

Ces quinze dernières années, une longue litanie d'événements climatiques extrêmes a frappé le monde en été. En 2003, l'Europe a connu une vague de chaleur inédite, qui a fait 30 000 victimes. En 2010, des feux de forêt en Russie et des inondations au Pakistan ont causé des dégâts et un nombre de morts sans précédent. Un an plus tard, sous l'effet de la chaleur et la sécheresse sévissant aux États-Unis, les ranchers de l'État d'Oklahoma perdaient la moitié de leur bétail. Les feux de forêt de 2016 en Alberta ont constitué la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire du Canada. Et l'été 2018 a été tristement célèbre pour les États-Unis : des températures dépassant 37°C ont été durablement atteintes dans le sud-ouest, des pluies abondantes et des crues ont inondé le coin nord-est du pays et la Californie a subi de terribles incendies. Le même été, des calamités météorologiques du même type ravageaient l'Europe et l'Asie.

Est-ce une coïncidence que ces catastrophes historiques surviennent de nos jours, alors que la Terre se réchauffe ? Mes collègues et moi pensons que non. Tous ces événements ont un point commun : ils se sont déroulés pendant que le jet-stream présentait une forme inhabituelle.

Le jet-stream (on dit aussi courant-jet) est un courant de vents violents qui soufflent d'ouest en est et font le tour de l'hémisphère Nord à une latitude moyenne d'environ 60°, celle du sud de la Scandinavie par exemple. Le jet-stream chemine parfois en ligne à peu près droite, mais il peut aussi onduler – il forme alors un S couché si on le dessine sur un planisphère. Par exemple, il peut traverser l'Amérique du Nord en remontant depuis l'océan Pacifique jusqu'à l'ouest du Canada, avant de bifurquer vers le sud en traversant le Midwest américain, puis de reprendre plein nord vers la Nouvelle-Écosse. Cette traversée, qui dure généralement quelques jours, apporte de l'air chaud au nord et de l'air frais au sud et déverse sur les territoires de la pluie ou de la neige, en particulier au niveau des coudes du S. Finalement, le jet-stream contrôle la météorologie quotidienne des latitudes moyennes.

Durant les événements extrêmes mentionnés, le jet-stream s'est étrangement comporté. Ses coudes se sont aventurés loin au nord et au sud, et ils ont comme calé – ils ont stoppé leur progression vers l'est. Or plus ces sinuosités sont larges, plus les conditions climatiques s'aggravent sous les pics et les creux du S couché. Et si en plus elles se figent, comme cela a été le cas durant l'été 2018, les bulletins météo se mettent à se ressembler de jour en jour, n'annonçant que pluies diluviennes ou canicules. Inondations record, sécheresses, vagues de chaleur et feux de forêt surviennent alors.



En 2010, de graves inondations ont submergé la ville de Khairpur Nathan Shah, au Pakistan. Elles puisaient leur source dans un effet atmosphérique nommé amplification quasi résonante.

Mes collègues et moi avons montré récemment que ces situations, où le jet-stream ondule et est comme paralysé, deviendront de plus en plus fréquentes en raison du réchauffement climatique, ce qui perturbera de façon répétée la météo de l'hémisphère Nord. Mais nous avons aussi prévu que, paradoxalement, la sévérité des cataclysmes pourrait marquer le pas pendant les prochaines décennies. Cela pourrait sonner comme une bonne nouvelle – la malédiction continuera sans empirer. Sauf que, selon nos analyses, les événements extrêmes s'aggraveront à partir de 2050, en particulier l'été. La santé et la sécurité des gens seront davantage menacées, les dégâts causés par les orages seront de plus en plus coûteux et les cultures, ruinées par les intempéries, risqueront de ne plus suffire à nourrir une population mondiale toujours croissante.

D'où tirons-nous ces prévisions ? De la théorie des ondes et de la mécanique quantique. Oui, les mathématiques qui décrivent le comportement des électrons à petite échelle nous aident à dessiner le futur de l'atmosphère aux échelles globales. Elles indiquent que la multiplication des événements extrêmes, le plateau à venir et la nouvelle intensification qui s'ensuivra sont pilotés par un étrange compromis entre les



concentrations de gaz à effet de serre provenant de combustibles fossiles brûlés et la pollution par le soufre provenant des cheminées industrielles. Elles soulèvent aussi la question de savoir si la réduction des émissions empêchera bien le jet-stream de causer des ravages, ce qui est loin d'être une certitude...

LES ONDES DE ROSSBY, À L'ORIGINE DU MAUVAIS TEMPS

Quelle est l'origine du jet-stream? Ces vents se forment quand l'air chaud de surface des régions subtropicales remonte vers le nord et rencontre l'air froid de surface en provenance des pôles, ce qui se produit approximativement sur le continent américain à la frontière qui sépare les États-Unis et le Canada, et au niveau de la Scandinavie en Europe. Ils soufflent à 10 kilomètres d'altitude à l'interface de la troposphère (la couche la plus basse de l'atmosphère où se déroulent les événements météorologiques) et de la stratosphère.

Plus l'écart thermique est marqué entre l'air subtropical et l'air polaire, plus le jet-stream est vigoureux. En été, les différences de température sont moindres qu'en hiver et le jet-stream s'affaiblit. Comme une voile qui faseye sous un vent faible, le jet-stream forme alors plus facilement des ondulations nord-sud.

Mais pourquoi ces lacets se forment-ils en certains endroits et pas en d'autres? Le jet-stream est en réalité influencé par une série de

les masses d'air décroît en été, elles ont tendance à se déformer et leur migration vers l'est ralentit. En toute saison, le jet-stream adopte la forme et la trajectoire des ondes de Rossby.

D'autres ondes se propagent à travers l'atmosphère et les océans. Par exemple, des ondes de gravité naissent d'une perturbation temporaire entre la gravité, qui tire l'atmosphère vers le bas, et d'autres forces qui la poussent vers le haut, comme quand une montagne fait s'élever les vents incidents. Parmi ces ondes, celles dites de Kelvin se produisent dans le Pacifique dans un couloir étroit situé à cheval sur l'équateur. Elles y voyagent d'ouest en est, réchauffent et refroidissent à intervalles réguliers les eaux de surface, et constituent un ingrédient essentiel du phénomène climatique El Niño/Oscillation australe (l'oscillation australe est une variation périodique des pressions mesurées d'un côté et de l'autre du Pacifique; quand l'écart entre ces deux pressions est faible, un événement El Niño se déclenche généralement).

Les boucles du jet-stream engendrent des systèmes météorologiques locaux avançant vers l'est de façon synchrone avec elles. Ce sont les H (pour *high*) et L (pour *low*) des cartes météorologiques, qui pointent des zones de haute et basse pression. Une zone de haute pression coincée dans un sommet du S (on parle de crête) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre et apporte en été un temps sec et chaud. Un système dépressionnaire niché dans le bas du S (ou creux) tourbillonne en sens inverse et engendre un temps humide et frais. Si le jet-stream est affaibli, il peut «caler» et ne plus progresser vers l'est – une configuration dite d'onde stationnaire. Les systèmes météorologiques de haute et basse pression font alors du sur-place, brûlant les terres sous-jacentes ou causant d'incessantes pluies torrentielles et inondations – c'est ce qui est arrivé avec l'ouragan Harvey, au Texas notamment, et l'ouragan Florence au-dessus du centre-est des États-Unis.

UN FACTEUR D'AGGRAVATION

Les événements météorologiques extrêmes surviennent majoritairement quand les boucles des ondes de Rossby, et donc celles du jet-stream, sont fortement amplifiées. En effet, les systèmes de haute et basse pression sont d'autant plus marqués que les crêtes et les creux s'éloignent de la trajectoire moyenne. Dans cette configuration où l'onde est stationnaire, le système de haute pression stagne (on parle alors de situation de blocage). C'est ce qui a causé en juillet 2018 la canicule du sud-ouest des États-Unis et les inondations simultanées survenues dans le coin nord-est du pays. Un autre exemple classique est ce qui s'est passé en juillet 2010 en Asie: tandis qu'une crête se développait au-dessus de la Russie, engendrant records de chaleur, sécheresse et feux de forêt, plus en aval >

Si le jet-stream est affaibli, ses sinuosités peuvent caler, d'où des situations de blocage

larges ondes qui circulent dans l'atmosphère, créées naturellement par la rotation de la Terre dans le fluide qu'est l'air. Il s'agit des ondes de Rossby, nom donné en l'honneur du météorologue suédo-américain Carl-Gustaf Rossby, qui fut le premier à expliquer dans les années 1930 la physique à grande échelle de l'atmosphère. Ces ondes existent aussi dans les océans.

Les ondes de Rossby atmosphériques s'étendent sur des centaines de kilomètres et se meuvent d'ouest en est dans l'hémisphère Nord. Quand la différence de température entre