

Le développement nuageux pourrait compenser l'effet de piégeage de la chaleur dû à l'apport d'humidité. En effet, si les nuages capturent la chaleur, ils réfléchissent aussi les rayons du soleil, d'où un effet de refroidissement. De fait, au-dessus des océans, le refroidissement a tendance à dominer. Néanmoins, l'influence du réchauffement l'emporte dans les hautes latitudes. De récentes études suggèrent qu'en moyenne sur l'ensemble du globe, l'effet chauffant triomphe, ce qui engendre ainsi un autre cercle vicieux impliquant la vapeur d'eau.

MIEUX ANTICIPER LES TEMPÊTES DE VAPEUR

À quel avenir devons-nous nous attendre? Tant que les activités humaines continueront à émettre des gaz à effet de serre, le réchauffement des océans et de l'atmosphère se poursuivra, de l'eau supplémentaire s'évaporerait, et les tempêtes de vapeur comme les canicules humides se multiplieront. Les ouragans des catégories les plus élevées se produiront plus souvent, tout comme les tempêtes à développement rapide. Anticiper ces brusques événements représentera un défi pour les météorologues. Lorsque les tempêtes s'intensifieront près des côtes, comme cela a été le cas pour l'ouragan Ida, les responsables disposeront de très peu de temps pour sonner l'alerte et les gens n'auront que quelques heures pour évacuer.

Le principal obstacle à la prévision de ces événements surpuissants est le manque de mesures de la température sous la surface de la mer. Une couche profonde d'eau chaude contient beaucoup plus de « carburant » à tempête qu'une couche superficielle, mais les satellites ne mesurent que les températures en surface de l'océan. Les chercheurs tentent de trouver des moyens de déterminer la quantité d'énergie contenue dans la première centaine de mètres des eaux marines, principal réservoir où s'alimentent les tempêtes. Ils développent des sous-marins océaniques autonomes qui parcourent la partie supérieure de l'océan à différentes profondeurs tout en échantillonnant la température et la salinité. Ils reçoivent également l'aide de satellites capables de cartographier les variations du niveau de la mer : comme une couche profonde d'eau chaude se dilate par rapport aux zones adjacentes, le phénomène crée en surface une bosse visible de l'espace. Les données satellitaires sont extrêmement précieuses, mais nous avons également besoin d'instruments *in situ* pour mesurer la température, l'humidité et les vents. Nous continuerons donc de nous reposer sur les « chasseurs d'ouragans », ces avions qui volent vers les tempêtes pour larguer des appareils de mesure autour et à l'intérieur d'elles.



Le principal obstacle à la prévision de ces tempêtes est le manque de mesures de la température sous la surface de la mer



L'humidité provient d'une myriade de sources et affecte de nombreux processus atmosphériques. Les scientifiques ne comprennent pas complètement certaines de ces interactions, et les modèles numériques peinent encore à prévoir totalement l'influence de la vapeur d'eau dans un système climatique changeant. Même la réponse à une question apparemment simple comme « À quelle vitesse l'eau d'un océan ou d'un lac s'évapore-t-elle? » dépend de nombreux facteurs, tels que la différence entre la température de l'eau et celle de l'air juste au-dessus, la quantité de vapeur déjà présente dans l'atmosphère et la vitesse des vents. Sur terre, le calcul est encore plus complexe, car il fait intervenir des variables supplémentaires telles que le degré d'humidité du sol et le type de végétation qui y pousse.

Prédire ce qu'il adviendra de la vapeur une fois qu'elle entrera dans l'atmosphère est un autre défi. Est-ce qu'elle se condensera en nuages et alimentera une tempête, avant de retomber sous forme de pluie ou de neige? À moins qu'elle ne se condense sur les surfaces sous forme de rosée ou de givre? Ou encore qu'elle voyage sur des centaines, voire des milliers de kilomètres, à partir des tropiques vers les latitudes plus élevées? Toute erreur dans l'un de ces calculs affectera les prévisions des changements futurs de température et des perturbations atmosphériques.

Nous ne pouvons pas contrôler directement la quantité de vapeur d'eau présente dans le ciel. En revanche, nous pouvons la réduire indirectement en freinant le réchauffement causé principalement par nos émissions de dioxyde de carbone et de méthane, ainsi que par le défrichement des arbres qui contribuent à absorber le carbone de l'air. Si nous y parvenons, nous ralentirons l'intensification future des tempêtes de vapeur – et les ravages qu'elles causent. ■

BIBLIOGRAPHIE

Y. Trambly *et al.*, **Pluies extrêmes et crues : se préparer à leur intensification**, *Pour la Science Hors-Série*, février-mars 2021.

J. Francis *et al.*, **Increased persistence of large-scale circulation regimes over Asia in the era of amplified Arctic warming, past and future**, *Scientific Reports*, 2020.

S. Shamekh *et al.*, **How Do Ocean Warm Anomalies Favor the Aggregation of Deep Convective Clouds?**, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2020.

J. Francis et S. J. Vavrus, **Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes**, *Geophysical Research Letters*, 2012.

La distribution électrique face aux défis de la prévision

L'arrivée massive de producteurs décentralisés d'électricité d'origine renouvelable, la nécessité d'anticiper des opérations de maintenance et l'évolution des usages sur le long terme demandent une prévision de plus en plus fine de la production et de la consommation d'électricité, notamment en fonction de la météo. Pour cela, Enedis développe divers modèles fondés sur l'intelligence artificielle et le *machine learning*.

En 2020, les énergies renouvelables ont représenté 26,9% de la consommation d'électricité en France métropolitaine, contre 23,1% l'année précédente. Parmi elles, l'éolien représente 8,8% de la fourniture totale d'énergie, le photovoltaïque 2,8%. Une croissance qui pose des défis quant à l'acheminement de cette électricité verte qui n'est pas produite à la demande, contrairement à celle des centrales. D'où le maître mot qui s'impose désormais chez tout distributeur

d'électricité: prévoir. «C'est indispensable en effet, insiste Pierre Mallet, directeur Recherche et Développement (R&D) chez Enedis. Nous devons prévoir à très long terme, jusqu'à vers 2050, pour dimensionner nos investissements en fonction de l'évolution des habitudes de consommation. Mais nous devons aussi prévoir à moyen terme la production et la consommation afin de planifier nos opérations de maintenance sur le réseau. Et enfin à court terme la consommation et la production d'origine renouvelable liée aux conditions météo.»

Dans le cas de l'éolien et du photovoltaïque, cela nécessite la mise au point de modèles qui permettront d'estimer la production à quatorze jours, soit le maximum des capacités de prévision de Météo-France. «Nous développons des modèles de prévisions de production (fondés sur l'intelligence artificielle et le *machine learning*) à partir des prévisions météorologiques de trois modèles différents, détaille Stéphanie Dubost, chargée des prévisions de production à EDF R&D. Deux modèles européens plus celui de Météo-France, qui nous donnent en variables d'entrée la force du vent, les températures, la pression atmosphérique, l'ensoleillement... L'objectif est de combiner ces modèles pour obtenir une prévision de production électrique concrète.»

Pour tirer le meilleur des modèles météo, les chercheurs attribuent à chaque modèle un coefficient en fonction de ses performances passées, afin de le pondérer.