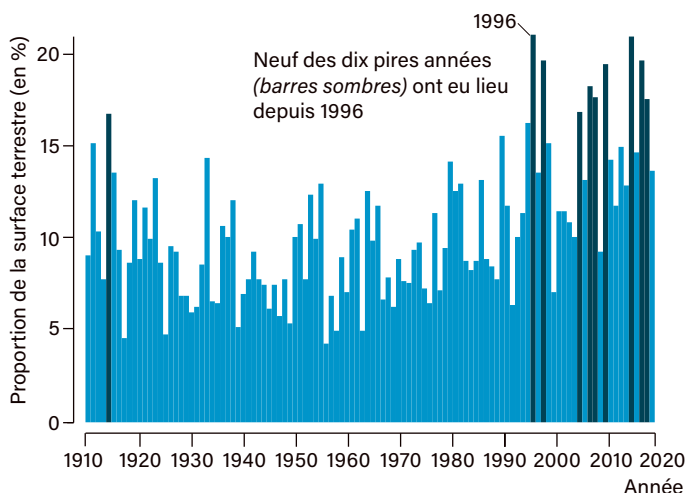


DES PLUIES PLUS ABONDANTES

Les chutes catastrophiques de pluie et de neige sont plus fréquentes qu'auparavant, car le réchauffement de l'air et des océans produit davantage de vapeur dans l'atmosphère. Une tempête qualifiée d'« extrême » déverse plus de précipitations en une seule fois que le cumul de 90 % des tempêtes de l'année. Ces dernières décennies, ces épisodes se sont multipliés dans de nombreuses zones urbaines et rurales et deviendront de plus en plus la norme.



Proportion de la superficie des États-Unis (les 48 États contigus) où des pluies ou des neiges extrêmes tombées en une seule journée ont largement dépassé la valeur moyenne des précipitations annuelles.

l'humidité pour représenter le stress réellement ressenti par le corps. Un indice supérieur à environ 38°C est considéré comme dangereux; une exposition prolongée peut être fatale, en particulier pour les personnes âgées et les nourrissons. La chaleur tourmente également le bétail et les animaux domestiques. Sans refroidissement nocturne, elle s'accumule par ailleurs dans les sols, où elle tue certaines plantes et insectes tout en permettant à d'autres espèces, qui aiment la chaleur, de prospérer. Selon une déclaration sur le changement climatique et la santé signée en 2021 par un groupe de trente-deux organisations américaines de santé, la chaleur nocturne augmente également le risque d'exposition aux maladies transmises par les insectes et menace tout autant humains, animaux et cultures.

Le danger associé à la chaleur nocturne guette non seulement les pays tropicaux, mais de plus en plus aussi les territoires très éloignés de l'équateur. Les villes situées le long de la côte américaine du golfe du Mexique ont déjà dépassé le seuil d'alerte à de nombreuses reprises. Le réchauffement à Houston a augmenté de plus de 2°C depuis 1970 en raison de la proximité de la ville avec le golfe du Mexique et de son développement galopant et tentaculaire, qui

accroît l'effet d'îlot urbain de chaleur. En juillet 2020, l'indice de chaleur de Houston a dépassé les 43°C, bien au-delà du pénible.

Si les gaz à effet de serre continuent de s'accumuler dans l'atmosphère, ces conditions deviendront bientôt monnaie courante dans de nombreuses villes du Sud et des latitudes moyennes, comme Atlanta et Washington. Avant 2000, la capitale des États-Unis connaissait en moyenne une nuit tous les cinq ans avec une température minimale supérieure à 27°C. Depuis, ces nuits torrides se produisent environ deux fois par an, soit dix fois plus en seulement vingt ans.

Pourtant, c'est dans les tropiques que les pays souffriront – et souffrent déjà – le plus. En mai 2015, une sévère vague de chaleur, qu'il serait peut-être préférable de qualifier de « vague de vapeur », a frappé l'Inde et le Pakistan. Les indices diurnes de chaleur ont dépassé 46°C pendant plusieurs jours, et l'humidité élevée a empêché le refroidissement nocturne; plus de 3500 personnes ont succombé à ces conditions étouffantes. Lorsque le changement climatique ajoutera un autre demi-degré au réchauffement, le nombre de personnes menacées par les chaleurs extrêmes doublera pour atteindre environ 500 millions dans le monde.

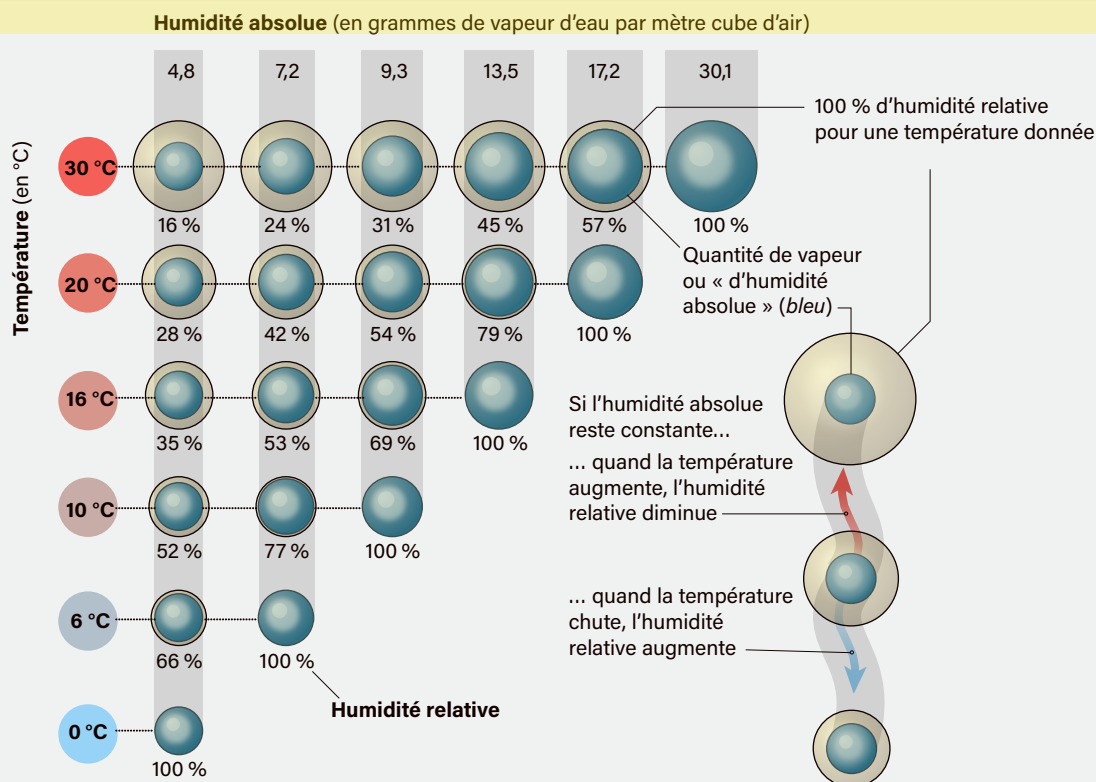
UN AMPLIFICATEUR DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Comme si les tempêtes intensives et les nuits étouffantes ne suffisaient pas, la vapeur d'eau aggrave également le réchauffement climatique. La vapeur d'eau est de loin le plus important gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Elle absorbe bien plus d'énergie infrarouge émise par la Terre que les autres gaz. Or même si des « boucles de rétroaction » (des interactions entre phénomènes qui jouent le rôle d'amplificateurs), telles que la disparition de la glace de mer, font régulièrement la une des médias, celle de la vapeur d'eau – le réchauffement entraîne l'évaporation, qui piège la chaleur, créant ainsi un réchauffement encore plus important – est la plus forte du système climatique.

Le renforcement des vagues de chaleur dans l'Arctique, en nombre comme en sévérité, est clairement le symptôme de l'arrivée plus fréquente et plus durable de bouffées d'air chaud et humide en provenance de latitudes plus basses – ces panaches qui s'étendent vers le nord à partir des tropiques. En janvier 2021, par exemple, les températures ont dépassé de 20°C la normale dans de vastes zones de l'océan Arctique. L'augmentation des vagues de chaleur dans l'Arctique, en particulier pendant l'hiver, ralentit le gel annuel de la glace de mer et contribue à la disparition de la couverture de glace.

L'HUMIDITÉ, UNE DONNÉE RELATIVE

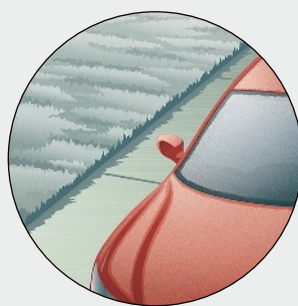
L'air qui nous environne est parfois collant ou sec. Cette impression est une question d'humidité relative. Dans un air à 0 °C, la concentration en vapeur d'eau ne dépasse pas environ 0,6 %. À 30 °C, l'air peut contenir beaucoup plus de vapeur, jusqu'à environ 4,2 %. À une température donnée, lorsque l'air renferme la quantité maximale de vapeur possible, son humidité relative est de 100 %.



Nuages : Nous ne pouvons pas voir la vapeur d'eau, mais s'il s'en ajoute à de l'air dont l'humidité relative est de 100 %, un nuage apparaît. Les nuages se forment simplement par condensation de l'excès de vapeur en gouttelettes d'eau liquide. Un nuage germe aussi quand de l'air ayant une humidité relative de 100 % se refroidit. Les nuages se forment dans de nombreuses circonstances, par exemple quand de l'air froid avec une humidité relative inférieure à 100 % souffle de la terre ferme vers l'océan, où l'évaporation augmente l'humidité relative.



Brouillard : Le brouillard est un nuage près du sol. Lorsque de l'air chaud se déplace au-dessus d'une zone plus froide – comme lorsqu'un vent tiède souffle en été sur les eaux côtières froides de l'ouest de la Bretagne –, la vapeur d'eau se condense et engendre du brouillard. Lorsque l'air chaud s'élève à une altitude plus élevée et plus fraîche – par exemple lorsque les vents soufflent sur le versant d'une montagne –, du brouillard ou des nuages peuvent se former. Enfin, après une journée chaude, lorsque l'air nocturne rayonne de l'énergie infrarouge vers l'espace, sa température se refroidit et un brouillard matinal se forme parfois sur les champs et les vallées.



Rosée et givre : Le rayonnement de chaleur d'une nuit claire et calme est susceptible de créer de la rosée ou du givre. Comparées à l'air, les surfaces perdent plus facilement de la chaleur par rayonnement infrarouge et se refroidissent donc plus rapidement. La vapeur d'eau contenue dans l'air qui entre en contact avec une surface plus froide se condense en gouttelettes sur l'herbe, ou gèle en cristaux sur les pelouses et les pare-brise des voitures si la température est suffisamment basse.



Votre souffle : Lorsque vous expirez, votre souffle ajoute de la vapeur d'eau à l'air. Si vous exhalez suffisamment de vapeur pour que l'humidité relative dépasse 100 %, se forme temporairement un panache de buée, c'est-à-dire un petit nuage qui se dissipe rapidement lorsque les minuscules gouttelettes s'évaporent. Comme l'air frais contient moins de vapeur que le chaud, nous avons tendance à voir notre souffle les jours plus froids.

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.