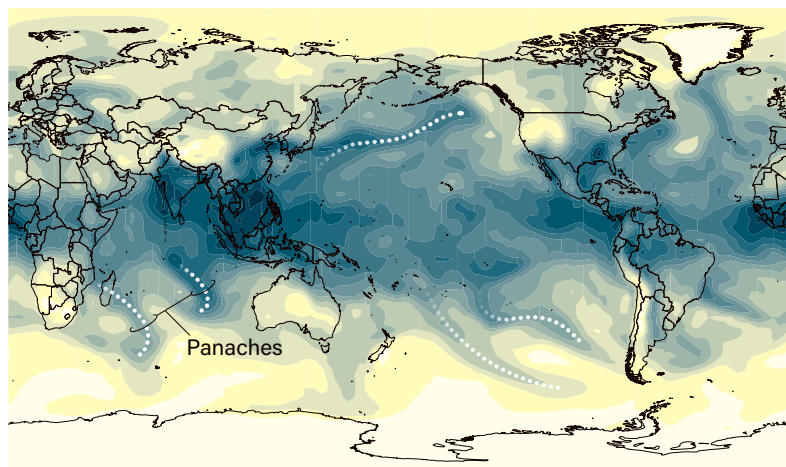
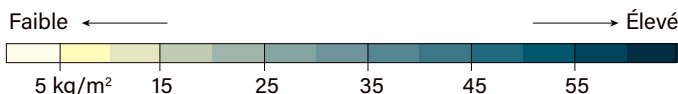


UN MONDE PLUS HUMIDE

L'humidité atmosphérique est répartie de façon inégale sur le globe. Elle abonde généralement dans les latitudes équatoriales et se raréfie vers les pôles, mais les tempêtes et les vents peuvent aussi souffler des panaches de vapeur d'eau tropicale dans ces directions. La quantité de vapeur d'eau en suspension dans l'air augmente globalement à mesure que la planète se réchauffe, au-dessus des océans et encore plus au-dessus des terres.

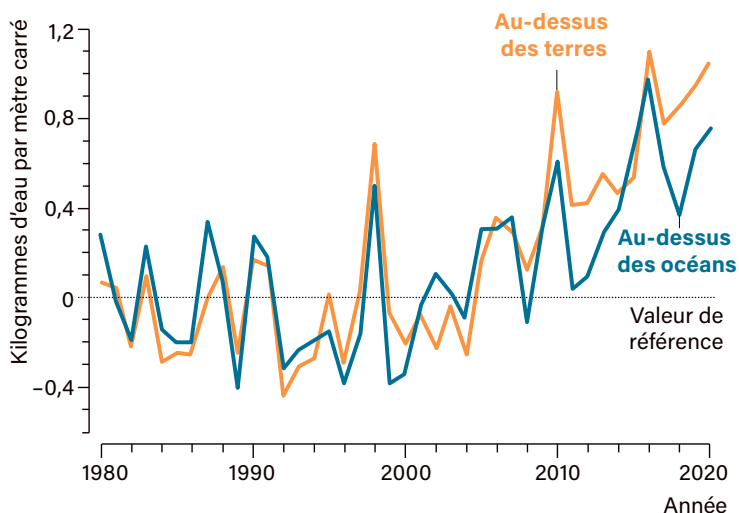
L'humidité dans l'atmosphère le 31 août 2021

La couleur indique le nombre de kilogrammes d'eau présents dans une colonne verticale de l'atmosphère ayant pour base 1 mètre carré de la surface de la Terre, si toute l'humidité se condensait et tombait. La signature de l'ouragan Ida est la petite tache sombre dans le sud-est des États-Unis.



Une hausse de la quantité de vapeur d'eau atmosphérique

Ces dernières années, la quantité d'humidité a augmenté au-dessus des océans et des continents par rapport à la valeur moyenne mesurée entre 1981 et 2010.



paraît faible, mais il a d'énormes conséquences sur le système climatique. Une atmosphère enrichie en vapeur d'eau nourrit en énergie et en humidité les tempêtes de toutes sortes, dont les orages d'été, les ouragans et même les tempêtes de neige. La vapeur supplémentaire contribue également à l'intensification accélérée des tempêtes tropicales comme Ida, ce qui laisse très peu de temps à la sécurité civile pour avertir les personnes exposées au danger.

Les scientifiques ont compris depuis longtemps que le réchauffement climatique enrichirait le ciel en vapeur d'eau et que le phénomène se traduirait par des « orages de vapeur », des monstres météorologiques crachant pluie et neige. Les mesures confirment aujourd'hui que les précipitations frappent le monde plus durement qu'avant, et à un rythme plus soutenu. En août 2017, par exemple, l'ouragan Harvey avait déversé la quantité ahurissante de 1,5 mètre de pluie en cinq jours sur certains quartiers de Houston, aux États-Unis. Une analyse a conclu que le changement climatique a rendu ces précipitations record trois fois plus probables et 15% plus intenses.

Contrairement à la plupart des autres gaz atmosphériques, la vapeur d'eau n'est pas répartie uniformément sur le globe. Elle abonde dans les régions tropicales humides à cheval sur l'équateur et forme parfois de longs panaches d'air humide qui s'étendent vers les pôles, plus froids et plus secs, causant en chemin des précipitations violentes et durables sur les régions des moyennes et hautes latitudes. Ces rivières de chaleur et d'humidité contribuent à équilibrer la distribution de l'énergie atmosphérique de la Terre et dégénèrent en de puissants orages de vapeur le long de leur trajectoire.

UNE POMPE À ÉNERGIE

Quand nous transpirons sous un soleil brûlant ou lorsque nous faisons bouillir une casserole d'eau, nous convertissons de l'eau liquide en vapeur. De même, la chaleur du système climatique provoque l'évaporation dans l'air de l'eau contenue dans les sols humides, les plantes, les océans, les lacs et les cours d'eau. Or la vapeur transporte avec elle une forme d'énergie appelée « chaleur latente ». Si la vapeur se condense ensuite et redevient liquide – formant un nuage ou la rosée matinale –, cette chaleur est libérée dans l'atmosphère, où elle crée une bulle d'air chaud. Parce qu'elle est plus légère que l'air environnant, cette bulle s'élève. Comme les températures sont généralement plus fraîches en altitude, la bulle continue parfois à monter et à grossir en accumulant de la chaleur due à la transformation de vapeur en gouttelettes de nuage. Si vous avez déjà traversé en avion un gros nuage en forme de chou-fleur, vous avez ressenti la turbulence créée par ces colonnes d'air ascendant.

La chaleur latente est le principal carburant des ouragans, orages et épisodes de mauvais temps. L'énergie qu'elle contient est considérable; dans un ouragan typique, la quantité d'énergie thermique libérée en une journée représente plus de 200 fois l'énergie de toute l'électricité produite dans le monde par jour.

La conséquence la plus inquiétante d'une atmosphère enrichie en vapeur d'eau est peut-être la fulgurance avec laquelle les tempêtes tropicales s'intensifient. Il existe deux critères pour déclarer qu'une tempête est en train de grossir rapidement: soit la vitesse maximale des vents a augmenté d'au moins 30 nœuds (55 kilomètres par heure) en vingt-quatre heures, soit la pression au centre du Goliath climatique a chuté au moins de 42 millibars sur la même période. La probabilité d'observer dans l'année une tempête s'intensifier rapidement a été multipliée par cinq au cours de ces quarante dernières années. En 2020 seulement,

dans l'Atlantique, dix cyclones se sont comportés ainsi: Hanna, Laura, Sally, Teddy, Gamma, Delta, Epsilon, Zeta, Eta et Iota. En 2021, cinq des six ouragans de l'Atlantique qui se sont formés à la mi-septembre ont subi une intensification rapide, notamment Ida et Nicholas.

Des recherches récentes valident ce que suggérait le bon sens physique: ce crescendo puise sa source dans l'océan, qui se réchauffe et injecte davantage d'humidité et d'énergie, sous forme de chaleur latente, dans l'atmosphère. Les océans absorbent environ 90% de la chaleur piégée par les gaz à effet de serre que nous, humains, émettons. Cette chaleur augmente la température de l'eau, tant en surface qu'en profondeur. Depuis plus de vingt ans, la majorité de l'océan Atlantique nord tropical est ainsi anormalement chaude, ce qui entraîne un excès d'évaporation qui alimente non seulement de puissants ouragans, mais aussi les tempêtes non tropicales.

Le 29 août 2021, l'ouragan Ida a déversé 43 centimètres de pluie sur la ville de LaPlace, dans la banlieue de La Nouvelle-Orléans.



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

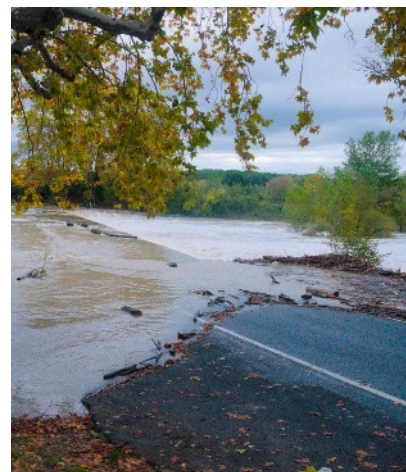
L'augmentation des précipitations extrêmes, prévue par les modèles numériques de climat, est clairement observée dans les régions continentales des moyennes latitudes. Dans les régions tropicales et subtropicales, l'effet est encore incertain. Quant à l'échelle plus petite, des différences régionales 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 qualités et densités 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