

L'augmentation de la vapeur d'eau n'est cependant pas le seul impact du changement climatique sur les tempêtes tropicales. La diminution du cisaillement du vent (la différence de vitesse ou de direction entre les vents proches du sol et ceux qui soufflent dans les hautes couches de l'atmosphère) favorise également le développement des tempêtes, car les colonnes d'air ascendant risquent moins d'être déchirées. D'autres modificateurs de ces phénomènes sont à l'étude, notamment les changements dans les concentrations de particules de poussière et de pollution dans l'air, ainsi que les différences dans le réchauffement de l'atmosphère entre la basse et la haute altitude, qui influent sur la vitesse à laquelle les bulles d'air chaud s'élèvent.

UNE CHALEUR MORTELLE

La menace que l'augmentation de la vapeur d'eau fait peser sur nos sociétés va bien au-delà des tempêtes. La moiteur de l'air contribue à

rendre les nuits de canicule encore plus intolérables pour les populations fragiles. Depuis le milieu des années 1990, les températures minimales nocturnes mesurées en été au-dessus des continents augmentent plus vite que les minimales diurnes. La raison ? Comme la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre, un surcroît d'humidité chauffe l'atmosphère : la chaleur qui s'échapperait normalement dans l'espace la nuit est au contraire piégée, empêchant le refroidissement de la surface de la Terre. Et contrairement au dioxyde de carbone, qui se répand dans le monde entier quel que soit son lieu d'émission, la vapeur a tendance à stagner localement.

En outre, une humidité élevée empêche l'évaporation de la sueur, le système de refroidissement naturel du corps, ce qui entraîne une surchauffe et nuit au sommeil. L'une des mesures de cet inconfort est l'indice de chaleur, qui combine les effets de la température et de

EN FRANCE, UN AVENIR INCERTAIN SOUS INFLUENCE DE LA MÉDITERRANÉE

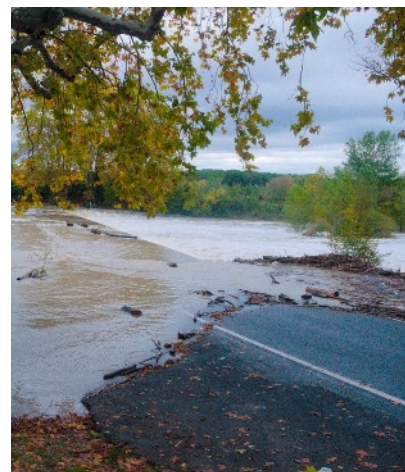
L'augmentation des précipitations extrêmes, prévue par les modèles numériques de climat, est clairement observée dans les régions continentales des moyennes latitudes. Dans les régions tropicales et subtropicales, l'effet est encore incertain. Quant à l'échelle plus petite, des différences régionales apparaissent. Pourquoi ? La météo en un lieu donné est en général sous l'influence de la localisation géographique, de la présence de côtes, de montagnes et du type de sol. Localement, les précipitations sont ainsi liées à des processus physiques différents : aux mouvements météorologiques de grande échelle, comme les fronts et les cyclones, ou alors aux mouvements verticaux de l'air liés aux orages ou aux reliefs. Les détails du sol, ou la température de la mer et d'autres phénomènes influent de façon plus ou moins marquée. L'augmentation de l'humidité intervient de manière différente dans chacun de ces mécanismes.

Qu'annoncent les modèles pour la France, dans les prochaines décennies ? L'augmentation des précipitations extrêmes devrait être à peu près uniforme sur tout le pays. La région méditerranéenne est néanmoins celle où l'impact pourrait être le plus fort. En effet, le Sud-Est connaît déjà en temps normal des épisodes de pluie plus intense, en particulier à l'automne. À cette saison, les grandes perturbations venant de l'Atlantique rencontrent une Méditerranée encore très chaude, ce qui crée des situations de très forte instabilité,

dont les célèbres épisodes « cévenols » qui déversent des torrents de pluie sur le sud du Massif central. Les météorologues prévoient que ces événements méditerranéens continueront à augmenter dans le futur, à cause de l'humidité, mais surtout à cause de l'augmentation de température de la Méditerranée. Difficile aujourd'hui de préciser si le changement climatique modifiera le troisième ingrédient, les perturbations atlantiques.

D'un point de vue concret, on peut se poser la question aujourd'hui : observons-nous déjà une augmentation des inondations et de crues en France ? Il est difficile d'y répondre à vrai dire. De nombreuses incertitudes sans lien avec la météo planent sur cette évaluation. L'ampleur des précipitations n'est en effet pas l'unique facteur de risque. La vulnérabilité des populations dépend aussi de la gestion du territoire. Les qualité et densité du bâti, la bétonisation, les pratiques agricoles, variables selon les régions, influencent énormément les dégâts occasionnés par un épisode de pluie extrême, et parfois ces paramètres jouent un rôle aussi important que ce qui tombe sur nos têtes. Comprendre exactement leur impact à l'échelle du territoire et leur évolution future reste toutefois délicat.

Pour revenir à la météorologie, les épisodes méditerranéens illustrent la complexité de la physique des pluies. Si on imagine que la pluie est comme un seau que l'on renverse, l'augmentation de l'humidité atmosphérique ne fait que remplir un peu plus ce seau. Certes,



Une inondation à Villetelle, dans l'Hérault, à la suite d'un épisode cévenol survenu en octobre 2021.

mais de nombreuses variations autour de ce mécanisme central pourraient survenir à l'avenir : il pourrait y avoir plus de seaux (plus de perturbations) ou des seaux qui se renversent lentement ou d'un seul coup (plus ou moins d'instabilité), ou encore d'autres effets physiques plus complexes.

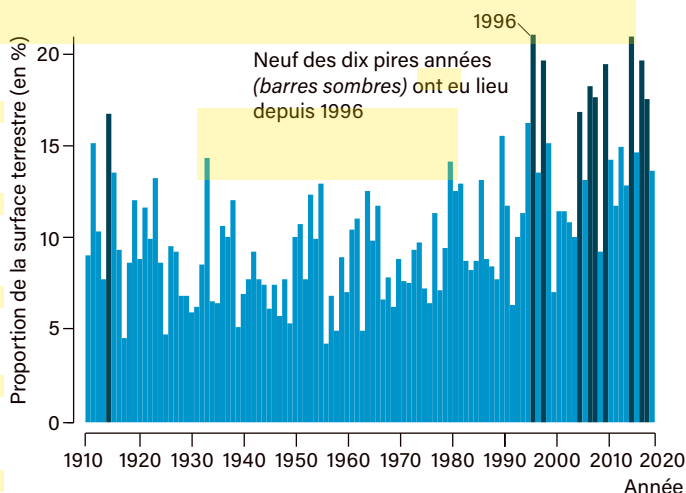
Dès lors, une question générale se pose : allons-nous vers un monde où la météo restera à peu près celle que l'on connaît en termes de phénomènes, mais où chacun de ces phénomènes sera un peu plus chaud et un peu plus humide ? Ou verrons-nous une météorologie encore inconnue émerger ?

FABIO D'ANDREA

Laboratoire de météorologie dynamique,
École normale supérieure de Paris

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.