieurs. Cette stimulation se produit naturellement lors de l'ingestion d'aliments ou de boissons. Ce déclenchement réflexe de l'apnée résulte d'une inhibition rapide et puissante de l'inspiration contrôlée par l'oscillateur du tronc cérébral, ce qui empêche d'avaler de travers. Ce réflexe de protection vise à préserver l'intégrité des poumons et à maintenir le libre passage de l'air dans la trachée et les

poumons. Ces mécanismes d'apnée réflexe entraînent une pause du réseau respiratoire, stoppant l'oscillation rythmique automatique. Cependant, l'oscillateur échappe rapidement à l'inhibition (en quelques dizaines de secondes), et la respiration redémarre.

Il est donc vraisemblable que l'apnée volontaire du plongeur s'accompagne d'une inhibition de l'oscillateur central exercée par le cortex pendant une courte durée. Par conséquent, le maintien de l'apnée nécessiterait une inhibition des neurones moteurs reliés aux muscles du thorax (diaphragme et muscles intercostaux), mais aussi des voies aériennes supérieures (langue, pharynx, larynx). Toutefois, cette hypothèse, qui reste à confirmer, implique que les neurones moteurs qui innervent le diaphragme reçoivent deux ordres contradictoires : la commande excitatrice normale venant de l'oscillateur central et une commande inhibitrice venant du cortex, qui doit être plus forte que la première.

Par ailleurs, il existe un modèle animal qui pourrait fournir un début d'explication à cette énigme neurophysiologique. Une lignée particulière de souris (C57BL/6J) fait des apnées spontanées et assez fréquentes (une à deux par minute). L'enregistrement des nerfs qui commandent la motricité du diaphragme et du larynx indique la présence d'une décharge nerveuse de faible amplitude pendant toute la durée de l'apnée à la fois pour le diaphragme et pour le larynx. Ces obser-

vations plaident en faveur d'une contraction du diaphragme et du larynx.

Un autre mécanisme utilisé par les plongeurs apnéistes souhaitant repousser leurs limites confirmerait que le larynx joue bien un rôle dans le contrôle volontaire de la respiration : déglutir prolonge le temps d'apnée. En effet, le cycle respiratoire est interrompu pendant la déglutition et la phase expiratoire suivant le mouvement de déglutition est prolongée de façon réflexe. Cette dernière phase s'accompagne d'une inhibition du larynx et du diaphragme, ce qui en limite la fatigue. Ces interactions nerveuses qui s'opèrent de façon réflexe dans le tronc cérébral permettraient au plongeur de gagner environ une seconde de temps d'apnée à chaque déglutition.

Enfin, soulignons un dernier facteur parmi tous ceux que le cerveau doit analyser pour « décider » la reprise de la respiration après une apnée. Notre modèle animal nous a permis de montrer qu'il existe dans le tronc cérébral des chimiorécepteurs sensibles au dioxyde de carbone et à l'oxygène. Ces neurones du noyau rétrotrapezoïde joueraient un rôle essentiel dans la stimulation de l'oscillateur central et donc dans la reprise de la respiration après un arrêt volontaire.

Christian Gestreau,

Centre de recherche en neurobiologie et neurophysiologie de Marseille

qu'elle restait souvent ouverte pendant toute la durée de l'apnée. Cette observation semble confirmer que le diaphragme joue un rôle clé.

Des applications en médecine

Une meilleure compréhension de la capacité à retenir sa respiration a des applications en médecine. Ainsi, les femmes atteintes d'un cancer du sein subissent des séances de radiothérapie, durant lesquelles il faut irradier la tumeur en administrant des doses létales, sans endommager les tissus sains aux alentours. Cette opération nécessite une exposition aux rayonnements de plusieurs minutes, pendant lesquelles la patiente doit essayer de maintenir sa poitrine immobile. Comme on ne peut pas lui demander de ne pas respirer pendant si longtemps, on administre généralement de courtes rafales de rayonnements entre chaque inspiration, au moment

où la poitrine bouge le moins. Avec plusieurs collègues oncologues et radiothérapeutes, nous avons commencé à tester s'il serait possible de prolonger suffisamment le blocage de la respiration pour améliorer la radiothérapie.

Mieux connaître les mécanismes impliqués dans le blocage de la respiration pourrait également être précieux pour les forces de l'ordre, lorsqu'elles maîtrisent des suspects. Chaque année partout dans le monde, certaines personnes ainsi maîtrisées meurent accidentellement. L'augmentation de la vitesse du métabolisme, la compression de la poitrine, la diminution de la concentration d'oxygène et l'augmentation de celle du dioxyde de carbone dans le sang, tous ces paramètres raccourcissent la durée du blocage de la respiration d'une personne. Ainsi, quelqu'un qui est en colère, qui s'est battu et qui est maintenu à terre par la force peut avoir besoin de reprendre sa respiration plus vite que quelqu'un qui est détendu.

En 2000, Andrew Cummin et son équipe de l'Hôpital Charing Cross ont étudié, chez huit sujets sains qui avaient fait un peu de vélo, les conséquences d'une expiration maximale, suivie d'un blocage de la respiration : les sujets n'ont pu rester sans respirer plus de 15 secondes, la quantité moyenne d'oxygène dans leur sang a fortement chuté et chez deux d'entre eux les battements cardiaques sont devenus irréguliers. Les chercheurs en ont conclu qu'un « arrêt de la respiration pendant de courtes périodes lors d'une immobilisation vigoureuse peut expliquer des morts subites ». Les autorités policières britanniques ont rédigé des directives précises quant à l'utilisation de l'immobilisation par la force.

Ce type d'investigations apporte également des informations sur la physiologie humaine. Par ailleurs, le diaphragme, muscle un peu négligé, devrait susciter un regain d'intérêt et nous livrer des informations... à couper le souffle!

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 Mayne

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-