

Ouragans dans l'Atlantique nord, typhons dans le nord-ouest du Pacifique ou encore cyclones tropicaux dans l'océan Indien, tous ces termes désignent le même phénomène météorologique, parmi les plus spectaculaires et les plus destructeurs de la planète. Lorsqu'un cyclone se forme, c'est la dynamique atmosphérique qui s'emballe, s'amplifie et finit par libérer des quantités gigantesques d'énergie. Les vents atteignent jusqu'à 300 kilomètres par heure, soit la vitesse d'un TGV. Des débris de toutes sortes (morceaux de bois, tôles) deviennent alors autant de projectiles menaçants. Mais ces effets dévastateurs ne sont rien en comparaison de ceux que provoquent les fortes précipitations et les crues de plusieurs mètres de hauteur qui accompagnent le phénomène.

Ainsi, en 2005, le cyclone Katrina a complètement inondé La Nouvelle-Orléans et ses environs. Le bilan s'est élevé à 1800 morts et les dégâts ont été chiffrés à 108 milliards de dollars. Plus récemment, en 2019, le cyclone Idai a touché les côtes du Mozambique, où il a déversé des trombes d'eau qui ont coûté la vie à plus de 1000 personnes. Mais ces deux cyclones ne font pas figure d'exceptions. Chaque année, ils sont plusieurs à ravager les régions qu'ils traversent.

La menace que les ouragans font peser sur les populations côtières et l'impact financier qu'ils représentent incite à les surveiller de près et à comprendre comment ce phénomène prend forme, se développe et évolue. L'un des objectifs est d'anticiper leur arrivée pour limiter les dégâts qu'ils provoquent et mettre les habitants à l'abri. Les données toujours plus complètes et précises révèlent cependant une tendance alarmante : l'effet destructeur des cyclones semble être à la hausse au cours de ces dernières décennies. Ce constat est-il réel ou le résultat de biais observationnels ?

DES SATELLITES DE SURVEILLANCE

Pendant longtemps, les seuls témoins de ce phénomène ont été les marins et les populations vivant dans les régions touchées par les cyclones. Les premières descriptions consignées par écrit datent du XVII^e siècle. Ainsi, vers 1650, le géographe allemand Bernhardus Varenius s'est intéressé aux tempêtes tropicales et a dépeint les cyclones comme des tourbillons. Mais c'est au XIX^e siècle que leur suivi scientifique a vraiment commencé, sous l'impulsion notamment de Henry Piddington, capitaine de la marine marchande britannique. On lui doit le terme de « cyclone », du grec *kýklos*, la roue ou le cercle. Puis, au cours du XX^e siècle, les techniques d'observation se sont nettement enrichies, en

particulier grâce aux satellites météorologiques à partir des années 1970. Enfin, en 2017, la Nasa a lancé la constellation CYGNSS (*Cyclone Global Navigation Satellite System*), dédiée spécifiquement à la surveillance des cyclones. Cette dernière est parfois complétée avec l'utilisation d'avions ou, depuis une dizaine d'années, de drones qui effectuent des vols de reconnaissance à l'intérieur même des cyclones.

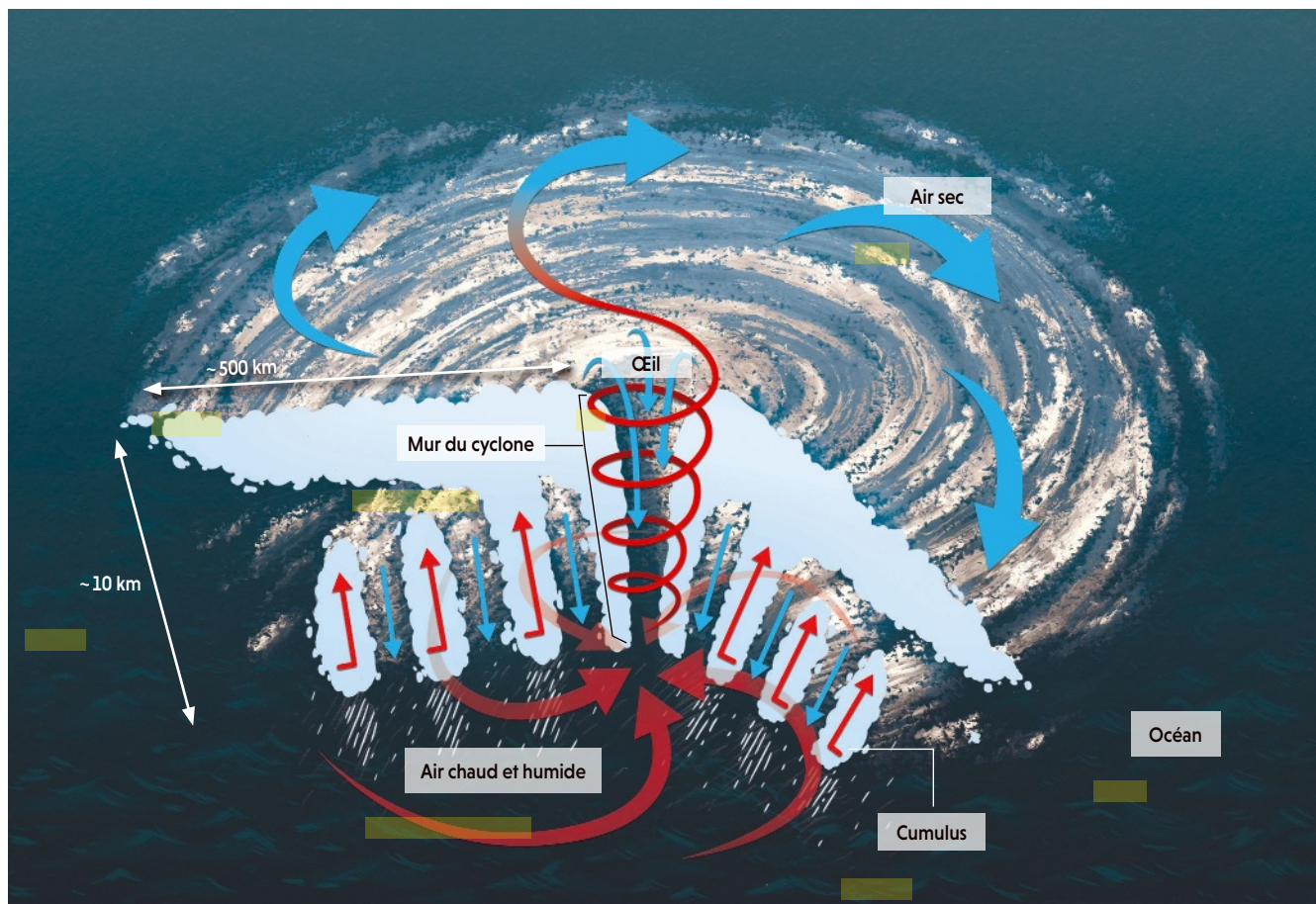
Cette amélioration des techniques de suivi permet l'étude de cyclones qui seraient autrefois passés inaperçus. Les satellites détectent par exemple des ouragans qui se forment en mer, mais diminuent d'intensité ou dispa-

Le bilan de Katrina s'est élevé à 1800 morts et les dégâts ont été chiffrés à 108 milliards de dollars

raissent avant de toucher les côtes. Un autre facteur important a contribué à l'impression qu'il y a davantage de cyclones : la population côtière. Plus de 20% de la population mondiale vit actuellement à moins de 30 kilomètres des côtes et ce chiffre ne fait qu'augmenter. Il y a donc plus de risques qu'un cyclone frappe une zone habitée et provoque de nombreux dommages.

Mais la meilleure surveillance et la répartition de la population ne suffisent pas à expliquer l'augmentation de la dangerosité des ouragans. Les simulations numériques, qui ont connu de substantielles améliorations ces dernières décennies grâce à l'utilisation d'ordinateurs de plus en plus puissants, prévoient une croissance de l'intensité des cyclones dans le contexte d'un changement climatique lié aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

Pour appréhender cette évolution conjointe des cyclones et du climat, il faut d'abord comprendre les mécanismes qui confèrent autant d'énergie à ce phénomène et rendent les cyclones si dangereux. Le point de départ se situe dans les océans tropicaux, qui accumulent l'énergie du rayonnement solaire sous la forme de chaleur. La température de l'eau de surface peut atteindre 30 °C à la fin de l'été. Cette couche d'eau chaude s'étend en profondeur,



sur des épaisseurs allant de quelques mètres à près d'une centaine de mètres. Elle représente un formidable réservoir d'énergie susceptible d'être transmis à l'atmosphère.

Ce transfert se fait en premier lieu par conduction thermique: l'eau de surface chauffe l'air juste au-dessus. Le gaz à la base de l'atmosphère se dilate et devient plus léger que l'air environnant. En vertu de la poussée d'Archimède, il subit une force l'entraînant vers le haut. Un second effet, plus subtil, vient renforcer ce mouvement: l'évaporation. L'air chaud est capable d'absorber une quantité plus importante de vapeur d'eau que l'air froid (le linge sèche plus vite en été!). Or la vapeur d'eau pèse moins lourd que l'air sec. Les deux effets se renforcent, de sorte que l'air chaud et humide s'élève vers des couches plus hautes de l'atmosphère. L'énergie thermique se transforme ainsi en énergie cinétique: des courants ascendants apparaissent. Ce phénomène est à l'origine de la formation des cumulus, ces gros nuages blancs fréquents sous les tropiques.

LE RÔLE CLÉ DE LA VAPEUR D'EAU

Quand les bonnes conditions sont réunies, ce puissant panache ascendant est encore renforcé par un autre ingrédient: la pluie. Lorsque

l'air chaud et humide est entraîné rapidement en altitude, il se refroidit. Il ne peut plus alors contenir autant de vapeur d'eau, celle-ci se condense et de la pluie se forme. Les volumes de vapeur d'eau impliqués dans ce processus sont très importants. Or la condensation des gouttelettes libère de la chaleur, car il s'agit d'un changement de phase exothermique (c'est le processus inverse de l'évaporation: lorsqu'on porte un vêtement mouillé en plein été, l'évaporation refroidit celui-ci). Ainsi, avec la formation de la pluie, l'air se réchauffe davantage et monte d'autant plus vite: la machine atmosphérique s'emballe!

Ces courants d'air ascendants ne constituent pas encore des cyclones. Il faut y ajouter un nouvel acteur, la force de Coriolis. Le courant vertical d'air chaud et humide crée une zone de dépression à sa base vers laquelle de grandes masses d'air convergent horizontalement. Ce problème rappelle celui de la baignoire qui se vide. Un flux horizontal se met en place pour remplacer l'eau évacuée par le siphon. On remarque que le courant ne s'écoule pas en ligne droite: le liquide forme un tourbillon autour du trou de la baignoire. Cela tient à la conservation du moment cinétique, une propriété liée au fait que les lois de la physique

Un cyclone est avant tout alimenté par l'air chaud et humide qui s'élève depuis la surface de l'océan. La condensation de l'air apporte des précipitations et un supplément de chaleur. Le système s'emballe et les vents atteignent jusqu'à 300 kilomètres par heure. La force de Coriolis due à la rotation de la Terre imprime un mouvement tournant au cyclone. Au centre, une zone calme se forme, c'est l'œil du cyclone.