

1 AN

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z

L'ESSENTIEL

> Les prévisions météorologiques à quatre semaines sont de plus en plus précises, grâce notamment à de puissants supercalculateurs.

> Ces progrès sont aussi dus à une meilleure compréhension de phénomènes atmosphériques comme l'oscillation de Madden-Julian et l'oscillation nord-atlantique.

> Une prévision à quatre semaines établie spécialement pour cet article a anticipé correctement certaines anomalies récentes de température et de pluie aux États-Unis, mais a échoué avec d'autres.

L'AUTRICE

KATHY PÉGION
maîtresse de conférences
au département des sciences
de l'atmosphère, des océans
et de la Terre à l'université
George-Mason (Virginie)

Des prévisions météorologiques à 28 jours

Prévoir le temps quatre semaines à l'avance ? Les météorologues y arrivent de mieux en mieux, grâce à des superordinateurs et à une compréhension plus fine des phénomènes atmosphériques.

« **O** K Google, quel temps fera-t-il demain ? » Il nous est devenu familier de planifier nos activités en fonction de la météo des prochains jours. Nous décidons de sortir ou non le barbecue pour le week-end. Les producteurs d'agrumes protègent les orangers en cas d'annonce de gel. Aux États-Unis, la sécurité civile évacue les villes qui se trouveront sous le vent des feux de forêt et, sous la menace de pluies diluviennes, les habitants de zones inondables se protègent en barricadant leurs portes avec des sacs de sable.

Aujourd'hui, les bulletins météo anticipent l'avenir avec un horizon temporel de sept à dix jours maximum. Pourtant, de nombreux pans de l'économie profiteraient d'une capacité de prévision de trois, voire quatre semaines. À l'annonce d'une gelée de fin de saison, les agriculteurs pourraient revoir leurs calendriers de semis. Les exploitants de ski choisiraient le moment opportun pour actionner les canons à neige sans craindre un redoux. L'hiver, les opérateurs de barrage soulageraient les réservoirs dans la perspective de fortes pluies printanières ou, au contraire, stockeraient l'eau s'ils anticipaient une sécheresse. Sans parler du secteur du tourisme qui vit en partie sous la férule des aléas climatiques et profiterait d'une visibilité à plus long terme.

Or, ces dernières années, les scientifiques spécialistes de l'atmosphère ont commencé à publier des prévisions subsaisonnnières qui courent sur trois à quatre semaines. Un bulletin météo classique indique les températures maximales et minimales, la probabilité de pluie ou de neige et les conditions de vent. Une projection subsaisonnnière est moins ambitieuse : sur la base de données historiques, elle prévoit, pour une date donnée, si les températures seront plus élevées ou plus faibles que la moyenne, et si le temps sera plus humide ou plus sec que la normale. Elle essaye également de prédire les conditions météorologiques dangereuses et extrêmes. Cette capacité d'anticipation comble un grand vide entre la météo de tous les jours, à court terme, et les grandes tendances saisonnières capables de préciser par exemple si les conditions du courant côtier saisonnier El Niño, dans l'océan Pacifique, apporteront un été chaud en Amérique du Nord.

Ainsi, un ensemble de modèles météorologiques nommé SubX (pour Subseasonal Experiment ou « expérience de prévision subsaisonnnière »), dont j'ai mené l'élaboration à l'université George-Mason (Virginie) avec un collègue de l'université de Miami, a prédit avec précision plusieurs semaines à l'avance l'augmentation des précipitations associées à l'ouragan Michael en 2018, une invasion d'air froid

dans le Midwest américain fin janvier 2019, et la vague de chaleur de juillet 2019 en Alaska. Le projet SubX, lancé il y a trois ans, combine les prévisions de sept grands centres de recherche sur le climat et la Terre aux États-Unis et au Canada. Il esquisse avec un relatif succès quel sera l'état du ciel dans un mois.

PRENDRE EN COMPTE LES PHÉNOMÈNES MÉTÉO À TOUTES LES ÉCHELLES

Les prévisions sur sept à dix jours reposent sur des modèles numériques qui simulent l'évolution de l'atmosphère. Ils renferment des équations mathématiques qui estiment comment la température, les vents et l'humidité varieront à partir d'aujourd'hui, seconde après seconde et jour après jour. Depuis l'avènement des modèles météo dans les années 1950, le succès des prévisions à court terme s'est appuyé sur une meilleure compréhension de la physique de l'atmosphère doublée d'une explosion de la puissance de calcul. En 1990, pour produire des bulletins météo ayant 80% de chance d'être exacts, il fallait se limiter à un horizon de trois jours. Aujourd'hui, les prévisions à sept jours se sont hissées au même niveau de précision.

Quels paramètres sont utilisés pour livrer une prévision à trois ou quatre semaines ? Comme les projections à court terme, l'exercice débute avec les conditions climatiques actuelles. Chaque jour, des agences météorologiques et spatiales aux quatre coins du globe, dont la NOAA (l'agence américaine

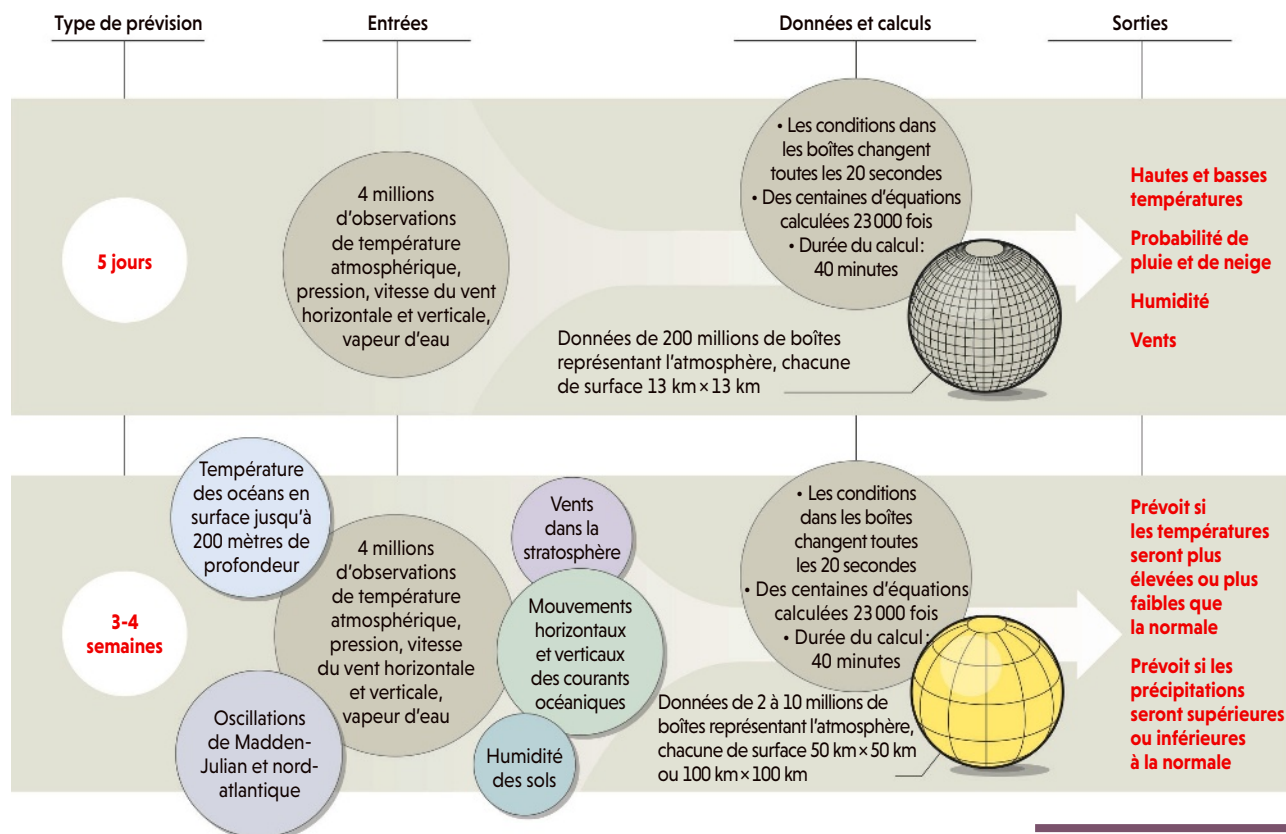
SubX a prédit plusieurs semaines à l'avance la vague de chaleur de l'été 2019 en Alaska

d'étude des océans et de l'atmosphère) et la Nasa, produisent environ quatre millions de mesures de la température de l'air, de la pression atmosphérique, du vent et de l'humidité, à partir de ballons, de stations au sol, d'avions et de satellites. Afin d'étendre les prévisions à quatre semaines, les spécialistes de l'atmosphère ajoutent à ce socle d'autres facteurs comme la température des océans et la force des courants.

ATMOSPHÈRE EN ENTRÉE, PRÉVISION EN SORTIE

Une prévision à trois ou quatre semaines requiert énormément de ressources informatiques, qu'il s'agisse du traitement de données et de la puissance de calcul. Les météorologues s'appuient sur les mêmes conditions initiales que les prévisions à cinq jours. Par rapport à ces prévisions,

ils considèrent davantage de caractéristiques du climat global, même s'ils en restreignent le niveau de détail pour limiter le temps de calcul. En sortie, le programme prédit si les températures et les précipitations seront au-dessus ou en dessous des normales saisonnières (ci-dessous, les paramètres du modèle SubX).



© Jen Christiansen

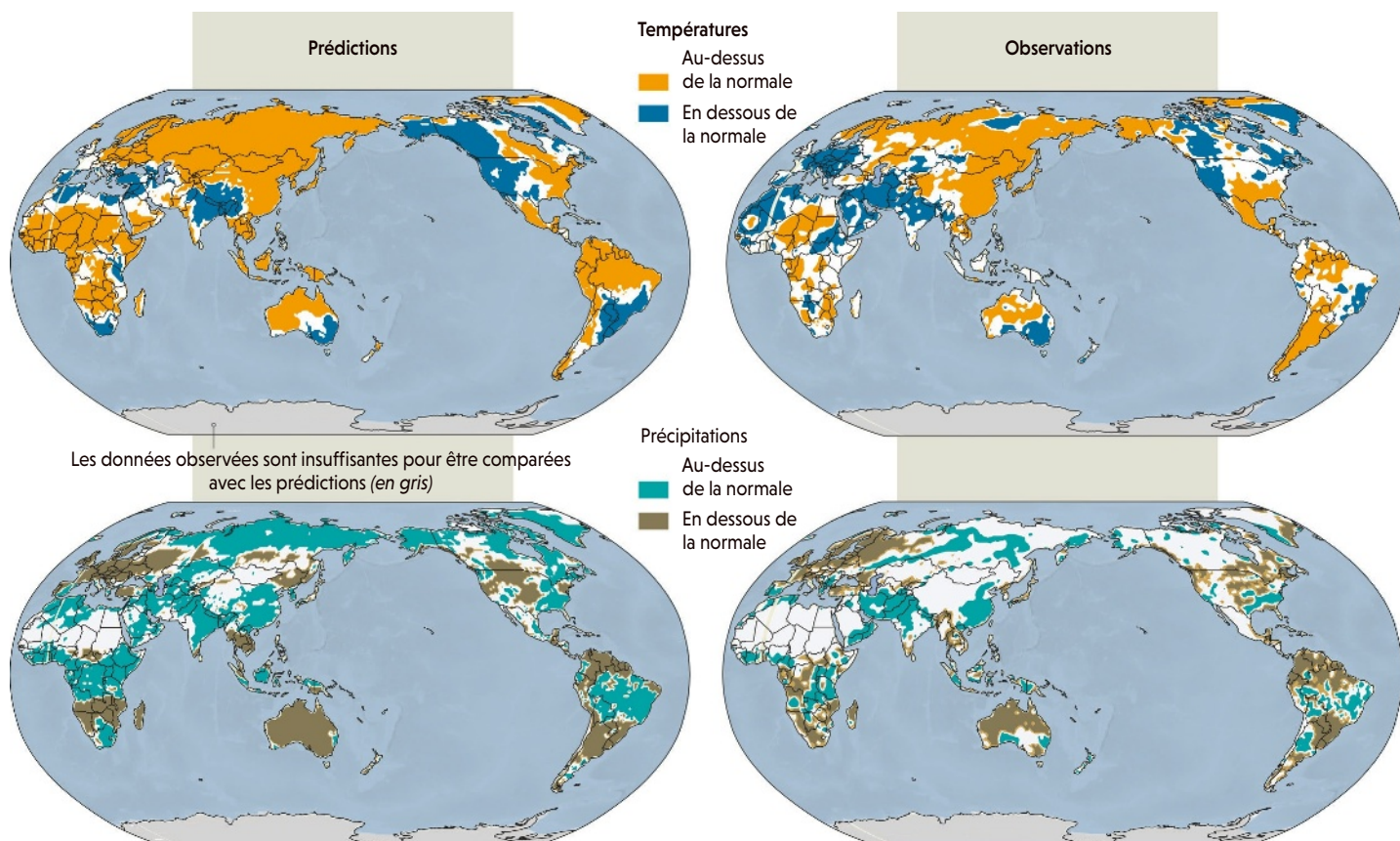
Ils analysent aussi les conditions du sol, car quelques jours d'un temps chaud et sec suffisent à assécher la terre et à limiter l'évaporation, ce qui réduit en retour les précipitations et peut amorcer un début de sécheresse. Enfin, ils intègrent la vitesse des vents soufflant dans la stratosphère, la couche du ciel allant de 10 à 48 kilomètres d'altitude. Les vents influencent la localisation et la force du jet-stream (ou courant-jet), un courant de puissants vents d'altitude qui déplacent en général les tempêtes d'ouest en est dans l'hémisphère Nord et dessinent la carte des températures extrêmes.

En complément, les modèles saisonniers incluent certains phénomènes météo et climatiques. L'un d'eux est l'oscillation de Madden-Julian (OMJ), une gigantesque perturbation le long de l'équateur associant nuages, pluies et vents (elle est due à

d'immenses mouvements de convection dans l'atmosphère). L'OMJ naît dans les océans Indien et Pacifique tropicaux et voyage d'ouest en est autour de la Terre en plusieurs mois. Cet événement survient quatre à six fois dans l'année, de façon aléatoire ou par vagues successives. L'OMJ influence les vents, la localisation des centres de basses et hautes pressions et leurs lignes de rencontre dans de nombreuses régions. Par exemple, l'oscillation crée des « rivières atmosphériques », des bandes de pluies torrentielles qui s'étirent de l'océan Pacifique jusqu'au continent américain et qui contribuent fortement aux précipitations tombant sur la côte ouest de l'Amérique du Nord. À l'échelle de la semaine, l'OMJ peut aussi augmenter le cisaillement du vent à certains endroits et le diminuer à d'autres, ce qui influe sur le lieu de formation des cyclones tropicaux (la prise en compte de l'OMJ explique >

DES PRÉVISIONS À UN MOIS POUR MARS 2020

Le 27 février 2020, le modèle de prévision subsaisonniers SubX a prédit le temps qu'il ferait du 21 au 27 mars, soit un mois à l'avance. Les cartes indiquaient si les températures et les précipitations seraient au-dessus ou en dessous des normales saisonnières – la moyenne de la période 1999-2015. Les cartes de la météo effective de mars montrent que SubX a correctement prédit la sécheresse sévissant en Europe et en Australie. Le modèle a également prédit avec succès la fraîcheur frappant l'ouest des États-Unis et la chaleur à l'est du pays, mais le nord-est n'a pas été aussi chaud que prévu. SubX anticipe de combien les conditions s'écarteront des moyennes, mais les valeurs prédites ont manqué de précision cette fois-ci.



> probablement en partie pourquoi SubX a su prédire l'ouragan Michael).

L'oscillation nord-atlantique (ONA) est un autre phénomène considéré. Il s'agit d'un couplage permanent de basses et de hautes pressions dans le nord de l'Atlantique. Plusieurs régimes alternent, caractérisés par la différence de pression entre l'Islande et les Açores, et influencés par des phénomènes comme l'OMJ ou les vents stratosphériques. L'ONA module la forme de l'écoulement du jet-stream et la position du vortex polaire (un tourbillon d'air froid qui se maintient au-dessus du pôle Nord) et peut donc transporter de l'air froid de l'Arctique vers le nord-est des États-Unis et l'Europe. En réalité, l'ONA et l'OMJ figurent déjà dans les modèles de prévisions à cinq jours, mais sous une forme peu

influente et négligeable pour l'Amérique du Nord et l'Europe. En revanche, ces phénomènes sont des composantes essentielles des prévisions à un mois dans ces régions. (Dans les zones tropicales, c'est différent: les prévisions à cinq jours de l'OMJ sont très importantes pour savoir si la journée sera pluvieuse ou ensoleillée.)

UN COMPROMIS ENTRE RÉOLUTION ET TEMPS DE CALCUL

Calculer une prévision subsaisonniers fait appel à un tel nombre d'opérations et de variables que l'exercice essouffle même les plus puissants ordinateurs du monde. Les modèles numériques découpent l'atmosphère tridimensionnelle en une multitude de petites

boîtes. À titre d'exemple, la nouvelle simulation de la NOAA compte 200 millions de boîtes; les boîtes proches de la surface de la Terre couvrent un carré de 13 kilomètres de côté et s'élèvent sur 50 mètres. D'autres boîtes s'empilent au-dessus, de plus en plus grandes à mesure qu'on s'éloigne du sol, atteignant 700 mètres de haut dans la stratosphère. Le modèle prédit l'évolution de l'atmosphère dans chaque boîte toutes les 20 secondes.

Une fois assemblées, les boîtes dessinent une photographie du temps à venir. Pour fournir une prévision à cinq jours, un modèle a besoin de calculer quelque 23 000 fois d'affilée des centaines d'équations; exécuter ces opérations sur un superordinateur doté de 1 500 cœurs de calcul prend à peu près 40 minutes.

En pratique, les météorologues doivent trouver le point d'équilibre entre une excellente résolution et un temps de calcul contenu. Par exemple, même les modèles à cinq jours écartent certains paramètres comme les petits nuages, les orages et les effets de site engendrés par les littoraux, les montagnes ou d'autres types de terrains remarquables. Prendre en compte ces phénomènes exigerait de resserrer la taille des boîtes jusqu'à une résolution de six kilomètres, ce qui se traduirait par un temps de calcul de plus de cinq heures. Or le météorologue de votre région ne peut pas attendre aussi longtemps pour livrer son bulletin.

À l'inverse, pour établir des prévisions à quatre semaines qui incluent toute la richesse

pixelisée à basse résolution et vous aurez une idée d'une prévision à trois ou quatre semaines: on distingue le tableau général (les grandes zones de chaleur et pluie), mais les détails comme un orage nous échappent.

Malgré cela, la compréhension des phénomènes physiques globaux, les algorithmes et la puissance de calcul se sont suffisamment améliorés pour produire une photographie à basse résolution acceptable pour les météorologistes.

UNE COMBINAISON DE PLUSIEURS MODÈLES

Chaque semaine, les sept centres qui contribuent à SubX créent leurs propres prévisions sur 32 à 45 jours, incorporant plusieurs milliers d'observations (températures et humidité du sol, température et vitesse des courants océaniques...) de plus que ce qu'ils incluraient dans une perspective de sept jours. Les groupes envoient ensuite leurs résultats à une base de données centrale hébergée par l'Institut international de recherche sur le climat et la société, à l'université Columbia. Puis SubX combine les données sur les ordinateurs de l'université George-Mason. L'équipe SubX est la seule qui intègre plusieurs modèles dans une prévision saisonnière rendue publique. Ces modèles diffèrent notamment par les méthodes numériques employées, les équations de la physique – rayonnement, nuages... – et la méthodologie pour créer les conditions initiales à partir des données observées. Une dizaine d'autres groupes dans le monde, tels que le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, produisent des prévisions saisonnières fondées, elles, sur des modèles uniques.

Quel genre de prévision produit SubX? Notre modèle crée des cartes de températures et de précipitation où figurent les zones prévues pour être plus chaudes ou plus froides, plus humides ou plus sèches, que la moyenne historique. Réunir les résultats de sept modèles nous fournit des prévisions meilleures que chaque modèle pris séparément, à la fois parce que nous moyennons les données de chacun et parce que nous tirons parti du meilleur de chacun. Par exemple, chaque modèle doit estimer l'état nuageux dans chaque boîte, et ils le font tous de façon légèrement différente. La combinaison des modèles crée une meilleure évaluation. En termes de qualité de prévision pour la météo aux États-Unis, SubX surpasse ses meilleurs modèles pris individuellement 60% du temps pour la température et 81% du temps pour les précipitations.

Les scientifiques de SubX explorent les moyens de mieux associer les modèles, et nous cherchons également à les améliorer en les testant sur des données anciennes. ➤



Une prévision à 5 jours nécessite de calculer 23000 fois des centaines d'équations

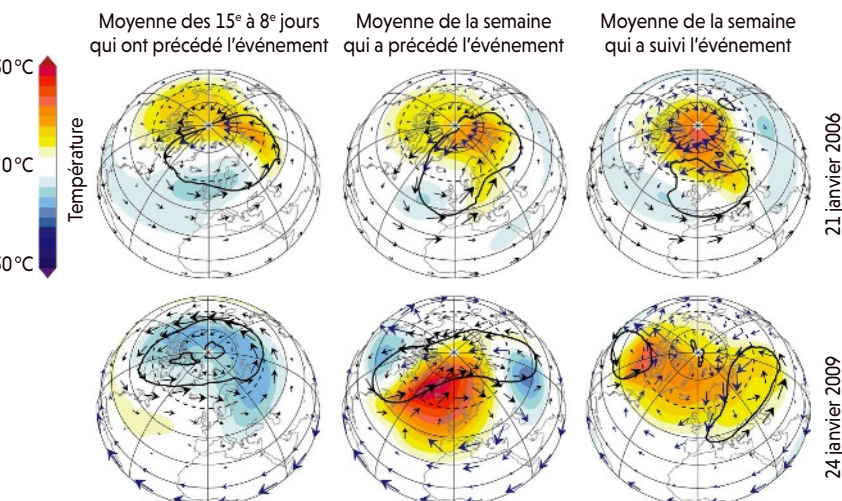
des phénomènes atmosphériques à grande échelle (dont l'oscillation OMJ), il faut agrandir les boîtes et réduire leur nombre (typiquement, leur nombre passe de 200 millions à 2 ou 10 millions, selon les modèles). Élargir les boîtes à une taille de 50 ou 100 kilomètres nous permet de conserver un temps d'exécution du programme de 40 minutes, en perdant des détails toutefois. Songez à une photo

LES PRÉVISIONS SUBSAISON- NIÈRES EN EUROPE

Prévoir le temps au-delà de dix jours, jusqu'à trois à quatre semaines en avance, représente une nouvelle frontière pour la prévision météorologique. De quels phénomènes atmosphériques faut-il tenir compte pour prévoir le temps en Europe à cet horizon temporel ? D'abord de l'oscillation nord-atlantique (ONA), qui mesure la différence de pression entre l'Islande et les Açores. Sa phase positive, qui se produit environ 30 % du temps, conduit à des vagues pluvieuses sur l'Europe du Nord et un temps sec sur l'Europe du Sud. La phase négative engendre l'inverse. En cas d'ONA particulièrement négative, les hivers seront froids et les étés chauds. Une autre source d'aléa pour la météo du continent est l'oscillation de Madden-Julian (OMJ), qui se caractérise par une progression lente vers l'est de zones de pluies tropicales le long de l'Équateur. La présence de l'OMJ sur l'océan Indien est souvent suivie par une phase positive de l'ONA, dix à quinze jours plus tard, et peut donc moduler le temps qu'il fera en Europe les semaines suivantes.

Les vents stratosphériques influencent aussi le temps à un mois. Moins d'une fois par an, la température de la stratosphère au-dessus du pôle Nord augmente fortement (jusqu'à 30 °C) et les vents qui y soufflent faiblissent, voire changent de direction. Ce phénomène spectaculaire qui peut être prévu par les modèles météorologiques jusqu'à trois semaines en avance est souvent suivi d'une phase négative de l'ONA et de temps froid sur une partie de l'Europe. D'autres sources de prévisibilité pour l'Europe incluent la température et l'humidité du sol, la température de surface de l'océan, l'étendue de la couche glaciaire arctique, la couverture neigeuse...

L'ensemble de ces facteurs sont pris en compte au Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET), où je travaille. Situé à Reading, en Grande-Bretagne, ce centre est un organisme intergouvernemental comprenant la plupart des pays européens. Il a été un des pionniers dans les prévisions à un mois. Au début des années 2000, il était avec l'Agence météorologique japonaise le seul centre météorologique diffusant des prévisions saisonnières. Aujourd'hui, plus



Deux événements de réchauffement stratosphérique soudain survenus l'un le 21 janvier 2006 (en haut) et l'autre le 24 janvier 2009 (en bas). Dans le premier, le vortex polaire (ligne noire épaisse) – les vents de haute altitude en Arctique – s'est déplacé, tandis qu'il s'est scindé en deux dans le second.

d'une douzaine d'instituts météorologiques dans le monde produisent des prévisions à quatre semaines, dont quatre en Europe (le CEPMET, l'Office météorologique anglais, un centre en Italie et un à Météo-France).

Comment sont produites les prévisions au CEPMET ? À l'aide d'une simulation numérique d'une grande complexité, qui comprend, outre un modèle de la circulation atmosphérique, des sous-modèles représentant des composants du système terrestre : l'océan, les glaces, le sol...

Nous prévoyons l'oscillation OMJ plus de 5 semaines à l'avance

L'atmosphère est un système chaotique : des petites différences dans les conditions initiales peuvent conduire à des prévisions très différentes à trois ou quatre semaines. C'est pourquoi les prévisions sont réalisées en faisant tourner le modèle de multiples fois (51 fois au CEPMET et entre 4 et 50 fois dans la plupart des autres centres météorologiques), chaque fois avec des conditions initiales légèrement différentes afin d'estimer l'impact des erreurs dans la génération des conditions initiales. Au CEPMET, ces 51 calculs conduisent à 51 scénarios de temps possibles. Si, par exemple, 40 d'entre eux indiquent un temps sec sur la France dans quatre semaines, alors la probabilité de temps sec sera estimée à 80 %. Les prévisions à cette échelle de temps sont toujours probabilistes. Nous avons prévu d'étendre ce nombre de réalisations à une centaine, ce qui donnera des prévisions beaucoup plus précises de la probabilité d'événements rares.

La prévision saisonnière a progressé considérablement ces dernières années : nos prévisions à quatre semaines sont aujourd'hui aussi fiables que les prévisions à trois semaines d'il y a quinze ans. En particulier, nous sommes

maintenant capables de prévoir l'OMJ plus de cinq semaines à l'avance au lieu de seulement deux semaines au début des années 2000. Par rapport à d'autres centres météorologiques, les prévisions saisonnières du CEPMET figurent souvent parmi les plus fiables. Ces succès sont dus à des améliorations de notre modèle numérique et à l'utilisation de nouvelles observations pour l'initialiser.

Même s'il y a toujours un peu de compétition entre les différents centres météorologiques internationaux, l'heure est plutôt à la collaboration. Pour preuve, l'Organisation météorologique mondiale a lancé il y a plusieurs années un projet que je codirige avec un collègue américain afin d'améliorer la prévision saisonnière. Ce projet a permis de créer une base de données agrégeant les prévisions réalisées par onze centres internationaux sur une longue période. Semblable dans l'esprit à celle livrée par SubX, notre base s'en distingue par le fait qu'elle est dédiée uniquement à la recherche et ne contient pas les prévisions les plus récentes. Cependant elle contient plus de modèles et plus d'information par modèle. En tout, cela représente plus de 100 téraoctets de données. À ce jour plus de 150 articles exploitant cette base de données ont été publiés, qui permettent d'avoir une idée plus précise de la qualité de nos prévisions, et surtout d'identifier les principales limitations de nos modèles numériques. À l'aide de ces comparaisons, nous avons compris par exemple la nécessité de modéliser plus finement la stratosphère pour améliorer les prévisions saisonnières.

Ces prévisions devraient continuer à progresser dans les années à venir grâce à des modèles toujours plus complexes (ajout de modèles de chimie, de végétation...) qui devraient inclure de nouveaux effets atmosphériques (l'impact de la poussière volcanique, de l'ozone...) et opérer à des résolutions plus fines. L'utilisation de modèles d'intelligence artificielle pour, par exemple, mieux interpréter les résultats des modèles, devrait également conduire à de meilleures prévisions à quatre semaines.

FRÉDÉRIC VITART

chercheur au CEPMET (ECMWF en anglais), à Reading, Royaume-Uni

> Pendant une année entière, SubX a effectué de nombreuses prévisions à trois à quatre semaines en partant de conditions météorologiques hebdomadaires de 1999 à 2015, et a produit une base de données de plus de 20 téraoctets d'informations. Pour chaque exécution du programme, nous avons comparé les prévisions avec le temps qu'il a vraiment fait trois et quatre semaines plus tard. Cela nous a permis de tester les effets de conditions climatiques variées.

Nous utilisons à présent les accords et imprécisions que nous avons identifiés pour améliorer les performances des modèles, notamment la justesse avec laquelle ils représentent la stratosphère, l'OMJ et l'ONA, et prévoir les impacts de ces phénomènes sur la météo dans différentes régions. Par exemple, deux des groupes de la NOAA qui fournissent des données à SubX ont affiné leurs équations décrivant les nuages, les orages et les pluies pour mieux représenter l'OMJ. Puis ils ont appliqué leurs modèles sur des données archivées et ont constaté un net progrès des prévisions à trois à quatre semaines.

UN TEST EN MARS DERNIER

Comme exercice pour cet article, j'ai utilisé SubX pour prévoir le temps aux États-Unis et dans le monde entre le 21 et le 27 mars de cette année, soit entre 23 et 29 jours dans le futur pour moi (voir l'encadré page 70). Le programme a prédit des températures au-dessus des normales saisonnières dans l'est des États-Unis et plus fraîches dans l'ouest. Selon le

Nous utilisons les conditions météo de 1999 à 2015 pour affiner nos modèles

modèle, l'hiver se prolongerait à l'ouest tandis que le printemps éclorait sur la côte est. Simultanément, le sud-ouest du pays continuerait d'être pluvieux, après un mois de février particulièrement humide. Plusieurs de ces prédictions se sont avérées. D'autres non.

Le temps pluvieux s'est bien maintenu dans le sud-est. Cette prévision aurait été une information précieuse pour anticiper les

inondations dans cette région. En effet, le fleuve Mississippi à la Nouvelle-Orléans était déjà proche de la crue le 27 février, son niveau s'est abaissé légèrement après avoir atteint un pic le 8 mars, puis n'a cessé de s'élever fin mars-début avril, pour atteindre de nouveau un stade critique le 12 avril. SubX a su anticiper ce scénario en partie parce qu'il avait prédit des températures océaniques chaudes dans le golfe du Mexique, une condition clé pour qu'il pleuve dans le sud-est du pays. SubX a su également annoncer des conditions plus froides que la normale le long de la côte ouest, ainsi que des conditions plus sèches dans le nord de la Californie et sur la côte de la Colombie-Britannique.

Dans le reste du monde, SubX a situé correctement les systèmes de basses et hautes pressions, ce qui lui a permis d'entrevoir les conditions plus sèches que la normale qui ont régné au-dessus de l'Europe et celles plus chaudes sur l'Asie. En Australie, les prévisions de température se sont aussi vérifiées, sans doute grâce à la capacité du modèle à dessiner les contours des régions nuageuses et ensoleillées accompagnant l'OMJ.

En revanche, SubX a surestimé l'étendue géographique des zones où il a fait plus chaud que d'habitude, à la fois dans le nord-est des États-Unis et dans la vallée de la rivière Ohio. Par ailleurs, le modèle a mal anticipé certains détails des systèmes de hautes et basses pressions, ce qui a nui aux prévisions. Il a aussi échoué à prévoir les conditions plus humides que la moyenne en Oregon, même si les fortes pluies se sont concentrées sur deux jours seulement, les 24 et 25 mars. Pour sa défense, nous avons relancé indépendamment les sept modèles qui composent SubX et la plupart d'entre eux ont été incapables de prédire ces pluies brutales à une échelle plus courte; la tempête qui a produit les précipitations a posé un problème même pour une prévision à sept jours. Le chaos peut survenir de manière inattendue dans l'atmosphère.

Nous avons encore du chemin à parcourir avant que les projections subsaisonnnières soient aussi abouties que les prévisions sur sept jours, et elles pourraient ne jamais le devenir. Mais un grand nombre de scientifiques de l'atmosphère travaillent dur pour y parvenir. Chaque semaine, je publie des prévisions globales à quatre semaines fournies par chacun des sept modèles et par SubX. Puis, à son tour, le Centre de prévision climatique de la NOAA livre une prévision à trois ou quatre semaines pour les États-Unis en utilisant les indications de SubX. Dans une dizaine d'années, lorsque vous consulterez la météo sur votre téléphone, vous verrez peut-être dans un coin une icône représentant un soleil ou un nuage avec l'indication «prévision à 28 jours». ■

BIBLIOGRAPHIE

K. Pegion et al., **The subseasonal experiment (SubX) : A multimodel subseasonal prediction experiment**, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 100(10), pp. 2043-2060, 2019.

P. Bauer et al., **The quiet revolution of numerical weather prediction**, *Nature*, vol. 525, pp. 47-55, 2015.

F. Vitart et al., **Subseasonal Predictions**, ECMWF, 2014.

Constantin Rafinesque

ou les tribulations d'un naturaliste peu ordinaire

Des personnages atypiques, l'histoire ne retient souvent que les lubies. Mais l'excentricité de Constantin Rafinesque, négociant et naturaliste, ne saurait éclipser le rôle majeur qu'il a tenu dans l'histoire des sciences naturelles.

Quand il s'éteignit en septembre 1840, le zoologiste et botaniste d'origine française Constantin Samuel Rafinesque souffrait auprès de ses collègues naturalistes d'une réputation, en partie fondée, d'excentrique notoire. De fait, la figure de ce chercheur commence seulement à être appréhendée à sa juste valeur, celle d'un acteur crucial du développement des sciences naturelles américaines, au XIX^e siècle. Ainsi se dessine graduellement le portrait d'un personnage complexe et attachant, bien loin de l'image de « savant fou » doublé d'un polygraphe échevelé, ébauchée jusque-là.

UNE VOCATION SCIENTIFIQUE PRÉCOCE

Bien qu'issu d'une famille protestante d'ascendance cévenole, Constantin Rafinesque se fit d'abord connaître par des recherches menées en Sicile, avant de s'établir définitivement aux États-Unis. Il naquit en 1783 à Galata, dans la banlieue d'Istanbul, de l'union de François Georges Rafinesque, négociant et armateur marseillais, grand voyageur devant l'Éternel, et de Madeleine Schmaltz, une jeune femme d'origine allemande. La famille revint peu après se fixer à Marseille, ville d'origine du père de Constantin. Mais, en 1792, les soubresauts de la Révolution incitèrent Madeleine Rafinesque à quitter la France pour la ville italienne de Livourne; son mari, alors en >

Dans le carnet que Constantin Rafinesque rédigea pendant son voyage de Philadelphie au Kentucky, en 1818, le naturaliste décrivit onze « espèces » de rats sauvages (ci-contre, quatre d'entre elles). Par la suite, seule une (non montrée) a été reconnue comme telle. Les autres se sont révélées des espèces inventées par le naturaliste Jean-Jacques Audubon pour duper Rafinesque.

