

au Nord de la baie de San Francisco, dans des carottes de sédiments extraites du lac de Little Packer situé dans la plaine inondable du fleuve Sacramento, le plus grand cours d'eau du Nord de la Californie. Pendant les crues majeures, les sédiments transportés par l'eau se répandent dans le lac et se déposent sur le fond, formant d'épaisses couches grossières. Roger Byrne, de l'Université de Californie à Berkeley, et Donald Sullivan ont utilisé la datation au carbone 14 pour déterminer qu'une inondation comparable à la catastrophe de 1861-1862 a eu lieu dans chacun des intervalles suivants : 1235-1360, 1295-1410, 1555-1615, 1750-1770 et 1810-1820.

Certaines méga-inondations ont aussi laissé des traces de leur passage dans d'étroits canyons des Monts Klamath, dans le Nord-Ouest de la Californie. Deux dépôts importants ont été laissés vers 1600 et vers 1750, ce qui concorde une fois de plus avec les autres données.

Toutes ces données historiques suggèrent que l'inondation de 1605 était au moins 50 pour cent plus forte que toutes les autres inondations importantes. Et bien que les méthodes de datation par le carbone 14 soient entachées d'incertitudes, une certaine périodicité se dessine : les inondations à l'échelle de celles de 1861-1862 se produisent tous les deux siècles environ. Cela fait maintenant 150 ans que la dernière catastrophe a eu lieu, et il y a toutes les raisons de penser qu'un tel phénomène peut se reproduire en Californie dans un avenir proche.

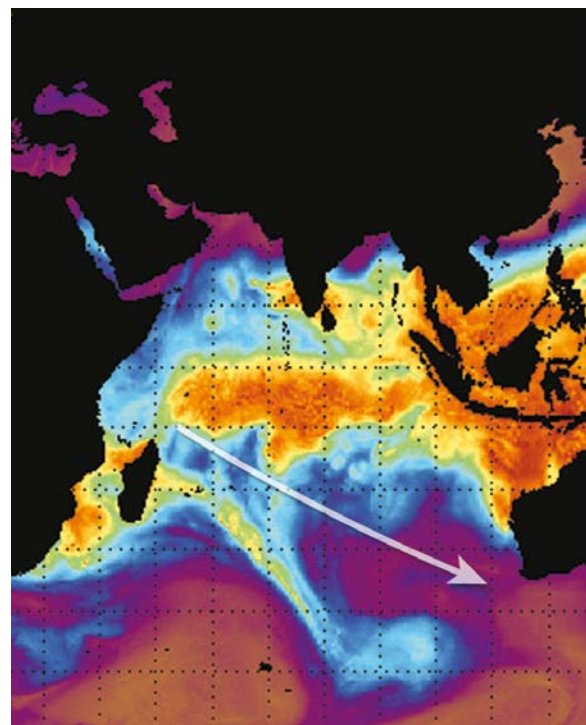
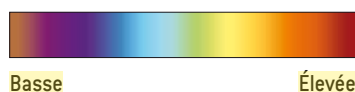
Plus fréquentes et plus grandes ?

Paradoxalement, les rivières atmosphériques ont parfois un aspect bénéfique. Les plus petites, celles qui se forment chaque année, constituent même d'importantes sources d'eau. Les chercheurs ont analysé les quantités de pluie et de neige que les rivières atmosphériques ont apportées aux côtes de l'Ouest des États-Unis ces dernières décennies, ainsi que les données du manteau neigeux, de l'écoulement fluvial et des précipitations à long terme. Ils ont trouvé qu'entre 1950 et 2010, les rivières atmosphériques ont fourni 30 à 50 pour cent de l'eau californienne, et ce en une dizaine de jours par an seulement. Ils trouvent des proportions similaires le long du reste de la côte Ouest. Mais dans la même période, les

TOUTES LES CÔTES OUEST PEUVENT ÊTRE FRAPPÉES

Les rivières atmosphériques se forment au-dessus des eaux tropicales. Leurs trajectoires vers les latitudes moyennes les conduisent au-dessus des côtes occidentales de nombreux continents [ce fut le cas en Angleterre, en novembre 2009]. Elles sont fréquentes le long de la côte Pacifique des États-Unis, mais elles peuvent se manifester en des lieux inhabituels, comme le golfe du Mexique [une telle rivière a inondé Nashville, dans le Tennessee, en mai 2010]. Avec le réchauffement climatique, ce phénomène risque de devenir plus important encore.

Teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère entre les 17 et 19 décembre 2010.



trombes d'eau ont aussi été à l'origine de 80 pour cent des crues de rivières californiennes et de 81 pour cent des 128 ruptures de digues les plus importantes de la vallée centrale de Californie.

Puisque les rivières atmosphériques jouent un rôle prépondérant dans les inondations et un rôle vital dans l'apport d'eau, il est naturel de se demander quel sera l'effet du changement climatique actuel sur ce phénomène. Dans les modèles climatiques, les rivières atmosphériques se forment spontanément à partir de la dynamique de l'atmosphère et du cycle de l'eau. On les retrouve donc aussi dans les modèles utilisés pour prévoir l'évolution du climat, en particulier dans les évaluations du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

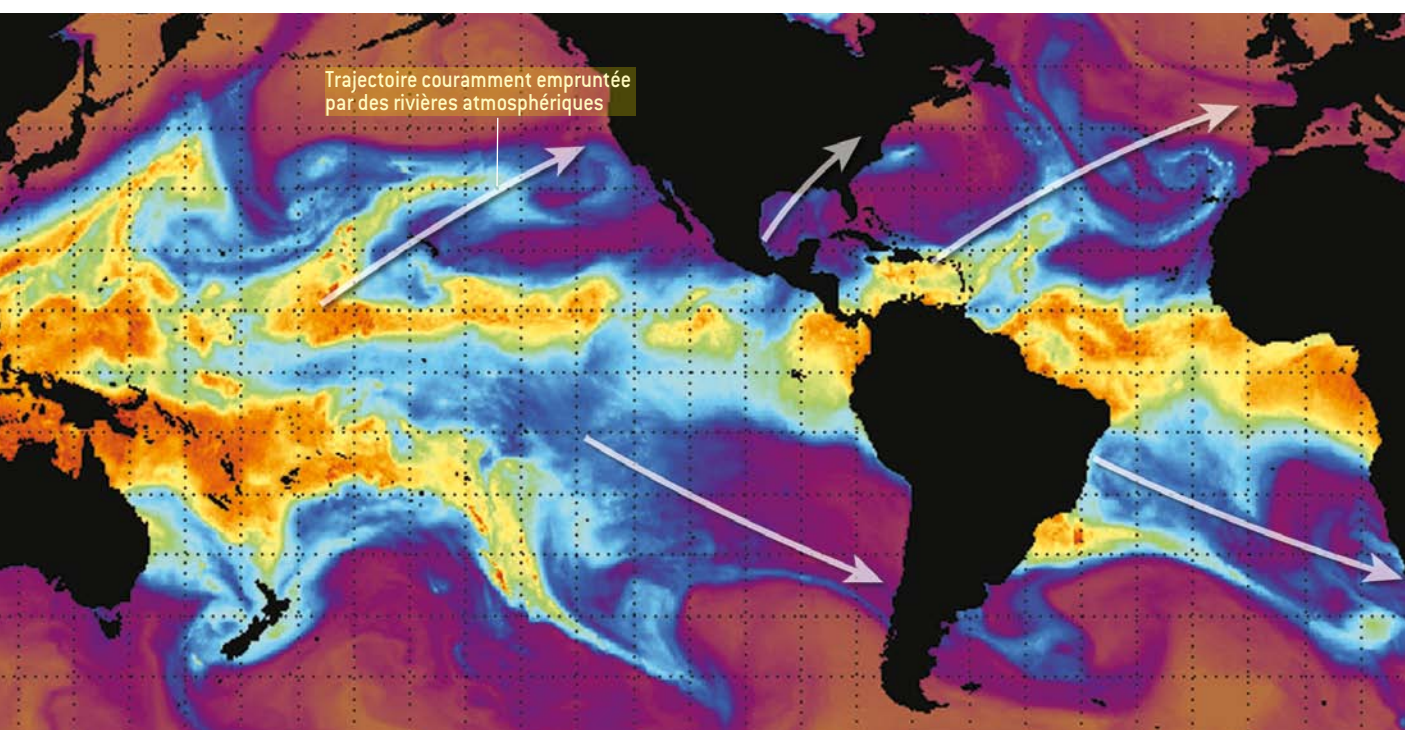
Une analyse récente par l'un d'entre nous (M. Dettinger) de sept modèles climatiques différents indique que des rivières atmosphériques continueront à arriver sur la Californie pendant tout le XXI^e siècle. Dans les projections, les températures de l'air augmentent d'environ deux degrés en moyenne à cause de la hausse des concentrations de gaz à effet de serre. Parce qu'une atmosphère plus chaude contient davantage de vapeur d'eau,

les rivières atmosphériques transporteront probablement plus d'humidité.

En revanche, les mêmes modèles suggèrent que les vents faibliront au-dessus des latitudes moyennes du Pacifique. Le transport d'eau étant le produit de l'humidité par la vitesse du vent, et la première augmentant alors que la seconde diminue, quel effet dominera ? Selon les prévisions, l'augmentation d'humidité semble l'emporter. Les précipitations sur la Californie augmenteront de dix pour cent d'ici 2100 et le nombre de rivières atmosphériques atteignant les côtes passera en moyenne de 9 à 11 par an. Cette augmentation est inquiétante, car elle annonce des crues plus fortes.

Le temps de se préparer

Avec des rivières atmosphériques qui risquent de devenir plus fréquentes et plus importantes, il est nécessaire de les anticiper pour prévenir les populations vivant sur leurs trajectoires. Pour donner un exemple, les chercheurs de l'Institut américain d'études géologiques ont développé le scénario d'une grande tempête rivalisant en taille avec celle de 1861-1862, mais ne durant que 23 jours au lieu de 43



University of Wisconsin—Madison/SSE; XIR Productions

(pour que personne ne puisse prétendre que le scénario était irréaliste). Pour s'assurer encore davantage que le scénario, nommé ARkStorm (pour *Atmospheric River 1000 Storm*), soit aussi réaliste que possible, les scientifiques l'ont construit en assemblant les données de deux des plus grosses tempêtes de ces 50 dernières années en Californie, celles de janvier 1969 et de février 1986.

Trois fois le coût d'un grand séisme ?

Les résultats du scénario ont montré que des inondations prolongées pourraient avoir lieu dans la plupart des zones de faible altitude de la Californie. De telles inondations conduiraient à l'évacuation d'un million et demi de personnes. Les dommages et difficultés liés à la montée des eaux, les centaines de glissements de terrain et les vents soufflant en ouragan à certains endroits entraîneraient des dégâts matériels et des pertes agricoles estimées à 400 milliards de dollars. En ajoutant à cela les interruptions prolongées de l'activité économique, le coût total dépasserait sans doute 700 milliards de dollars, soit le

triple de ce qui est estimé dans le cas d'un séisme de magnitude 7,8, autre menace qui pèse sur la Californie.

Toutefois, les capacités de prévision ont été améliorées. Ainsi, si une organisation adéquate est mise en place et si les recherches continuent d'améliorer les capacités de prévision, il sera possible de réduire les dégâts et le nombre de victimes qu'entraînerait un tel événement.

Cet avertissement vaut aussi pour les côtes occidentales d'autres continents. Les scientifiques ont étudié les rivières atmosphériques le long de la côte californienne mieux que nulle part ailleurs dans le monde, mais ils ont peu de raisons de penser que les tempêtes sont moins fréquentes ou plus limitées ailleurs. La prochaine inondation exceptionnelle pourrait aussi bien frapper le Chili que l'Espagne, la Namibie ou l'Ouest de l'Australie.

La population devrait être consciente des risques associés aux rivières atmosphériques et prendre au sérieux les prévisions de tempêtes et d'inondations. Les institutions des États et les élus locaux devraient aussi tenir compte de ces phénomènes lorsqu'ils décident d'investir. Qui oublie le passé risque de le voir se répéter... ■

■ BIBLIOGRAPHIE

D. A. Lavers et G. Villarini, *The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe*, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, pp. 1-6, 2013.

B. L. Ingram et F. P. Malamud-Roam, *The West without Water*, University of California Press, 2013.

M. D. Dettinger et al., *Design and quantification of an extreme winter storm scenario [...]*, *Natural Hazards*, vol. 60(3), pp. 1085-1111, 2012.

M. D. Dettinger et F. M. Ralph, *Storms, floods, and the science of atmospheric rivers*, *Eos*, vol. 92(32), pp. 265, 2011.

D. A. Lavers et al., *Winter floods in Britain are connected to atmospheric rivers*, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 38, L23803, 2011.

F. P. Malamud-Roam et al., *Holocene paleoclimate records from a large California Bay estuarine system and its watershed region [...]*, *Quaternary Science Reviews*, vol. 25, n° 13 et 14, pp. 1570-1598, 2006.