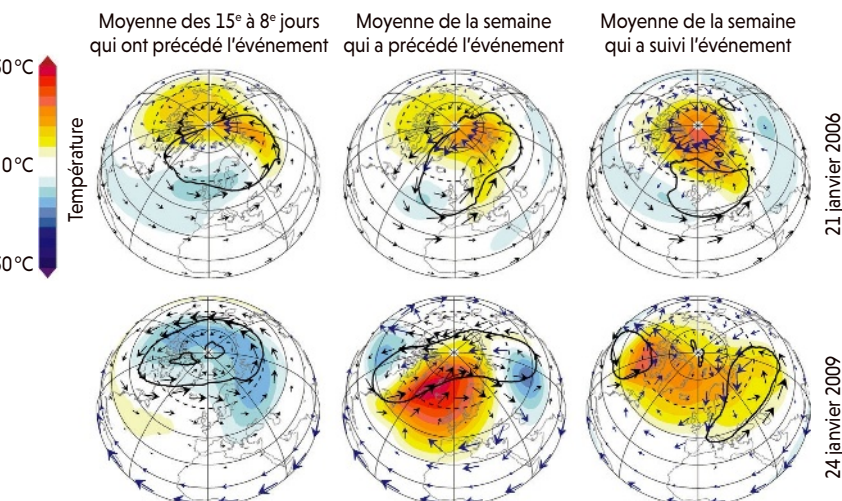


LES PRÉVISIONS SUBSAISON- NIÈRES EN EUROPE

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 subsaisonniers. 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 subsaisonnaire 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 subsaisonniers 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 subsaisonnaire. Ce projet a permis de créer une base de données agrégant 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 subsaisonniers.

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

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.

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». ■

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