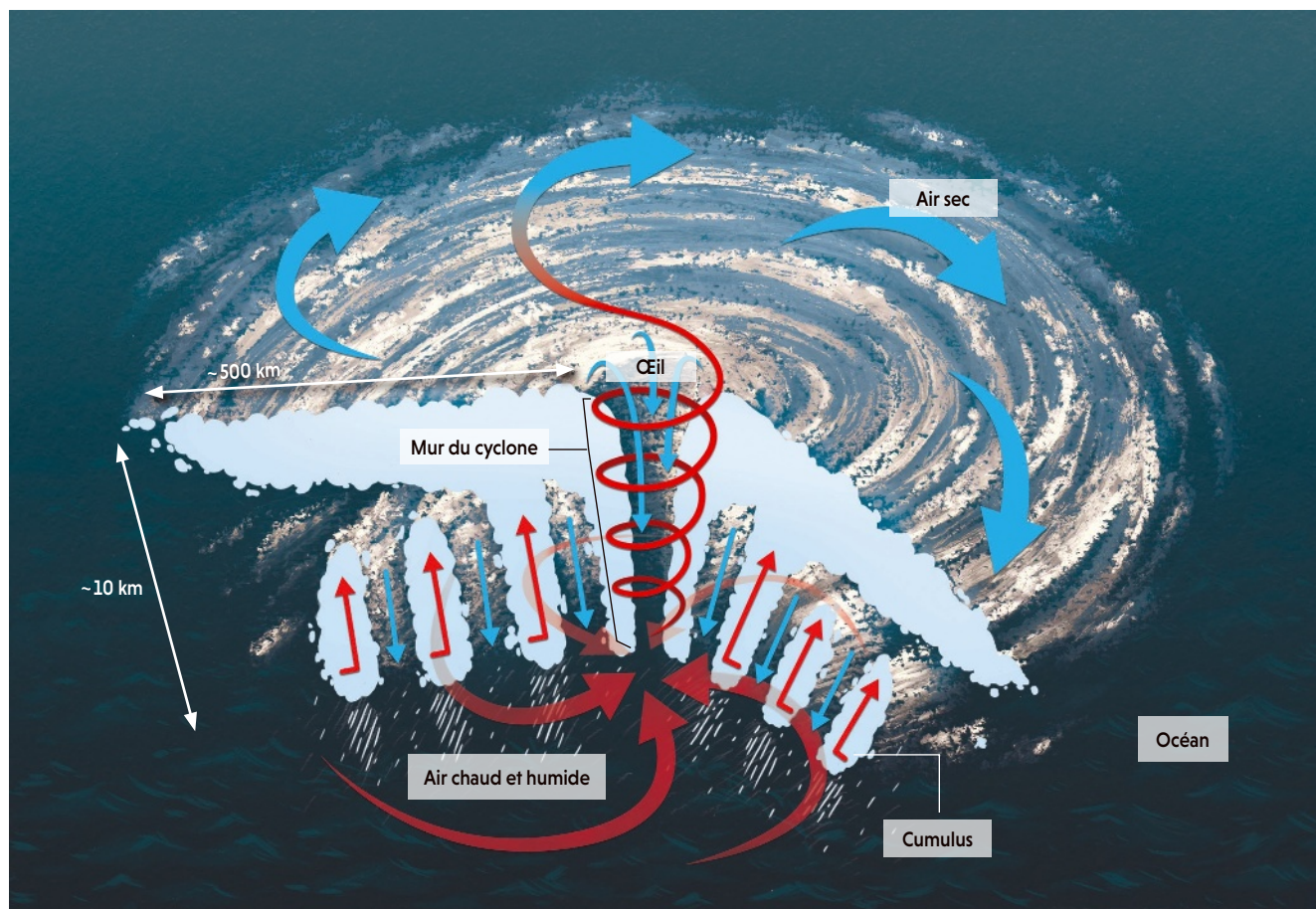




Un cyclone est avant tout alimenté par l'air chaud et humide qui s'élève depuis la surface de l'océan. La condensation de l'air apporte des précipitations et un supplément de chaleur. Le système s'emballe et les vents atteignent jusqu'à 300 kilomètres par heure. La force de Coriolis due à la rotation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

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 disparaissent 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.

➤ 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'emballé !

CYCLONE ET BAIGNOIRE

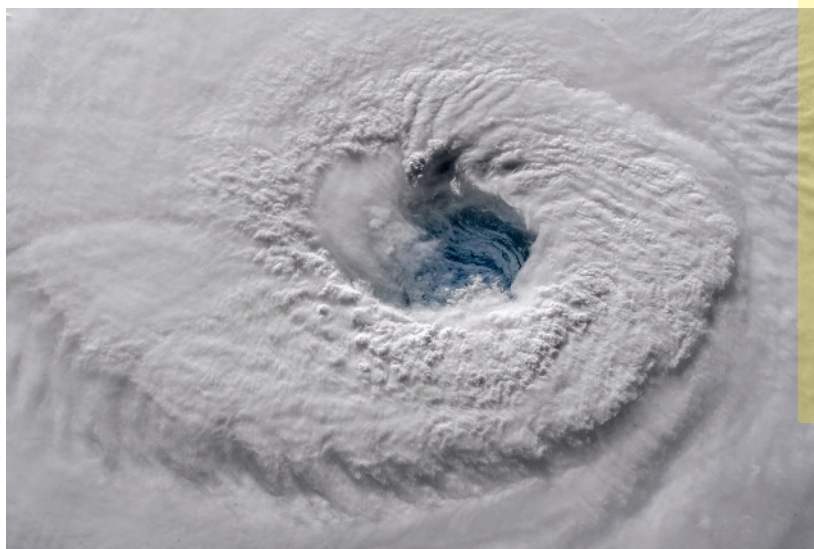
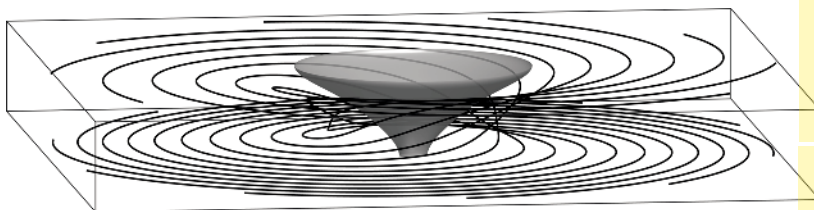
Ces courants d'air ascendants ne constituent pas encore des cyclones. Il faut y ajouter un nouvel acteur, la force de Coriolis. Le courant vertical d'air chaud et humide crée une zone de dépression à sa base vers laquelle de grandes masses d'air convergent horizontalement. Ce problème rappelle celui 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 sont invariantes par rotation dans l'espace. Pour la même raison que les patineurs tournent plus vite sur eux-mêmes lorsqu'ils ramènent les bras le long du corps, un mouvement résiduel de l'eau presque invisible à l'échelle du bain s'amplifie quand le liquide s'approche du siphon. La vitesse de rotation de l'eau autour de l'axe du siphon augmente à mesure que le fluide se rapproche du trou d'évacuation. La conservation du moment cinétique est le seul effet qui compte à l'échelle d'une baignoire. Ainsi, le sens de rotation ne dépend pas de l'hémisphère où l'on se trouve (contrairement à ce que l'on peut parfois entendre).

En revanche, à l'échelle de l'atmosphère, la rotation de la Terre sur elle-même influe sur les mouvements des masses d'air. C'est la « force » de Coriolis (en toute rigueur, il s'agit d'une pseudoforce, car elle est due à la rotation du référentiel dans lequel on étudie le phénomène, la Terre, et non à l'action d'un corps sur un autre). Inefficace à petite échelle, la force de Coriolis devient prépondérante pour dévier les masses d'air de l'atmosphère qui convergent vers une zone de dépression. Ces courants dévient et tournent toujours dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud et dans le sens opposé dans l'hémisphère Nord. La forme des cyclones commence à se dessiner.

Point crucial, la force de Coriolis est maximale au pôle Nord et diminue jusqu'à s'annuler à l'équateur, puis elle change de sens quand on passe dans l'hémisphère Sud et atteint de nouveau un maximum au pôle austral. Les latitudes les plus élevées semblent donc favorables à la formation des cyclones, mais il faut aussi prendre en compte la température des océans. En général, on estime qu'une température minimale de 26 °C fournit une réserve énergétique suffisante pour amorcer un cyclone. Ces conditions sont obtenues au plus près de l'équateur, où la force de Coriolis est à l'inverse la plus faible. En pratique, le meilleur compromis conduit à la naissance des cyclones dans deux bandes comprises entre 10 et 30° de latitude, de part et d'autre de l'équateur.

Une fois formé, un ouragan ne reste pas en place. Il dérive d'une part à cause des vents environnants (associés à la circulation atmosphérique de grande échelle), d'autre part à cause de la force de Coriolis. Comme cette dernière varie avec la latitude, elle ne s'applique pas de la même façon en tout point du cyclone. Conséquence : en l'absence de vents environnants, le cyclone tend à se déplacer vers l'ouest et vers les pôles. L'ouragan persiste au plus ➤



© L. Oruba et E. Dormy (simulation) : Nasa (photo)

Au centre d'un cyclone se forme généralement un œil, une zone dépourvue de nuages et de vents (comme ci-dessus pour l'ouragan Florence en 2018). Les auteurs de l'article ont modélisé comment les vents se soulèvent de la surface à l'approche de l'axe du cyclone et s'en écartent en s'élevant (en haut). Ils montrent ainsi comment se forme le mur qui entoure l'œil du cyclone.